

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO MINERALÓGICO, QUÍMICO Y AMBIENTAL DE LOS SEDIMENTOS DE LA QUEBRADA LOS MICUYES, ESTADO MÉRIDA-VENEZUELA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. González C., Francimar A.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2017.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO MINERALÓGICO, QUÍMICO Y AMBIENTAL DE LOS SEDIMENTOS DE LA QUEBRADA LOS MICUYES, ESTADO MÉRIDA-VENEZUELA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Santiago Marrero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. González C., Francimar A.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2017

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

**“ESTUDIO MINERALÓGICO, QUÍMICO Y AMBIENTAL DE LOS
SEDIMENTOS DE LA QUEBRADA LOS MICUYES, ESTADO MÉRIDA-
VENEZUELA.”**

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

Prof. Ricardo Alezones
Jurado

Prof. Carlos Barrios
Jurado

Prof. Santiago Marrero
Tutor Académico

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicó a mi dios el ser supremo que rige mi vida, a mi madre mi mejor ejemplo a seguir, a mi esposo mi compañero de lucha, a mis hijos que son mi mejor impulso y muy especialmente a mi padre. Todos se merecen más que mis agradecimientos, se merecen todos los honores. Esto no hubiese sido posible sin ustedes. Cada uno supo apoyarme, aconsejarme e impulsarme a ser cada día mejor persona.

No obstante quiero dedicarle unas líneas a un ser que no puedo ver a los ojos para mostrarle cuan agradecida estoy por haberme brindado tanto, ese es mi papá. Gracias a ti tuve la oportunidad de estudiar esta carrera, fueron muchas las jornadas arduas de trabajo que realizabas para brindarme lo mejor. Creíste en mí más que yo, siempre me decías lo lejos que llegaría, me impulsabas a ser mejor cada día, me brindaste todo tu apoyo, nunca me dejaste sola por más difícil que fuese el camino y siempre me distes el amor que me ayudó a vencer todos los obstáculos que se me presentaban. Aunque hoy no estás físicamente conmigo, siempre estas presente en mi corazón y todo lo que hago es para ti y para mi familia. Si algo me enseñaste es que la familia es lo primero, que nunca me diera por vencida y que las limitaciones sólo están en mi cabeza. Nos faltó mucho camino por recorrer y muchos triunfos que disfrutar. Sin embargo, cada paso que doy, cada meta que termino y cada triunfo alcanzado son por ti y para ti. Tú eres el héroe de mi vida, tratare de honrarte y de ser cada día mejor.

Quiero que sepas que este es el principio de lo que alcanzaremos, ya que siempre de tu mano podré obtener todo lo que me proponga. El infinito es el límite, siempre que estes a mi lado. Te amo y aunque me duele no poder darte las gracias con un abrazo y un beso, te dejo este logro para que lo disfrutes porque te lo mereces. Estoy eternamente agradecida con dios por haberte mandado a mi vida, fuiste mi ángel protector y lo seguirás siendo por siempre, te amo papito. Dios te bendiga siempre.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por ser mi guía en todo el camino. Por brindarme salud, inteligencia y personas buenas que estuvieron dispuestos a ayudarme. En los momentos difíciles la fé en él me motivó, me dio la fortaleza necesaria y las ganas para continuar luchando hasta alcanzar la meta.

A mis padres por ser mis pilares, por apoyarme incondicionalmente y por hacer hasta lo imposible para que lograra mis sueños. Son mi mayor inspiración, gracias por impulsarme a ser mejor persona, gracias por ayudarme a creer que todos podemos cumplir los sueños y metas por difíciles que sean. Gracias por mostrarme que nada es imposible y que todo sacrificio tiene su recompensa. La única manera de retribuirles todo lo que me han dado es, practicando sus enseñanzas y siendo cada día mejor por y para ustedes. Los amo.

A mis hijos por ser mi motivo principal de lucha, por enseñarme que cada minuto cuenta, que sus sonrisas lo valen todo. Por llenarme de fuerzas en los peores días y además por ser unos seres tan especiales que se desvelan conmigo, esperan pacientemente a que mami termine de estudiar para jugar, comer y dormir. Son unos angelitos que llegaron para hacerme cada día mejor y me motivan a hacer lo imposible para hacerlos felices. Nunca pensé que seres tan pequeños podrían brindarme las más grandes enseñanzas de vida y la felicidad infinita. Los amo infinitamente.

A mi esposo por ser incondicional, por regalarme amor cada día, por ser paciente y por apoyarme a pesar de la dificultad que represente. Gracias por tanto amor, mucho de este sueño también te lo debo a ti. Sé que no ha sido fácil pero contigo a mi lado ha sido más llevadero. Gracias por convertirte en profesor, en mi soporte, en mi psicólogo, en mi amigo, en fin en la persona que siempre está allí cuando necesito. Te amo. Igualmente tengo que agradecer a tus padres y familiares por estar conmigo, su apoyo ha sido importante, gracias.

A mis abuelos, tíos, primos, padrinos y ahijados, ya que me apoyaron, me impulsaron y siempre creyeron en mí. Tenerlos a mi lado ha sido muy importante, porque me han regalado todo el amor que me motiva y me mantiene fuerte ante las adversidades. Los amo.

A la Universidad Central de Venezuela y a cada profesor que formó parte de mi desarrollo académico y profesional. Gracias por desarrollar mi intelecto. El mejor tiempo invertido fue y siempre será en la UCV. Me llevo las mejores lecciones de vida. Ucevista siempre.

A mi tutor Santiago Marrero por su dedicación, paciencia y por guiarme en cada paso. Gracias por haber aceptado este reto, a pesar de no conocerme. Sé que no fue sencillo ya que existieron miles de limitaciones. Sin embargo, siempre dio lo mejor para que saliera un buen trabajo. Personas como usted no se consiguen todos los días. Su dedicación es digna de admirar. A pesar del poco tiempo aprendí muchísimo, fue un placer poder trabajar con usted. Siempre podrá contar con mi amistad y mi apoyo incondicional.

Al profesor Ander de Abriqueta, gracias por haber creído en mí, por tenerme confianza y por incluirme en sus trabajos.

A los profesores Ricardo Alezones y Lenin González por estar siempre pendientes, por brindarme tanto apoyo, por aportar los mejores conocimientos durante mi carrera y por comportarse como unos padres y amigos durante todos los años de estudios.

A mis compañeros y amigos de estudios, en especial a Sinahir, Doraly, Noraima, Milagros, Melissa, Paola, Marialejandra, etc. Quiero decirles que durante mi carrera fueron más que compañeros, fueron amigos, confidentes y mis apoyos en muchas ocasiones. Se les quiere un montón, muchas gracias por tanto.

A todos muchísimas gracias por todo y que Dios le regale miles de bendiciones.

Francimar González

González C., Francimar A.

**ESTUDIO MINERALÓGICO, QUÍMICO Y AMBIENTAL
DE LOS SEDIMENTOS DE LA QUEBRADA LOS
MICUYES, ESTADO MÉRIDA-VENEZUELA**

**Tutor Académico: Prof. Santiago Marrero. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica Año 2017, 90 p.**

Palabras Claves: Geología ambiental, Contaminación, Metales, Geoquímica.

Resumen. En el estado Mérida, especialmente en San Rafael de Mucuchíes, se ha evidenciado un elevado número de personas con cáncer estomacal. Las causas de dicha enfermedad no están bien entendidas, sin embargo una de las posibles podría tener que ver con la contaminación de las aguas. En este trabajo se exploró el grado de contaminación de la quebrada Los Micuyes en San Rafael de Mucuchies, en base a los factores de enriquecimiento e índices de geoacumulacion para los metales pesados cobre, zinc, cromo, hierro, y para el aluminio. Se utilizó difracción de rayos X para obtener la mineralogía, Fluorescencia de rayos X para cuantificar los elementos. El estudio se realizó en muestras de rocas y sedimentos colectados en tres (3) puntos de muestreo dentro de la cuenca de la quebrada Los Micuyes, la cual discurre aledaña a la población de San Rafael de Mucuchíes.

De los resultados obtenidos en el estudio se desprende que las muestras de roca colectadas presentan similitud con la litología reportada por Tazzo (2014), pudiéndose definir en la zona tres (3) grupos litológicos. En la parte alta de la quebrada se encuentra La Granodiorita El Carmen, mientras que en la parte media de la quebrada se identificó una roca metamórfica (filita) perteneciente a la asociación El Águila y en la parte baja de la cuenca se describe una roca pegmatita, correspondiente al Complejo Iglesias. Por otra parte, tanto la mineralogía de los sedimentos, como el bajo porcentaje de arcillas presente en los mismos, parecen indicar que el proceso predominante en la zona es la meteorización física.

A partir de los resultados para la fracción tamaño arcilla se interpreta que los elementos que se encuentran como contaminantes de los sedimentos son los siguientes: cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn).

Caracas, marzo 2017

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 UBICACIÓN	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVO GENERAL	5
1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 ALCANCE	5
1.6 ANTECEDENTES	6
1.7 METODOLOGÍA	16
a) Etapa de campo:	18
b) Post- campo (Laboratorio):	19
c) Análisis de espectros	23
2. MARCO GEOLÓGICO	26
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	26
2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL:	27
2.3 GEOLOGÍA PRESENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO	29
3. MARCO TEÓRICO	34
3.1 MINERALOGÍA AMBIENTAL Y GEOQUÍMICA AMBIENTAL	34
3.2 METEORIZACIÓN DURANTE EL PROCESO DE FORMACIÓN DE SEDIMENTOS	36
3.2.1 Meteorización química	37
3.2.2 Metales Pesados	40
3.2.3 Metales pesados contaminantes:	44
3.2.4 Contaminación de sedimentos por metales pesados:	48
3.2.5 Importancia de la granulometría en los sedimentos:	49
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	52

4.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS SEDIMENTOS RECOLECTADOS DE LA QUEBRADA LOS MICUYES.	52
4.2	ESTUDIO DE CANTOS RODADOS COLECTADOS.....	54
4.2.1	Petrografía.....	54
4.2.2	Análisis por difracción de rayos X	61
4.3	ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS ELEMENTOS CONTAMINANTES PRESENTES EN LA QUEBRADA LOS MICUYES.	62
4.3.1	Cromo	63
4.3.2	Cobre	66
4.3.3	Hierro.....	69
4.3.4	Aluminio.....	71
4.3.5	Manganeso.....	73
4.3.6	Níquel.....	75
4.3.7	Zinc	77
4.4	RELACIÓN ENTRE LOS ANTECEDENTES Y LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO	79
4.5	FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE LOS ELEMENTOS CONTAMINANTES PRESENTE EN LA QUEBRADA LOS MICUYES.	80
4.5.1	Cromo:	81
4.5.2	Cobre:	81
4.5.3	Hierro:	83
4.5.4	Manganeso:	84
4.5.5	Níquel y Zinc:.....	84
4.6	ÍNDICE DE GEO-ACUMULACIÓN	86
4.6.1	Cobre:	86
4.6.2	Zinc:	87
4.6.3	Hierro y Manganeso:.....	87
4.6.4	Aluminio y Níquel:	88
4.6.5	Cromo:	88

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
APÉNDICE A: CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS.....	93
APÉNDICE B: FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO POR ELEMENTO	95
APÉNDICE C: ÍNDICES DE GEO-ACUMULACIÓN POR ELEMENTOS	96
6. BIBLIOGRAFÍA	98
7. ANEXOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1: IMAGEN SATELITAL DE LA CUENCA	3
FIGURA 2: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	17
FIGURA 3: TAMIZADO HÚMEDO DE LOS SEDIMENTOS EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	19
FIGURA 4: INSTRUMENTOS UTILIZADOS DURANTE EL TRATAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS PARA HACER LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X	22
FIGURA 5: EQUIPO USADO PARA REALIZAR LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X..	23
FIGURA 6: MAPA GEOLÓGICO DE LOS ANDES VENEZOLANOS	27
FIGURA 7: TECTÓNICA DE LOS ANDES VENEZOLANOS.....	29
FIGURA 8: MAPA GEOLÓGICO DE VENEZUELA CON LA LITOLOGÍA ESPECÍFICA DE LA ZONA (GONZÁLEZ, 2017).	30
FIGURA 9: MAPA GEOLÓGICO DE LA GRANODIORITA EL CARMEN, DÓNDE SE MUESTRA LA GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO..	33
FIGURA 10: CUADRO SISTEMÁTICO DE LA MINERALOGÍA Y APLICACIONES. ...	35
FIGURA 11: CUADRO SISTEMÁTICO DE LA MINERALOGÍA AMBIENTAL.).....	36
FIGURA 12: SEPARACIÓN DE LOS CATIONES EN TÉRMINOS DE POTENCIAL IÓNICO (CARGA/RADIO).)	40
FIGURA 13: GRANODIORITA EL CARMEN (GRD-M1).....	54
FIGURA 14: FOTOMICROGRAFÍAS DE FELDESPATOS POTÁSICOS DE LA GRANODIORITA DE EL CARMEN	55
FIGURA 15: FOTOMICROGRAFÍAS DE LA GRANODIORITA DE EL CARMEN.....	57

FIGURA 16: FILITA (FL-M2)	58
FIGURA 17: MUESTRA DE MANO DE LA PEGMATITA (PEG-M3)	60
FIGURA 18: CONCENTRACIÓN CR VS FRACCIONES	64
FIGURA 19: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL CR	65
FIGURA 20: CONCENTRACIÓN CU VS FRACCIONES.....	67
FIGURA 21: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL CU.....	68
FIGURA 22: CONCENTRACIÓN FE VS FRACCIONES.....	70
FIGURA 23: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL FE.....	71
FIGURA 24: CONCENTRACIÓN AL VS FRACCIONES	72
FIGURA 25: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL AL	73
FIGURA 26: CONCENTRACIÓN MN VS FRACCIONES.....	74
FIGURA 27: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL MN	75
FIGURA 28: CONCENTRACIÓN NI VS FRACCIONES.....	76
FIGURA 29: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL NI.....	77
FIGURA 30: CONCENTRACIÓN ZN VS FRACCIONES	78
FIGURA 31: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DEL ZN.....	79
FIGURA 32: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE CR EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	81
FIGURA 33: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE CU EN LA QUEBRADA LOS MICUYES.	82
FIGURA 34: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE FE EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	83

FIGURA 35: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE MN EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	84
FIGURA 36: FACTORES DE ENRIQUECIMIENTOS A) NI Y B) ZN EN LA QUEBRADA LOS MICUYES.....	85
FIGURA 37: ÍNDICE DE GEO-ACUMULACIÓN DE CU EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	86
FIGURA 38: ÍNDICE DE GEO-ACUMULACIÓN DE ZN EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	87
FIGURA 39: ÍNDICES DE GEOACUMULACIÓN DE A)FE Y B)MN EN LOS MICUYES	88
FIGURA 40: ÍNDICES DE GEO-ACUMULACIÓN DE A) AL Y B) NI EN LA QUEBRADA LOS MICUYES.....	88
FIGURA 41: ÍNDICE DE GEO-ACUMULACIÓN DE CR EN LA QUEBRADA LOS MICUYES	89
FIGURA 42: ZONA DE ESTUDIOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 43: PARTE ALTA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 44: PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 45: PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 46: ESPECTRO OBTENIDO DURANTE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA LOS SEDIMENTOS DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 47: ESPECTRO OBTENIDO DURANTE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA LOS SEDIMENTOS DE LA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 48: ESPECTRO OBTENIDO DURANTE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA LOS SEDIMENTOS DE LA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 49: DIFRACTOGRAMA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA. 707 MICRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 50: DIFRACTOGRAMA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA. 250 MICRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 51: DIFRACTOGRAMA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA. 177 MICRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 52: DIFRACTOGRAMA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA. 63 MICRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 53: DIFRACTOGRAMA DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA. MENOR A 60 MICRAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 54: DIFRACTOGRAMA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN DE 707 MICRAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 55: DIFRACTOGRAMA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN DE 250 MICRAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 56: DIFRACTOGRAMA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN DE 177 MICRAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 57: DIFRACTOGRAMA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN DE 63 MICRAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 58: DIFRACTOGRAMA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN MENOR A 63 MICRAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 59: DIFRACTOGRAMA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN 707 MICRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 60: DIFRACTOGRAMA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN 250 MICRAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

“Estudio mineralógico, químico y ambiental de la quebrada Los Micuyes Estado Mérida-Venezuela”

**FIGURA 61: DIFRACTOGRAMA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA. FRACCIÓN 177
MICRAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 62: DIFRACTOGRAMA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA. MENOR A 63
MICRAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ORIGEN DE ELEMENTOS MEDIANTE FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO.....	24
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE DOS PARÁMETROS: CLASE DE ÍNDICE DE GEO-ACUMULACIÓN Y GRADO DE CONTAMINACIÓN.....	25
TABLA 3: CONCENTRACIÓN POR ELEMENTO EN LA CORTEZA TERRESTRE	25
TABLA 4: MINERALES PESADOS MÁS IMPORTANTES	44
TABLA 5: CANTIDAD DE SEDIMENTOS POR PUNTOS DE MUESTREO	53
TABLA 6: COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LA GRANODIORITA.....	57
TABLA 7: COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE FILITA	59
TABLA 8: COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LA PEGMATITA.....	60
TABLA 9: MINERALES IDENTIFICADOS POR FRACCIONES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	62
TABLA 10: DATOS ESTADÍSTICOS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR PUNTO DE MUESTREO	66
TABLA 11: COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE LOS DIFERENTES ANTECEDENTES Y LAS OBTENIDAS EN EL PROYECTO	80
TABLA 12: CONCENTRACIÓN DE LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES.	93
TABLA 13: CONCENTRACIÓN DE LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS DE LA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES	94

**TABLA 14: CONCENTRACIÓN DE LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN
LOS SEDIMENTOS DE LA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 94**

**TABLA 15: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE LOS ELEMENTOS
POSIBLEMENTE CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 95**

**TABLA 16: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE LOS ELEMENTOS
POSIBLEMENTE CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 95**

**TABLA 17: FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO DE LOS ELEMENTOS
POSIBLEMENTE CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 95**

**TABLA 18: ÍNDICES DE GEO-ACUMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS
POSIBLEMENTE CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 96**

**TABLA 19: ÍNDICES DE GEO-ACUMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS
POSIBLEMENTE CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA PARTE MEDIA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 96**

**TABLA 20: ÍNDICES DE GEO-ACUMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS
POSIBLEMENTE CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA PARTE BAJA DE LA QUEBRADA LOS MICUYES 97**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El tema ambiental está ganando importancia de manera progresiva en el área de las Ciencias de la Tierra, tanto en la enseñanza como en la investigación teórica y aplicada. Aunque los aspectos más paisajísticos de los problemas ambientales suelen a veces llamar más la atención de la opinión pública (impactos visuales), existen otros de fondo, que imprescindiblemente “deben” ser tratados. Principalmente la migración de metales y compuestos químicos en el ciclo exógeno. Estos procesos son interactivos, y toman lugar en la atmósfera, la hidrósfera, y en esa delgada y vulnerable “piel” que cubre gran parte de los continentes: los suelos.

Uno de los principales peligros ambientales a que se enfrenta la sociedad vienen dados por la extrema toxicidad, a determinadas concentraciones, de los llamados metales pesados y compuestos químicos, ya sean de origen natural o antropogénico (Higueras R. *et al.*, 2007). La prospección geoquímica y la mineralogía son herramientas que permiten recrear la composición de la corteza terrestre, verificar la abundancia de los elementos químicos en la misma y ayudan a determinar los mecanismos que controlan la distribución y migración de los elementos en las diferentes partes que conforman la Tierra (corteza, manto y núcleo; Mason, 1960), por lo que los datos obtenidos pueden ser de importancia en el área ambiental, ya que contribuyen en las soluciones de problemas asociados a tal distribución y migración, como por ejemplo en el área geo-médica la determinación de elementos químicos contaminantes presentes en el agua, que podrían afectar la salud de las personas que la puedan consumir.

En el mundo los estudios en sedimentos de corrientes y la influencia de los elementos químicos en problemas ambientales son cada vez más frecuentes, generando conclusiones sobre los elementos más contaminantes, tanto para el ambiente como para la salud, las condiciones en las cuales se dispersan estos elementos en las aguas

y en sedimentos; también expresan la manera correcta de minimizar los daños y describen como evitar problemas mayores. Al respecto destacan trabajos como los de: **TENG V *et al.* (2003)- China, RAPANT S. *et al.* (2006)-Eslovaquia, BRAVO B.-Chile *et al.* (2010), FERNANDEZ D. *et al.* (2011), PEKEY H., (2006)-Turquía, RODRIGUEZ H. (2005)-Barcelona, HASEN A., *et al.* (1995)-México, URRUTIA *et al.* (2002)-Los Andes Chilenos, ARAUZO M. *et al.* (2003)-España, BRIOSO (2004)-España**, entre otros.

Venezuela no está exenta de la problemática ambiental. Por lo que se han realizado estudios de sedimentos en varias regiones para establecer valores de contaminación que puedan afectar a las comunidades animales y vegetales de estas regiones, principalmente al hombre. En este sentido, destaca el caso del estado Mérida el cual ha motivado la presente investigación.

Actualmente las cifras de cáncer especialmente gástrico son alarmantes. En los estados occidentales tales como Zulia, Barinas, Mérida y Táchira la tasa de mortalidad por esta enfermedad supera el 36% (Avendaño M. *et al.*, 2009). Un número significativo de estudios a nivel mundial muestran conclusiones que permiten relacionar esta enfermedad a distintos factores, atribuyéndose principalmente a componentes hereditarios, condición patológica individual (anemia perniciosa, infección por *Helicobacter pylori*, obesidad), contribuyentes del ambiente (contaminación de las aguas) y los derivados de hábitos de vida. (Kelley y Duggan, 2003; Tsugane y Sasazuki, 2007; Liu y Russell, 2008).

Por ser Mérida uno de los estados afectados, se planteó un trabajo que permitiera dar los pasos iniciales en vías de conocer si existe alguna influencia de la composición química de los sedimentos de la quebrada en la contaminación de las aguas. Para ello se tomaron sedimentos en el drenaje principal de San Rafael de Mucuchíes (quebrada Los Micuyes), ya que es el pueblo que posee mayor porcentaje de personas con dicha enfermedad.

En función de lo antes expuesto y con miras a generar datos útiles a la comunidad afectada por tal problemática se planteó la presente investigación cuyo objetivo principal fue realizar el estudio mineralógico, químico y ambiental de los sedimentos de la quebrada Los Micuyes, estado Mérida.

1.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentra en el estado Mérida-Venezuela, específicamente entre San Rafael de Mucuchíes (a 7 Km.) y el Trompición (a 1,6 Km.) en la quebrada Los Micuyes, con latitud $8^{\circ}45'45.77''\text{N}$ y longitud $70^{\circ}53'44.79''\text{O}$.



Figura 1: Imagen satelital de la cuenca

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el estado Mérida, especialmente en San Rafael de Mucuchíes, se ha evidenciado un elevado número de personas con cáncer estomacal. La tasa de mortalidad anual debido a esta enfermedad en la zona es de aproximadamente 24 personas de 500 habitantes (5% de los habitantes) (Avendaño M. *et al.*, 2009). Las causas de dicha enfermedad se asocian principalmente a la contaminación de las aguas. El incorrecto uso de agro-químicos en los cultivos, los desechos fecales de animales y la falta de saneamiento de las aguas son otros de los factores que se creen están involucrados en esta problemática. En este proyecto se quiere verificar si existe algún tipo de contaminación ligada a elementos químicos presentes en los minerales de la zona.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el mundo se han evidenciado diversos problemas ambientales, que se relacionan con la incidencia de algunas enfermedades graves en ciertas regiones. Una de ellas es el cáncer, por lo cual diferentes organizaciones a través de diferentes estudios científicos se han dado a la tarea de encontrar las causas, de concientizar a las personas, y de minimizar los efectos y daños que se puedan presentar, eliminando las causas.

Los datos suministrados por las geociencias han sido herramientas que favorecen la comprensión de la dinámica de la tierra y el ambiente, por lo que ayudan a detectar rápidamente los contaminantes y su movilidad, y los factores que están involucrados en esta situación.

En función de lo anteriormente expresado este estudio busca incrementar el conocimiento en esta área. Los datos aquí generados serán de utilidad a las

autoridades regionales pues servirán para establecer valores de líneas bases y generar la alertas necesarias en función de los resultados obtenidos.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio mineralógico, químico y ambiental de los sedimentos de la quebrada Los Micuyes, estado Mérida.

1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los minerales presentes en los sedimentos de la quebrada Los Micuyes mediante la utilización del método de difracción de rayos X.
2. Realizar el estudio petrográfico de muestras de cantos rodados colectadas en el cauce de la quebrada Los Micuyes.
3. Analizar químicamente las muestras de sedimentos a través del procedimiento de Fluorescencia de rayos x.
4. Determinar el enriquecimiento de los elementos (Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr y Ni) presentes en los sedimentos de la quebrada Los Micuyes.
5. Determinar los Índices de geo-acumulación de los elementos (Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr y Ni), presentes en los sedimentos de la quebrada Los Micuyes, Estado Mérida.

1.5 ALCANCE

Los datos obtenidos servirán para establecer la primera aproximación a los valores de línea base para la región, al aportar las concentraciones en sedimentos para la quebrada los Micuyes. Más allá de los objetivos planteados en este trabajo estos datos podrán ser utilizados tanto para fines geológicos prospectivos, como en estudios geo-médicos o geo-ambientales.

1.6 ANTECEDENTES

Existe abundante bibliografía relacionada con este tema, a continuación se mencionan los que se relacionan directamente con este proyecto de tesis.

HASEN, et al., (1995). Analizaron los sedimentos en la cuenca hidrológica de Lerma-Chapala en México. El objetivo principal fue realizar el análisis de la distribución de metales en los sedimentos de la cuenca. La metodología utilizada fue la siguiente, se recolectaron en cinco puntos o estaciones muestras de sedimentos, se realizó la extracción por la técnica de Lorin y Rantala (1992), la cuantificación de los mismos se efectuó a través de espectrofotometría de absorción atómica con flama (Al, Ni, Cr, Pb, Zn y Cu) y horno de grafito (Cd). Realizaron el modelaje hidro-geoquímica de la distribución de los metales entre las fases sólida y disuelta, aplicando el programa PHREEQC, además compararon las concentraciones de los metales con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua de México.

Los resultados revelaron altos niveles de concentración para Plata, Zinc, Plomo, Níquel, cadmio y mercurio en toda la cuenca. Lo que indica que se debe a la contaminación industrial en la zona y también a la movilidad relativa de los elementos en la cuenca.

ACOSTA, et al. (2002). Evaluaron la calidad de los litorales continentales de Venezuela, donde comunidades costeras explotan la almeja *Tivela mactroides*, se determinó la concentración de metales pesados (Cu, Mn, Fe, Zn, Cd, Ni, Pb y Cr) en el sedimento superficial, así como parámetros ambientales (temperatura, salinidad, O₂ disuelto, pH, biomasa fitoplanctónica, seston, N y P totales) en el agua de las localidades de Playa Güiria ubicada en la costa nororiental (edo. Sucre), y Río Chico y Boca de Paparo (Edo. Miranda) del litoral central, las cuales se encuentran separadas por unos 5 Km. e influenciadas por el Río Tuy. La cuantificación de

metales pesados (Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni) se realizó por absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer (Mod. 3110) con llama de aire-acetileno y corrector de fondo de deuterio. Río Chico y principalmente Boca de Paparo mostraron perturbación ambiental, estableciéndose contaminación dada por los niveles de los parámetros ambientales ($T > 28^{\circ}\text{C}$; O_2 disuelto $< 5,6 \text{ ml/l}$; N total $> 55 \mu\text{mol/l}$, P total $> 17 \mu\text{mol/l}$) y de los metales pesados en sus sedimentos superficiales ($\text{Cu} > 18 \text{ mg / Kg}$; $\text{Cd} > \text{mg / Kg}$; $\text{Cr} > 5 \text{ mg / Kg}$; $\text{Pb} > 0,9 \text{ mg / Kg}$; $\text{Ni} > 11 \text{ mg / Kg}$). La perturbación ambiental encontrada se relacionó con la descarga del río Tuy, el cual desemboca en Boca de Paparo, siendo los valores de metales pesados más altos que los reportados de estudios de hace 14 años. Los valores determinados en la zona de Playa Güiria no mostraron contaminación ambiental (Cu : $0,03 \text{ mg/g}$; Cd : $0,5 \text{ mg/g}$ y no se detectó Cr, Pb ni Ni). Se recomienda tomar acciones de saneamiento de los ecosistemas en Boca de Paparo y Río Chico desde el punto de vista de salud pública y ambiental. Las condiciones ambientales de Playa Güiria muestran la factibilidad para realizar actividades pesqueras de Tivela mactroides.

BIANICHINI, *et al.*, (2002). El estudio tuvo como objetivo principal investigar las características químico-mineralógica de los sedimentos de arcilla que son transportados alrededor de la ciudad de Ferrara, prestando especial atención a su fracción fina (tamaño de grano < 2 micras). El fin de este estudio fue obtener el grado de contaminación en la cuenca. El análisis químico se realizó a través de la fluorescencia de rayos X (XRF). Indicando que la abundancia de elementos traza, como cromo (Cr) y níquel (Ni), se correlaciona positivamente con MgO y discrimina dos poblaciones bien delineadas de muestras, caracterizadas respectivamente por la alta ($\text{Cr} > 180 \text{ mg / Kg}$; $\text{Ni} > 100 \text{ mg / kg}$) y baja ($\text{Cr} < 180 \text{ mg / kg}$; $\text{Ni} < 100 \text{ mg / kg}$) concentración del elemento. La composición mineralógica de la fracción fina (< 2 micras) se investigó por medio de difracción de rayos X utilizando el método del polvo, integrado con análisis térmicos (DTA) y termogravimetría diferencial (DTG), las muestras de bajo contenido de Cr se caracterizan por una mayor proporción de minerales de arcilla que en clorita. Por otra parte, las muestras de alto contenido de Cr

tienen un tamaño de grano más grueso, y una menor abundancia de minerales de arcilla en la que la clorita predomina sobre la esmectita + capas mixtas ($Sm + ML / Chl < 1$). Estos dos grupos distintos de muestras se atribuyen a diferentes fuentes: litologías con alto contenido de cromo (Cr) se relacionan con el aporte sedimentario del río Po, mientras que los sedimentos con bajos cromo (Cr) posiblemente se derivan de pequeños ríos de origen de los Apeninos (por ejemplo, el río Reno). Dentro del grupo de alto contenido de cromo (Cr), las concentraciones de níquel (Ni) y cromo (Cr) tienden a ser más altos que los indicados por la actual legislación italiana ambiental. Sin embargo, en el estudio de los casos que aquí se presenta, las altas concentraciones de metales pesados detectados no están relacionadas con las actividades urbano-industrial-agrícola, sino que parecen ser la típica de las litologías originales.

MARTÍNEZ (2002). Determinó los metales pesados Cd, Zn, Cu, Cr, Ni y Pb para establecer los niveles de línea base y de contaminación en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco- Venezuela, afectado por el desarrollo industrial y urbano. Analizó muestras de sedimentos correspondientes a 21 estaciones establecidas a lo largo de las costas Norte y Sur y en una parte de la zona central del Golfo. Los sedimentos pulverizados fueron digeridos de acuerdo al método de CARMODY *et al.* (1973) y realizó una digestión adicional con H_2O_2 . La cuantificación de los metales la realizó mediante Espectrometría de Absorción Atómica, utilizando un equipo Perkin Elmer modelo 3110. Para determinar la contaminación se evaluaron las concentraciones, durante varios períodos del año, obteniendo así estadísticamente los niveles bases para la zona, por lo que los valores más alto corresponden a un valor anómalo. Las concentraciones de metales pesados en los sedimentos del área de estudio fueron: Cd (0,00-6,21 mg/g), Zn (2,01-222,42 mg/g), Cu (0,63-67,01 mg/g), Cr (2,51-97,15 mg/g), Ni (2,01-49,87 mg/g) y Pb (0,00-37,08 mg/g), siendo la distribución de estos metales trazas irregular, reflejando un incremento de la concentración hacia la parte central del Golfo. Por otra parte, se observó una fuerte

influencia antropogénica que afecta las concentraciones de Pb y demás metales contenidos en los sedimentos superficiales de dicha región.

URRUTIA, *et al.*, (2002). Determinaron el incremento de los metales mercurio, Plomo, cadmio, cobre, Cromo y Zinc en la columna de sedimento de tres lagos andinos (Lagos Chungará, Laja y Castor). Las muestras de sedimento fueron obtenidas con un muestreador de gravedad modelo Kayak y seccionadas a intervalos de 1 cm. El análisis fue realizado por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), con técnicas de generación de hidruros para mercurio, llama (EAA-Llama) para Cobre, Cromo y Zinc y horno de grafito (EAA-HG) para Plomo y Cadmio.

En el lago Chungará, el Hg y Cd presentaron las mayores concentraciones, variando entre 0.038 - 0.12 mg/g y 0.048 - 0.210 mg/g, respectivamente. En el lago Laja las mayores concentraciones correspondieron a Pb y Cu, fluctuando entre 6.7 - 14 mg/g y 30 - 55 mg/g, respectivamente. En el lago Castor, solamente el Zn mostró altas concentraciones, alcanzando valores de 700 mg/g.

Los resultados revelaron que sólo el lago Chungará presentó un enriquecimiento superficial de Hg, Pb y Cd, con concentraciones dos veces más altas que los estratos profundos. En el lago Laja se observó una tendencia a la disminución de la concentración de los metales analizados, exceptuando el Zn que registró un aumento en los centímetros superficiales. El lago Castor, presentó un aumento en la concentración de Pb y Cd hacia la superficie, el resto de los metales no mostró una tendencia clara.

El aumento de metales pesados detectados en los niveles superficiales de los sedimentos del lago Chungará, se le atribuyó tanto a contaminación local como regional, siendo similares a enriquecimientos registrados en lagos de altura del hemisferio norte. De este trabajo se desprende la posibilidad de estudiar metales como el Plomo y el Zinc en sedimentos superficiales, además de ser una referencia para los valores que se obtengan en la quebrada Los Micuyes.

ARAUZO, et al. (2003). Realizaron un estudio sobre la dispersión del Cromo (Cr), en sus formas total y hexavalente, desde las aguas del cauce del río Jarama (Comunidad de Madrid, España) hacia otros compartimentos del ecosistema: medio intersticial, sedimentos y lagunas de gravera adyacentes al río. Realizaron doce estaciones de muestreo (agua, sedimentos y suelo) que estaban situadas en la zona media del Parque Regional del Sureste Madrid. Las concentraciones de Cromo (Cr) total en las aguas del río fueron superiores a las establecidas en los objetivos de calidad para aguas superficiales (Real Decreto 995/2000). El Cromo (Cr) se encontraba mayoritariamente en su forma hexavalente, mostrando concentraciones superiores, en un orden de magnitud, a las establecidas en los objetivos de calidad para este estado de valencia. Asimismo, los niveles de contaminación por Cromo (Cr) en los sedimentos y en el agua intersticial a orillas del cauce resultaron muy elevados, constituyendo importantes reservorios de Cromo (Cr) que podrían actuar como fuentes potenciales para la dispersión del mismo. Las lagunas de gravera adyacentes al río Jarama presentaron unas concentraciones de Cromo (Cr) en agua y sedimentos por debajo de los límites de calidad establecidos. Parece improbable, por tanto, que se hayan producido procesos de filtración del contaminante desde el río hacia las lagunas. Además del proceso de transporte y acumulación de Cromo (Cr) en el ecosistema fluvial, otro ecosistema receptor del contaminante es el constituido por los campos de cultivo que reciben aguas de riego procedentes del río. La elevada concentración de Cromo (Cr) hexavalente en las aguas del Jarama entraña un importante riesgo para la salud humana debido, fundamentalmente, a su elevada carcinogenicidad.

TENG et al. (2003). Analizaron 62 muestras de sedimentos de ríos y 19 muestras de suelo en el área de minería y fundición de Panzhihua, sudoeste de China. El objetivo general fue investigar la geoquímica ambiental de Ti, V, Cr, Mn, Cu, Pb, Zn y Al de la zona y evaluar el grado de contaminación en el área de estudio. Los datos de las concentraciones de metales pesados revelaron que los suelos y sedimentos de la zona han sido ligeramente contaminada. Se generaron mapas geoquímicos de cada

elemento en los sitios contaminados. Además se conoció que las fuentes de contaminación de los elementos seleccionados provienen principalmente de polvo resultante de las actividades mineras y otros procedimientos de dicha actividad. Por último, se recomendó monitorear el área para evitar el aumento de metales pesados en el sitio que causan la contaminación.

BRIOSO (2004). Analizó 28 muestras de sedimentos de río, 41 muestras de agua y dos de suelos en Estero Domingo Rubio- España. El objetivo principal fue determinar los factores mineralógicos y geoquímicos que regulan el enriquecimiento, el fraccionamiento, la movilidad y el destino ambiental de los elementos potencialmente tóxicos.

La composición mineralógica de los sedimentos consistió en cuarzo, filosilicatos y feldespatos, primando el cuarzo en muestras de la laguna y arroyos y los filosilicatos en la zona mareal. Los accesorios comunes son goethita, hematites, halita, yeso y, localmente, vivianita y jarosita. La fracción arcilla está dominada por caolinita e illita, aunque en algunos puntos aparecen esmectita, vermiculita e inter-estratificados. La química de la muestra global consiste en SiO_2 (media 61.9%) con menores proporciones de Al_2O_3 (15.8%) y Fe_2O_3 (8.22%), lo que refleja la composición mineral descrita. Las concentraciones de Zn (866 mg / kg), Cu (784 mg / kg), As (425 mg / kg) y Pb (406 mg / kg) son especialmente altas comparadas con el fondo local, indicando un enriquecimiento de los sedimentos en elementos traza potencialmente tóxicos.

La asociación geoquímica As-Cu-Zn-Pb mostró un patente origen antrópico, que provocó en los suelos una moderada a extrema contaminación, según la escala del índice de geo-acumulación, por lo que se sugirió un análisis de riesgos para evaluar si el entorno de la marisma precisa o no de estudios de descontaminación. Sin embargo, destaca que eso no sería necesario en la zona lacustre, ya que atribuye el enriquecimiento de metales y metaloides a la interacción entre el flujo estuarino con los componentes reactivos de suelos y sedimentos, principalmente óxidos y

oxihidróxidos de Fe, mediante procesos de adsorción, co-precipitación e intercambio iónico, en función de las condiciones de pH y salinidad.

RODRÍGUEZ (2005). Realizó un estudio en los sedimentos del río Anoia, en Barcelona- España. El objetivo principal fue permitir la evaluación del grado de contaminación para determinar el sistema de tratamiento más eficiente para su potabilización. Se recolectaron en cinco (5) puntos de la cuenca hidrológica muestras de sedimentos, luego se tamizaron los sedimentos obteniendo dos fracciones, arcillas (<2 µm) y limos (2-63 µm), luego se analizaron a través de ICP-MS para obtener los metales y sus concentraciones.

Los resultados fueron los siguientes en general los valores de metales contaminantes (Hg, Sb, Zn, Cd, Cu, Pb y Ni) en sedimento tamaño arcilla están en concentraciones elevadas, por causas antropogénicas el cromo (Cr) está elevado treinta y cuatro veces su concentración normal, el Hg sufrió un incremento de treinta y un veces su concentración, el Zn cuatro veces, el Cd tres veces, el Cu dos veces y el Pb, Ni una vez y media. Sin embargo en el caso del As el promedio es inferior a su concentración basal, por lo que se dice que su origen es litogénico.

RAPANT *et al.* (2006). Realizaron un estudio en el pueblo Zlata Idka, Eslovaquia. Su objetivo fue evaluar el ambiente a través de la geoquímica y definir los riesgos que podían presentar los pobladores de la zona, ya que es un lugar dónde se explotó por mucho tiempo minerales contaminantes. Se realizó un análisis químico tanto a muestras de agua, como a sedimentos de corrientes. Los datos geoquímicos indicaron que el arsénico (As) y antimonio (Sb) se enriquecen en suelos, aguas subterráneas, aguas superficiales y sedimentos de corriente. El contenido promedio de As y Sb es de 892 mg / Kg y 818 mg / Kg en los suelos, 195 mg / Kg y 249 mg / Kg en sedimentos de corriente, 0.028 mg / l- 0.021 mg / l en aguas subterráneas y 0,024 mg / ly 0.034 mg / l en el agua superficial. Las concentraciones de arsénico y Sb exceden los límites permisibles superiores en vegetales cultivados localmente. Dentro de la investigación epidemiológica de los contenidos As y Sb en los tejidos y fluidos

humanos se han observado (sangre, orina, uñas y cabello) en aproximadamente un tercio de la población del pueblo (120 encuestados). Las concentraciones Sb fueron 16,3 g / l y 3,8 g / l en sangre, 15,8 g / l y 18,8 mg / l en orina, 3.179 mg / Kg y 1.140 mg / Kg en las uñas y 379 mg / Kg y 357 mg / Kg en el pelo. Estas concentraciones son comparativamente mucho más altas que la población media. El riesgo ambiental debido a la exposición del Sb en el entorno geológico se clasificó como muy alto ($IER > 5$) a extremadamente alta ($IER > 100$). Los riesgos de salud igualmente son elevados, debido a la ingestión de agua y de las verduras cosechadas en los suelos, lo cual indicó un alto riesgo carcinogénico ($> 1 / 1.000$).

PEKEY, (2006). Estudió los sedimentos de la bahía de Izmit. Esta zona está altamente contaminada debido a que es una zona muy industrializada. En esta investigación, se tomaron los sedimentos superficiales en la fracción de 63 micras de 34 sitios de la bahía de İzmit, al noreste de Mar de Mármara, Turquía. Se analizaron mediante ICP-AES obteniendo las concentraciones de Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn y Zn. Las concentraciones de metales fueron comparados con los estándares de calidad de los sedimentos marinos (SQS) y los datos de la literatura para evaluar el estado de la contaminación de los sedimentos. El análisis reveló tres grupos de elementos: (1) Sn es el elemento más enriquecida; (2) As, Cd, Pb y Zn son elementos enriquecidos menores; y (3) Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn y Ni están en concentraciones de fondo. Los mapas de distribución de las concentraciones y los factores de enriquecimiento para todos los metales pesados también se produjeron como un gráfico de contorno basado en la tecnología de Sistema de Información Geográfica (GIS).

BRAVO, et al. (2010). Desarrollan un estudio que tuvo como objetivo el evaluar ambiental y económicamente el sistema fluvial del río Lluta (Región de Arica y Parinacota) Chile, mediante el estudio de la composición química y mineralógica de la fracción $< 180 \mu m$ de 109 muestras de sedimentos activos, recolectados desde cauces de primer y segundo orden. Los datos químicos fueron proyectados sobre

diagramas de variación geográfica y procesados estadísticamente utilizando redes neuronales artificiales, a fin de identificar los patrones químicos de primer orden. Los resultados permitieron la caracterización geoquímica y mineralógica de los sedimentos de este sistema fluvial y la evaluación de la influencia de factores naturales y antropogénicos. Los factores naturales corresponden principalmente a: 1) la composición litológica del basamento rocoso; 2) la presencia de bofedales, depósitos de azufre y zonas mineralizadas; 3) los efectos de dilución y cambios de pH generado en la confluencia con afluentes; 4) variaciones en el régimen hidrodinámico; 5) la alta tasa de evaporización de la zona. Los factores antropogénicos corresponden principalmente al efecto de la actividad minera y agroindustrial y al impacto de los centros poblados tales como Putre, Socoroma, Molinos, Taipimarca, Poconchile, Churiña, Guancarane y El Tambo. En particular, los sedimentos activos y pre-industriales presentan elevadas concentraciones de arsénico, probablemente nocivas para la biota, las cuales estarían asociadas a factores geológicos tales como zonas de alteración hidrotermal, depósitos de azufre, actividad geotérmica y depósitos de ceniza.

La composición química y mineralógica de los sedimentos de la parte alta de la cuenca (ríos Caracarani, Qda. Huaylillas, Qda. Allane, Qda. Putre y Qda. Socoroma) refleja la presencia de zonas con alteración hidrotermal. Destacando el área de Alteración Hidrotermal Putre-Vilañunumani, la cual estaría aportando detritos ricos en minerales de mena y de alteración. Esto se refleja en su composición química elementos como Ba, Cu, Hg, Au, Bi, Se, Sn, Sc, Sb, W, Mo y As fuertemente correlacionados, lo que indica una marcada característica de esta zona de alteración y constituye una guía de exploración para acercarse a nuevos blancos prospectivos. Por otra parte resaltan la presencia de minerales de Uranio en la parte alta y baja de la cuenca, unido a las altas concentraciones de elementos fuertemente correlacionados como U y Th, refleja la presencia de zonas mineralizadas con Uranio y constituye una guía de exploración para zonas con Uranio primario y/o secundario en las áreas asociadas al cauce principal del río Lluta y las Qdas. Putre y Socoroma.

Del contenido de los antecedentes revisados se desprenden algunos aspectos relevantes para la presente investigación, como son:

Los criterios para establecer los límites a partir de los cuales un elemento se considera contaminado varían ampliamente y dependen de los instrumentos usados para ello, los cuales van, desde normativas ambientales propias del país, hasta índices establecidos por distinto autores como los índices de geo-acumulación y enriquecimiento. Así mismo se desprende de estos antecedentes que la fracción más utilizada para establecer si existe contaminación de sedimentos es la fracción fina < 63 micras y que existen elementos asociados naturalmente a distintos tamaños de granos. Hasta se evidencia el riesgo que está asociado a este tipo de contaminación y sus consecuencias.

En base a toda esta información se plantearon los objetivos ya mencionados y la presente metodología para alcanzarlos.

1.7 METODOLOGÍA

A continuación se describe detalladamente cada una de las actividades realizadas por objetivos y el tratamiento de las muestras. El esquema de estas actividades se resume en la Figura 2.

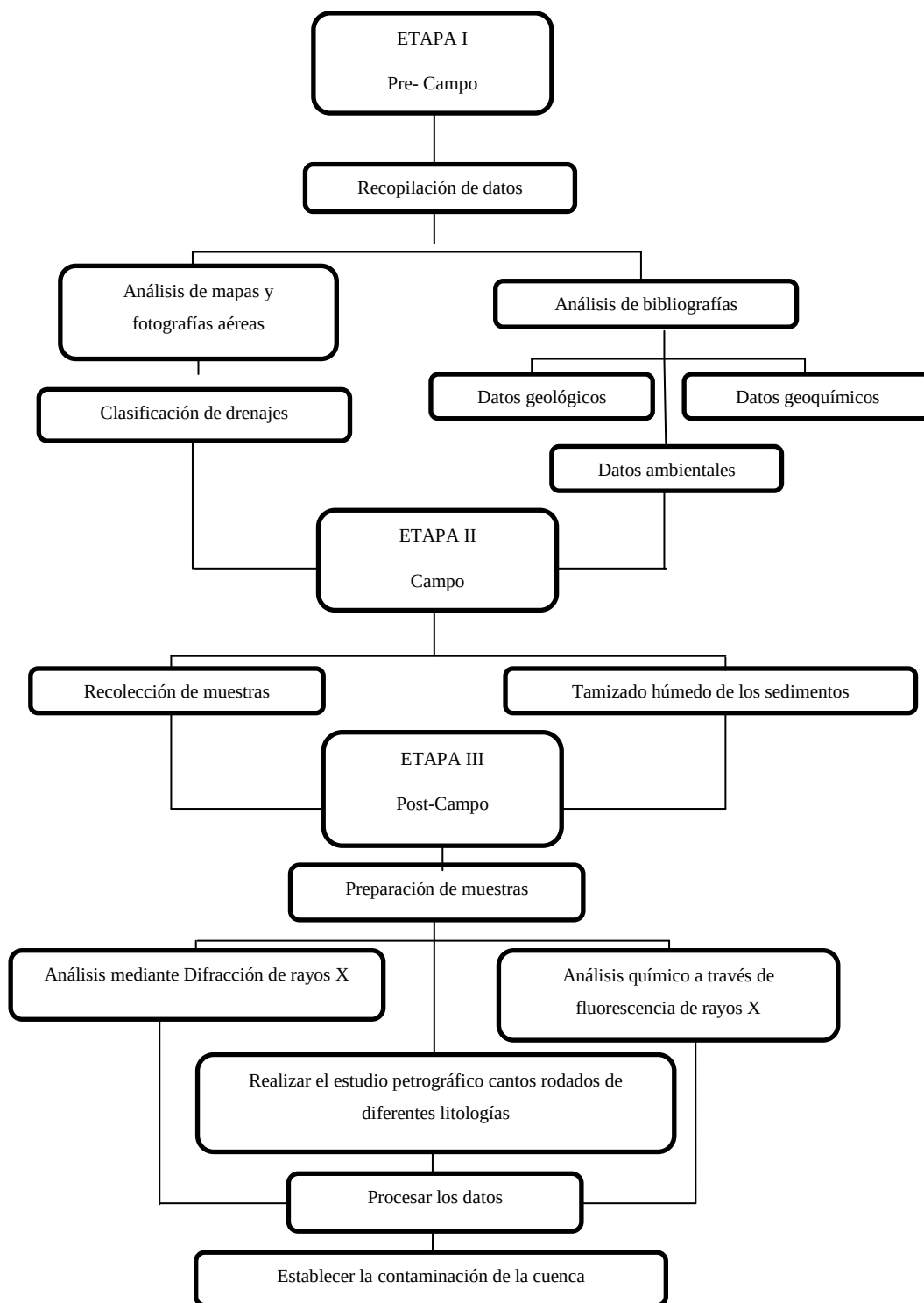


Figura 2: Diagrama de flujo de la metodología empleada

Inicialmente se analizaron las fotografías aéreas y mapas tanto geológicos como topográficos de la zona. Esto ayudó a interpretar la geología de la zona, específicamente su litología, además de que se planificó el levantamiento geoquímico de la zona, en dónde se realizó un diseño de muestreo acorde para el lugar. Este diseño se basó en la clasificación de drenaje, por lo que se tomarían los sedimentos en tributarios de orden tres y de orden dos.

a) Etapa de campo:

Como se tenía previsto se realizó el levantamiento geoquímico en la quebrada Los Micuyes. Sin embargo, no se pudo llevar a cabo la recolección de sedimentos en los tributarios previstos debido a problemas de accesibilidad del lugar. Se tomaron muestras de sedimentos y de cantos rodados en los tres puntos mostrados en la Figura 1, los cuales se rotularon de la siguiente forma: Los cantos rodados en la parte alta GrD-M1, parte media Fl-M2 y parte baja Peg-M3, en dónde M1, M2 y M3 corresponden a la parte de la cuenca y las letras GrD, Fl y Peg corresponden a la litología. Mientras que los sedimentos corresponden igualmente a partes de la cuenca (M1, M2 y M3), identificación en el GPS (PTO 017, PTO 018 y PTO 019) y por último los números corresponden a las diferentes fracciones (001,002,01,02,1,2, etc). Por su parte la recolección de sedimentos se realizó a través de un tamizado húmedo. Los materiales utilizados fueron bateas y tamices redondos. Se recolectó 1kg de muestra en las distintas fracciones (mayor a 2 mm, entre 2- 0.15 mm y menor a 0.15 mm), dichas muestras se colocaron en una bolsa especial rotulada e identificada, se anotaron las coordenadas de los lugares dónde se tomaron las muestras en la libreta de campo y en el mapa topográfico y por último se dejaron reposar durante al menos 45min para decantar el agua que quedó durante el tamizado. (ver figura 3).



Figura 3: Tamizado húmedo de los sedimentos en la quebrada Los Micuyes

b) Post- campo (Laboratorio):

Al regresar del campo se abrieron las bolsas y se dejó secando las muestras durante 72 horas, luego se disgregaron y cuartearon las diferentes fracciones de muestras (se homogeneizaron) y se tamizaron nuevamente obteniendo cinco fracciones (arenas de grano grueso, arenas de grano medio, arenas de grano fino, limos y arcillas).

Determinaciones por difracción de rayos X

a) Preparación de muestras:

Se tamizaron las muestras (este paso se hace para cada fracción obtenida en el tamizado húmedo en campo), se homogeneizaron y se pulverizaron mediante un *shatterbox*.

Luego se colocaron en un porta-muestra para ser analizadas mediante DRX.

Las condiciones del equipo (difractómetro de rayos X. marca Bruker modelo KCPS, D8 ADVANCE) son las siguientes:

Energía. 40 kW

Velocidad de Barrido: 3° por minuto

Intensidad: 25 MA

b) Análisis de espectros:

Se realizó a través del programa Highscore 2.0, el cual es un software de análisis, que ayuda a interpretar los espectros obtenidos durante la difracción de rayos X y convierte los valores en datos semi-cuantitativos.

Estudio petrográfico de muestras de cantos rodados

a) Preparación de las muestras:

La muestra se corta con una cortadora de discos adiamantados, las mismas deben tener formas de prismas rectangulares. Una de las caras del prisma se debe debastar con carburo de silíceo. Sobre la cara pulida (debastada) se cohesiona al vacío con líquido epóxico la roca sobre un porta-objetos, se presiona por unos minutos para que no se formen burbujas. Luego se dejan los rectángulos sobre una plancha calientes hasta que se peguen completamente al porta-muestras, después de esto se corta la muestra sacando una lámina de 1 mm y posteriormente con la rectificadora se hace un

segundo corte llevándola a 300 micras, se pasa nuevamente por la rectificadora y se vuelve a debastar para eliminar cualquier impureza y para llevar las láminas a 30 micras. El debastado anterior se hace a mano y se controla el grosor a través de los colores de interferencia de los minerales observados bajo el microscopio petrográfico. Por último se pega el porta-muestras trasero y se obtiene la sección fina que se llevará al microscopio petrográfico para su análisis.

b) Análisis mediante microscopio petrográfico:

Se comenzó identificando los minerales presentes en toda la sección fina, a través de las propiedades ópticas de los mismos. Se determinó el tamaño promedio de cada mineral según el objetivo utilizado durante el análisis. Seguidamente, se observaron las texturas presentes en la roca y los minerales involucrados, luego se realizó un conteo modal de cada mineral obteniendo su porcentaje en la muestra, por ser una roca ígnea se llevaron los datos al triángulo QAP (Strekeinse, 1973) y se obtuvo el nombre de la roca. Finalmente, se relacionaron e integraron todos los datos para contextualizar la génesis y la evolución de la roca.

Determinaciones químicas mediante Fluorescencia de rayos X

a) Preparación de muestras:

Con las muestras ya pulverizadas se procedió a tamizar a través del pasante número 300, para asegurar un tamaño de grano es el adecuado. Posteriormente se colocaron de 10 a 20 mg de muestras en un contenedor eppendorf, al cual se le agregaron 480 microlitros de tween a 15% y 20 microlitros de solución estándar. Dicha solución contiene un elemento químico diferente a los que tenga la muestra que funge como estándar interno y que en este caso fue Selenio (Se). Seguidamente se homogeniza todos estos compuestos ~~en un~~ utilizando un vibrador durante 5 minutos, después de este paso rápidamente con una pipeta se toman 10 microlitros, se colocan en una

platina de vidrio y se secan sobre una plancha caliente. Estos pasos se hacen para cada fracción de muestra.

Finalmente se coloca el vidrio sobre un carrusel que se lleva al TRXF (Bruker-S2 PICOFOX) para ser analizadas.

Condiciones del equipo:

Intensidad: 25 mA

Energía: 100-240 W

Temperatura: 0-29 °C

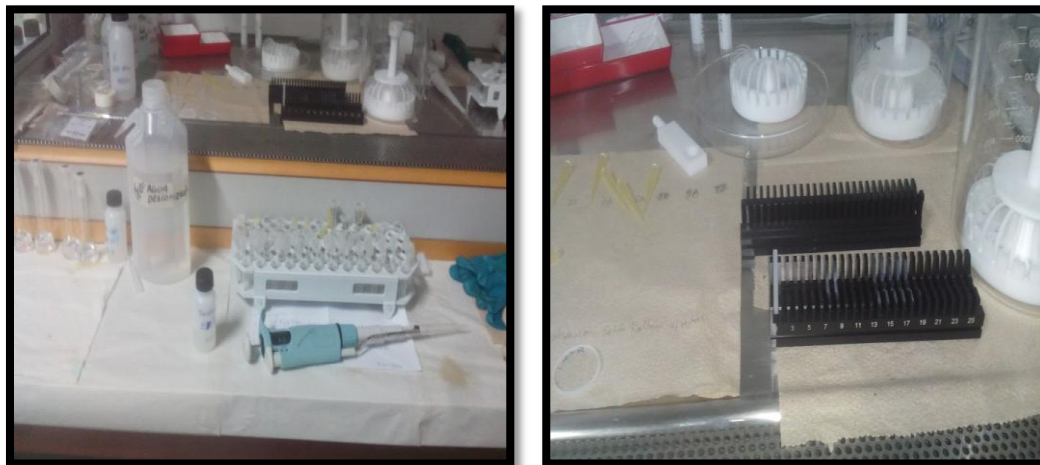


Figura 4: Instrumentos utilizados durante el tratamiento de los sedimentos para hacer la fluorescencia de rayos X



Figura 5: Equipo usado para realizar la Fluorescencia de rayos X

c) Análisis de espectros

Se realizó mediante el programa SPECTRA7, se evaluaron cada una de las curvas espectrales generadas para cada muestra para obtener los datos de concentración de cada elemento químico. Se determinaron los elementos mayoritarios Al, Fe y Mn y los traza Cu, Cr, Ni y Zn por ser elementos índices de contaminación. Los datos obtenidos se reportan con una precisión de 7% aproximadamente, estimada en base a la desviación estándar de un triplicado para las muestras.

Determinación del factor de enriquecimiento

Para el factor de enriquecimiento se tomó como elemento inmóvil el aluminio (Al) y luego se calculó mediante la fórmula:

$$FE = \frac{\frac{X_{ENLAQUEBRADA}}{Al_{ENLAQUEBRADA}}}{\frac{X_{CORTEZA}}{Al_{CORTEZA}}};$$

Dónde los términos $(\frac{X}{Al})$ en la quebrada y $(\frac{X}{Al})$ corteza denotan una relación entre la concentración del elemento X con respecto al Aluminio (Al) proveniente de la quebrada y al promedio del elemento presente en la corteza terrestre respectivamente.

Posteriormente con la escala de Lawson y Winchester (1979) se compara el valor obtenido con la clasificación y se obtiene el origen del elemento X en estudio; así, la Tabla 1 presenta las características de cada intervalo del FE.

Tabla 1: Origen de elementos mediante factor de enriquecimiento

Clases de FE	Origen del elemento X (metal pesado)
1–10	De la roca madre
10–500	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre.
> 500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico.

Fuente: Lawson y Winchester (1979)

Determinación de los Índices de geo-acumulación

El índice de geo-acumulación se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_n}{0.2 B_n}\right)$$

Dónde Cn es la concentración del elemento examinado y Bn la concentración geoquímica del metal (encontrado en la corteza terrestre). Luego se compara el valor conseguido con las clases de Loska *et al.*, (1997), en la que se distinguen seis (6) clases de geo-acumulación, como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de dos parámetros: clase de índice de geo-acumulación y grado de contaminación

Valor de Igeo	Clases de Igeo	Grado de contaminación
0	Igeo < 0	No contaminado
1	0 < Igeo < 1	No contaminado a moderadamente contaminado
2	1 < Igeo < 2	Moderadamente contaminado
3	2 < Igeo < 3	De moderado a fuertemente contaminado
4	3 < Igeo < 4	Fuertemente contaminado
5	4 < Igeo < 5	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	5 < Igeo	Extremadamente contaminado

Fuente: Loska *et al.* (1997)

Las concentraciones por elemento en la corteza que se usaron en dichos análisis son los reportados por WEDEPOHL (1995). En la Tabla 3 se muestran dichos valores:

Tabla 3: Concentración por elemento en la corteza terrestre

Element	Units	1 Shaw et al. (1967, 1976)	2 Eade and Fahrig (1973)	3 Condle (1993)	4 Gao et al. (1998a)	5 Sims et al. (1990)	6 Plank and Langmuir (1998)	7 Peucker-Ehrenbrink and Jahn (2001)	8 Taylor and McLernan (1985, 1995)	9 Wedepohl (1995) ^a	10 This study ^b
Li	$\mu\text{g g}^{-1}$	22			20				20	[22]	21
Be	"	1.3			1.95				3	3.1	2.1
B	"	9.2			28				15	17	17
N	"									83	83
F	"	500			561					611	557
S	"	600			309					953	621
Cl	"	100			142					640	370
Sc	"	7	12	13.4	15				13.6 ^c	[7]	14.0
V	"	53	59	86	98				107 ^c	[53]	97
Cr	"	35	76	112	80				85 ^c	[35]	92
Co	"	12		18	17				17 ^c	[12]	17.3
Ni	"	19	19	60	38				44 ^c	[19]	47
Cu	"	14	26		32				25	[14]	28
Zn	"	52	60		70				71	[52]	67
Ga	"	14			18				17	[14]	17.5
Ge	"				1.34				1.6	1.4	1.4
As	"				4.4	5.1			1.5	2	4.8
Se	"				0.15				0.05	0.083	0.09
Br	"									1.6	1.6
Rb	"	110	85	83	82				112	110	84
Sr	"	316	380	289	266				350	[316]	320
Y	"	21	21	24	17.4				22	[21]	21
Zr	"	237	190	160	188				190	[237]	193
Nb	"	26		9.8	12		13.7		12 ^c	[26]	12
Mo	"				0.78	1.2			1.5	1.4	1.1
Ru	ng g^{-1}							0.34			0.34
Pd	"				1.46			0.52	0.5		0.52
Ag	"				55				50	55	53
Cd	$\mu\text{g g}^{-1}$	0.075			0.079				0.098	0.102	0.09
In	"								0.05	0.061	0.056
Sn	"				1.73				5.5	2.5	2.1
Sb	"				0.3	0.45			0.2	0.31	0.4

Fuente: Rudnick R *et al.* (2008).

CAPÍTULO II

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

Bellizia y Pimentel (1994), proponen un modelo que explica la evolución geodinámica de la región de Los Andes venezolanos durante el Precámbrico-Paleozoico, en el cual consideran que dicho orógeno está constituido por dos provincias geológicas: El Bloque Caparo (autóctono) y el Terreno Mérida (alóctono). El primero, ubicado en el flanco sur-andino, está formado por un basamento de rocas metamórficas precámbricas (Asociación Bella Vista) y una cobertura de rocas sedimentarias, cuyos fósiles son de edad Ordovícico-Silúrico (formaciones Caparo y El Horno). El Terreno Mérida está constituido por un núcleo ígneo metamórfico del Precámbrico-Paleozoico (Complejo Iglesias y asociaciones Tostós, Mucuchachí, Cerro Azul, El Águila, Los Torres y Río Momboy), el cual fue estructurado y metamorfozando fines del Pensilvaniense, durante un evento equivalente a la orogénesis Herciniana, previo a su emplazamiento en Los Andes. Este terreno es producto de fragmentación continental, acrecionado por transcurrencia y cuyas zonas de sutura son las paleofallas de Caparo e Icotea. Con base a correlaciones estratigráficas, se propone que el Terreno Mérida era parte del Bloque Maya o Yucatán. Los autores describen un supra-terreno que yace discordantemente sobre las provincias geológicas mencionadas, conformado por sedimentos continentales y marinos (formaciones Carache, Sabaneta y Palmarito, de edad Pensilvaniense Tardío-Pérmico) (Bellizia y Pimentel).

Se considera que Los Andes venezolanos formaron parte de la esquina noroeste de Pangea. La ausencia de cualquier indicio de sedimentación marina del Pérmico

Tardío al Triásico, a lo largo de los paleo-márgenes de Japeto en el oeste de Pangea, sugiere que cualquier reconstrucción debe reconocer un cierre completo de dicho mar en el Paleozoico (Pindell, 1985).

Estudios sedimentológicos del Terreno Mérida sugieren que éste colisionó con el Escudo de Guayana durante el Carbonífero Tardío ~320 Ma. (Alemán *et al.*, 2000), lo cual precede ligeramente al amalgamamiento de Pangea, que de acuerdo a Cawood (2005) ocurrió hace ~300 Ma. Se puede visualizar en la Figura 6.

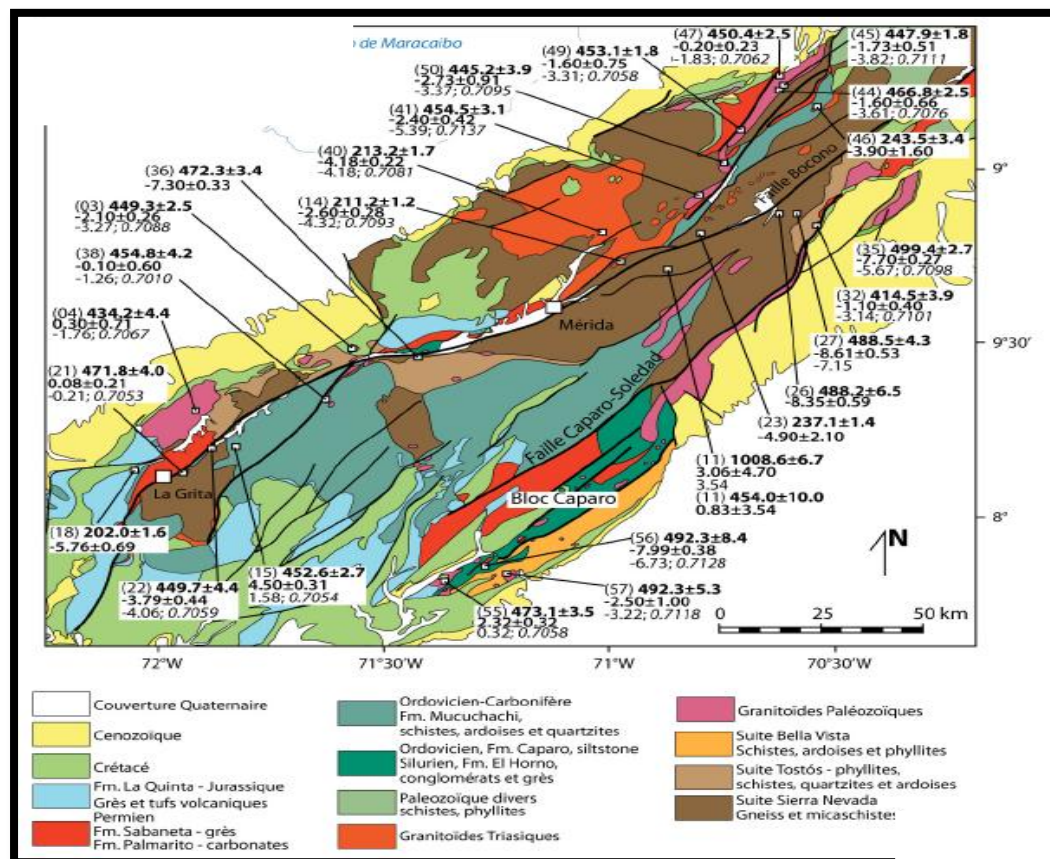


Figura 6: Mapa geológico de Los Andes venezolanos. Tomado de Vander Lelij (2013)

2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL:

El principal accidente tectónico de Los Andes venezolanos es la Falla de Boconó, la cual es de tipo rumbo deslizante dextral y según Audemard y Audemard (2002) es de

tendencia NW-SE y corre casi axialmente al eje de la cadena de Los Andes de Mérida (Ver Figura 7). Su extremo noreste culmina en la cordillera de la costa al norte de Venezuela, extendiéndose por casi 500 Km. entre la depresión del Táchira en el límite entre Colombia y Venezuela y Morón en la costa Caribeña de Venezuela (Audemard, 2002).

En el área de estudio existen otras fallas de interés, que dividen el terreno en bloques, tales como la Falla de Tuñame y la Falla del Río Motatán (Hoeger, 2007). La primera se encuentra ubicada en el Bloque Triangular de Trujillo (definido por las fallas de Boconó y Río Momboy), siendo una falla activa, normal, convexa hacia el norte. Antes era una falla inversa que yuxtapuso rocas precámbricas y rocas paleozoicas del núcleo de Los Andes de Mérida (Hoeger, 2007). La Falla del Río Motatán es inversa, de buzamiento elevado hacia el nor-oeste y paralela a las fallas del sistema El Gavilán-Tuñame-Boconó; sigue el curso del Río Motatán, desde el norte de Timotes, hasta las cercanías de Chachopo. Cerca de Chachopo, abandona este curso y sigue al sur-este, donde yuxtapone el granito de Chachopo con la Formación Palmarito (Hoeger, 2007). La edad del levantamiento de Los Andes ha sido determinada por diferentes técnicas y aproximaciones y la mayoría concuerdan en que comenzaron a levantarse en el Mioceno Tardío (Audemard, 2002; Bermudez *et al.*, 2010).

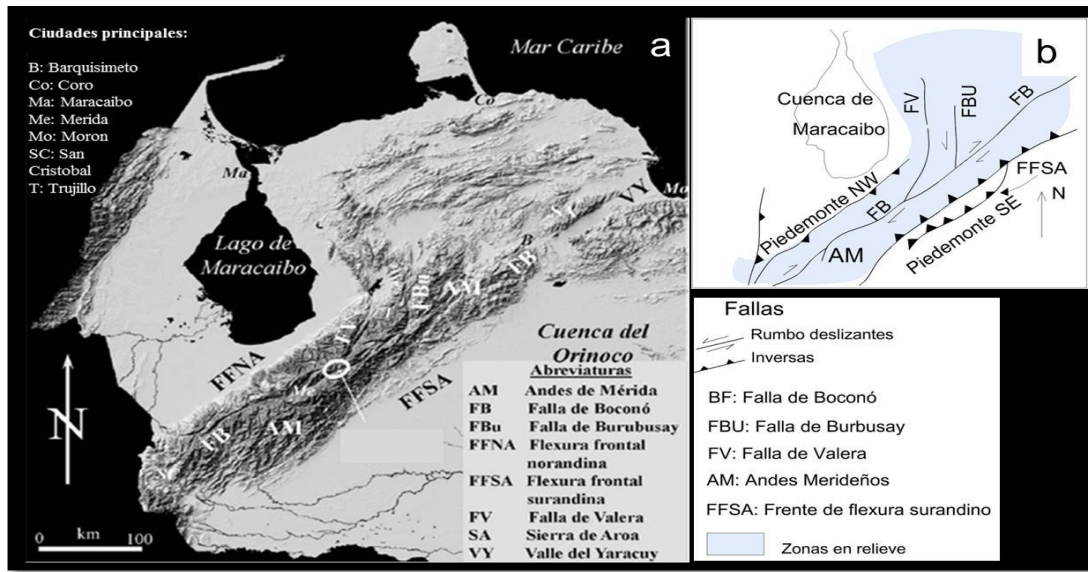


Figura 7: Tectónica de Los Andes venezolanos.

“Se observa la Falla de Boconó (FB) y otras fallas importantes asociadas, que inciden en la misma (sistema de fallas de Boconó). a) Tomado de Audemard (2009). b) Modificado de Audemard y Audemard (2002)”.

2.3 GEOLOGÍA PRESENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En la zona de estudio no se visualizan los mazisos o secuencias que dieron lugar a los sedimentos recolectados. Sin embargo, Tazzo (2014) muestra un mapa geológico en el cual se encuentra el área estudiada. En él se observa como en la parte alta de la cuenca hidrográfica está representado por la granodiorita El Carmen (Triásico tardío), en la cuenca media-alta se encuentra sedimentos correspondientes a la Asociación El Águila (Carbonífero) y en la parte media-baja de la cuenca hidrográfica el Complejo Iglesias (Paleozoico Inferior). (Figura 8).

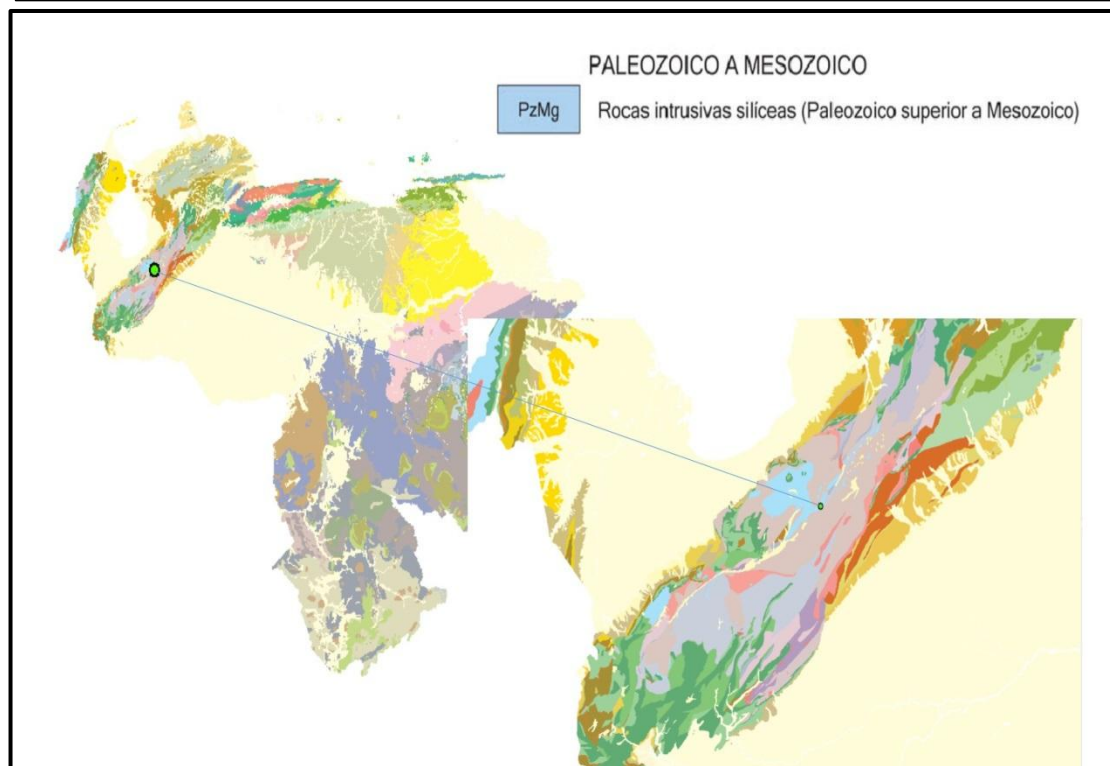


Figura 8: Mapa geológico de Venezuela con la litología específica de la zona (González, 2017).

Parte alta de la cuenca hidrológica:

Está representado por una zona de altura considerable (4300 msnm), las curvas de nivel muestran una pendiente elevada, con pocos drenajes asociados.

Brown A, en el 2010 habla de la **Granodiorita El Carmen** como una intrusión ígnea que invade al Complejo Iglesias en el Triásico. Por otra parte Tazzo en el 2014 describe La Granodiorita El Carmen ($211,6 \pm 1,0$ Ma, Triásico Tardío, van der Lelij *et al.*, 2011) como una de las masas graníticas principales en Los Andes nor-centrales de Venezuela, paralela a la directriz andina principal (NE-SO), ubicada al norte del río Chama. Aflora en forma de apófisis alineados, desde las cercanías del sector Capilla del Carmen, al noreste de la Ciudad de Mérida, hasta la naciente del río Turmero en las inmediaciones del Pico El Águila, con unos 40 Km. de longitud (Kovisars, 1972). La roca presenta moderada a avanzada meteorización; muestra diques tonalíticos (espesor promedio 1,2 m), diques monzograníticos en formas

elípticas (hasta 45 cm según el eje c y 15 cm de ancho), además de diques y venas de textura pegmatítica (de hasta 2 m y de 8 a 10 cm de espesor, respectivamente), inyectados en general en la dirección de los planos de diaclasamiento. Hoeger en el 2007 da breves detalles sobre las propiedades de la roca de la siguiente manera: “roca félsica que exhibe fracturas rellenas de epidoto, el color fresco es gris claro y meteoriza a colores crema. En algunos puntos se pueden encontrar colores naranja y rojizo producto de la meteorización. La roca es de granulometría gruesa y en muestra de mano son identificables cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y algunas micas”.

Parte media de la cuenca hidrográfica:

En esta parte de la cuenca la topografía sigue siendo alta, con cotas que van desde 3600 a 3900 msnm. La pendiente es abrupta y el drenaje es bastante denso, con tributarios que poseen un patrón dendrítico. Se puede inferir por los datos del drenaje que se trata de una litología menos competente que la anterior.

Durante el levantamiento se observaron una serie de cantos rodados los cuales tenían la misma litología. Se trata de filitas con alto contenido de grafito, por lo que se infirió con estudios previos de la zona que se trata del **Miembro de Filitas de El Balcón de la Asociación El Águila**.

Hoeger en el 2007 describe dicho Miembro como rocas filíticas-pizarrosas, bien laminadas, de color gris, gris oscuro a negras, que al meteorizarse presentan colores naranjas, pardos, cremas y en determinados puntos adquiere tonalidades rojizas. En estas rocas son identificables cristales de grafito y algunas micas blancas. Son comunes las bandas cuarzosas intercaladas, cuyo espesor puede alcanzar 15 cm. El Miembro Filitas de El Balcón, es la unidad predominante de la Formación El Águila (Ramírez *et al.*, 1971).

Parte Baja de la cuenca hidrológica:

Es la zona de menor altura en la que se realizó el estudio, aproximadamente 3400 msnm. La misma presenta menor pendiente y poca densidad en cuanto a drenajes (tributarios), por lo que se concluye que su litología es más competente que el **Miembro de filitas El Balcón** pero no es tan competente como la granodiorita El Carmen. Los cantos en este punto muestran una variedad de litologías en dónde predominan rocas graníticas, especialmente pegmatitas, estas rocas se asocian al **Complejo Iglesias**.

El Complejo Iglesias de edad precámbrico. Algunas de las rocas del basamento de la región se conocen como la Formación Sierra Nevada en varias de las publicaciones. Publicaciones más recientes (Bellizzia Pimentel, 1994) se refieren a esta unidad sótano particular, como el complejo de Iglesias, que será utilizado en este estudio.

En el área próxima a La Culata – Pueblo Llano, la unidad presenta grandes afloramientos de gneises bandeado, augen gneises y rocas graníticas; es común que la roca se presenta plegada y fracturada, los colores predominantes de la roca fresca son gris oscuro y meteoriza a colores naranja, violeta, verde y rosado. La granulometría de las rocas observadas es variable, predominando los cristales de tamaño medio. Los minerales predominantes son: cuarzo, feldespato, cristales de mica muscovita que pueden alcanzar 6mm de longitud y cristales de biotitas. El grado de meteorización exhibido es variable, siendo evidentes procesos de erosión diferencia. (Hoeger, 2007).

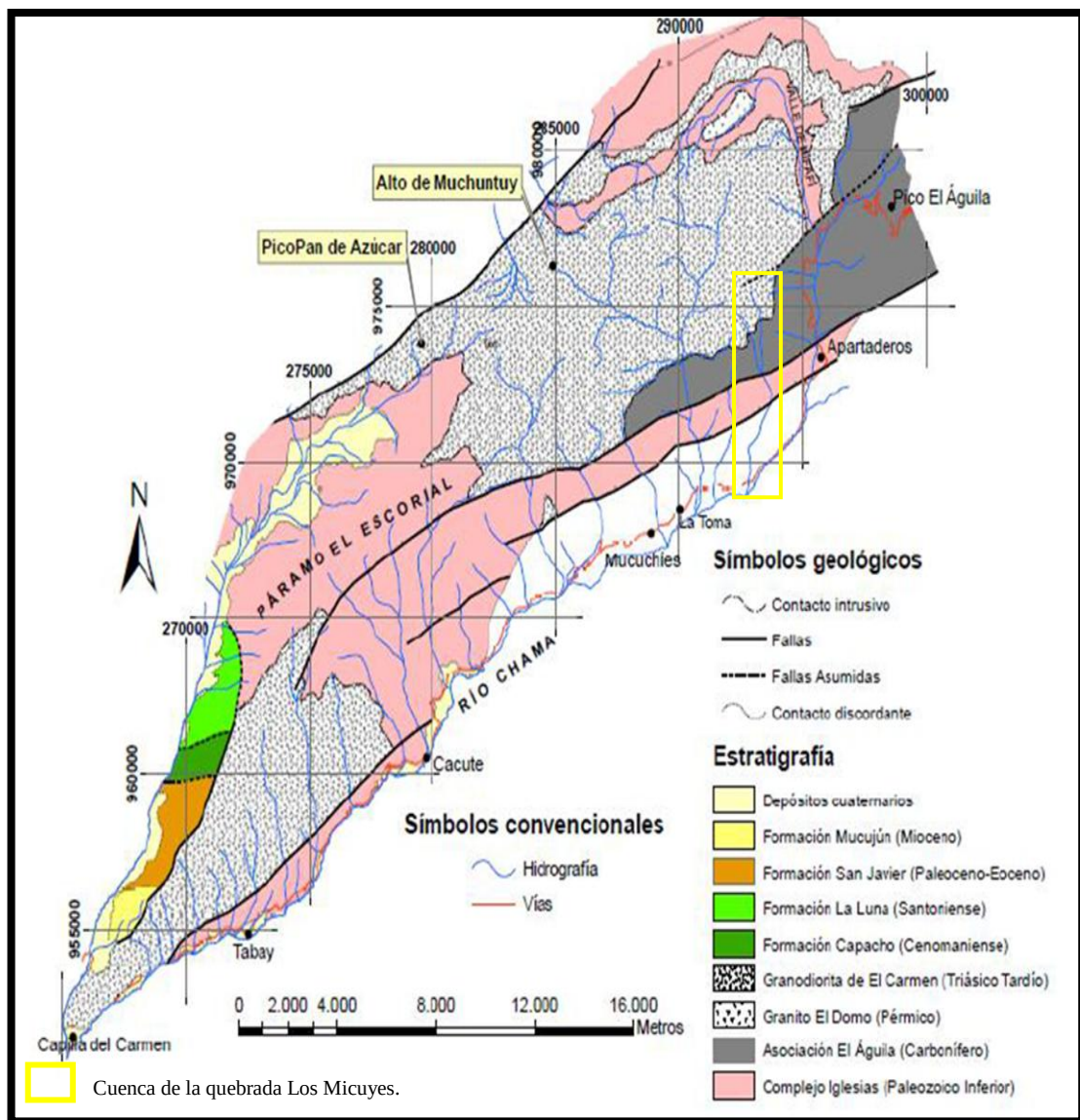


Figura 9: Mapa geológico de la Granodiorita el Carmen, dónde se muestra la geología de la zona de estudio. Tomado de Tazzo (2014).

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

El presente estudio se ha planteado como meta establecer las características químicas y mineralógicas de los sedimentos transportados por la quebrada Los Micuyes, y darles a estas características una interpretación de carácter ambiental, que sirva en principio para responder las inquietudes de estos pobladores, preocupados por la incidencia de enfermedades gástricas en la zona, a la vez de aportar datos que serán de utilidad en el establecimiento de la línea base geo-química para la región. En base a esto el presente trabajo se encuentra relacionado a líneas de investigación como la mineralogía ambiental y la geoquímica ambiental, cuyo límite de separación es más bien sutil.

3.1 Mineralogía ambiental y Geoquímica ambiental

La mineralogía es la rama de la geología física que estudia los minerales, su clasificación (sistemática), sus características composicionales, propiedades físicas y condiciones de formación (génesis). Como se muestra en la Figura 10 (Carrero I *et al.*, 2008).

La mineralogía ambiental por su parte utiliza dichos conocimientos y los relaciona con el medio ambiente. Los minerales, componente principal del medio físico, pueden producir efectos beneficiosos o perjudiciales en la sociedad y el ambiente, por lo que la mineralogía ambiental es de gran utilidad a la hora de analizar, evaluar y dar soluciones en esa área. (Carrero I *et al.*, 2008).

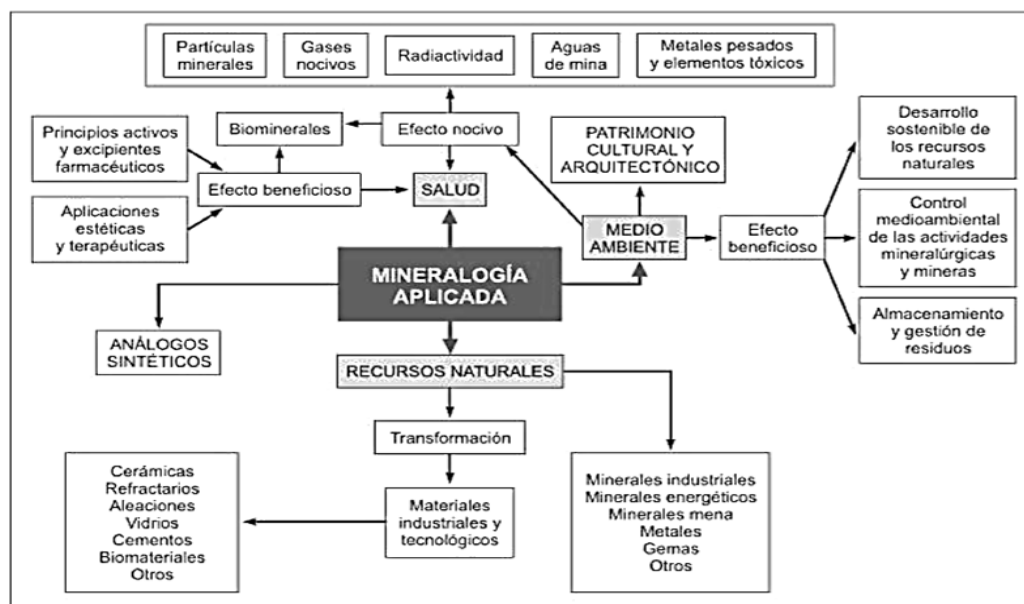


Figura 10: Cuadro sistémico de la mineralogía y sus aplicaciones. (Carrero I. *et al.*, 2008)

Los campos de aplicación de la mineralogía con fines ambientales son:

Los recursos naturales de menas y minerales industriales. Estudiar los depósitos (reservas), caracterizar de los materiales e impactos derivados de su exploración, explotación y tratamiento. (Carrero I *et al.*, 2008). Estudiar la problemática de los residuos mineros e industriales. Prevenir, controlar el impacto de derivados de almacenamiento, y establecer de los procesos de contaminación de la atmósfera, suelos y aguas. Utilizarlos minerales y análogos sintéticos como protectores ambientales en el almacenamiento de residuos y control de aguas contaminadas (Carrero I *et al.*, 2008).

Además de conocer la interacción de los minerales y sus productos geoquímicos con la salud humana. Establecer la influencia de las partículas, radio-isótopos, gases, aguas ácidas de minas y elementos de inhalación o contacto con los seres vivos (Carrero I *et al.*, 2008).

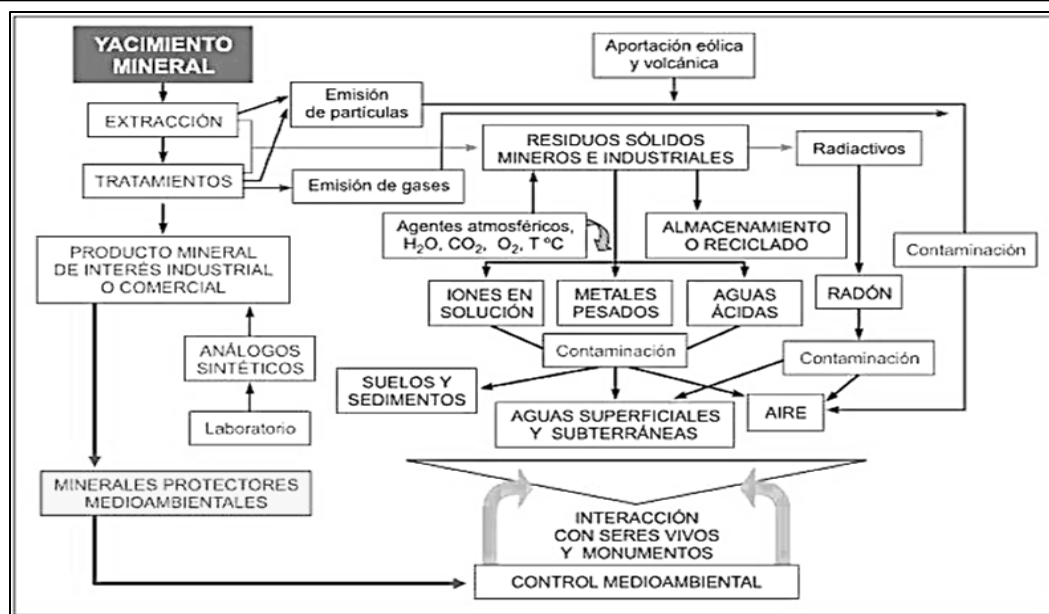


Figura 11: Cuadro sistemático de la mineralogía ambiental. (Carrero I *et al.*, 2008)

Por otro lado, la geo-química es la ciencia que estudia la composición química de la Tierra, los procesos y reacciones químicas que rigen la composición de las rocas y los suelos, el transporte de productos químicos en el tiempo y el espacio, y las interacciones de estos productos con la hidrosfera y la atmósfera. Por su parte la geoquímica ambiental estudia los efectos de los procesos químicos naturales o antrópicos (inducidos por el hombre) sobre el medio-ambiente (Oyarzum R *et al.*, 2010).

Dado que el material objeto de estudio en este trabajo es el sedimento acarreado por la quebrada Los Micuyes, a continuación se revisaran los aspectos teóricos relacionados a la formación del mismo, comenzando con el proceso de meteorización.

3.2 Meteorización durante el proceso de formación de sedimentos

Para comprender el comportamiento de los elementos en las muestras se debe conocer previamente como es la evolución o desarrollo de formación de los sedimentos. Morton y Hallsworth (1999), describen dicho proceso de la siguiente forma: La meteorización consta de varias etapas, se inicia con la exhumación de la

roca, la meteorización no es más que la desintegración y descomposición de los materiales por agentes físicos, químicos y biológicos en la superficie terrestre, lo cual genera un material disgregado que de ser transportado por agentes como agua o viento pasara a formar parte de los sedimentos fluviales o eólicos transportados previo a su depositación (Alvarado A., 1985).

Entonces, la meteorización puede ser definida como el proceso de alteración de rocas y minerales a fases más estables bajo condiciones variables de humedad, temperatura y actividad biológica que prevalecen en la superficie (Birkeland, 1999).

Dos (2) tipos de meteorización son reconocidos; el primer tipo corresponde a la meteorización física, en la cual la roca original es disgregada formando un material de menor tamaño, con ningún o pocos cambios apreciables en la composición química o mineralógica (Birkeland, 1999).

El segundo tipo de meteorización corresponde a la meteorización química, siendo uno de los mayores procesos que modifican la superficie de la tierra y uno de los procesos críticos en el ciclo geo-químico de los elementos (Ji *et al.*, 2004).

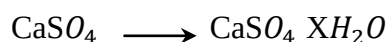
Este tipo de meteorización ocurre debido a que las rocas y minerales rara vez están en equilibrio con la composición de las aguas superficiales, temperatura y presión; por lo tanto los productos formados son más estables en el ambiente superficial o cercano a él. (Birkeland, 1999).

3.2.1 Meteorización química

Los procesos químicos que se llevan a cabo durante la meteorización comprenden la hidratación, hidrólisis, la oxidación y la disolución, todas ellas generadas por los principales agentes de la meteorización química: agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂) y sustancias húmicas.

Hidratación:

Birkeland (1999), considera que la hidratación y deshidratación son procesos en donde el agua es removida o absorbida de un mineral, y que el resultado es la formación de nuevos minerales. Como ejemplo cita a la formación de yeso y anhidrita por adición o remoción de agua. Un marcado incremento en el volumen acompaña la reacción.



Hidrólisis:

La hidrólisis es la reacción química entre el mineral y el agua, que ocurre entre los iones H_3O^+ u OH^- del agua y los iones del mineral. Esta reacción tiene lugar en cualquier momento cuando un mineral está en contacto con el agua. La alteración de los feldespatos es un buen ejemplo, cuando son alterados producen compuestos en solución y minerales arcillosos como la caolinita. Los cuales son termodinámicamente más estables en las condiciones atmosféricas. La reacción describe el proceso de hidrólisis del feldespato potásico



Oxidación:

Es un proceso mediante el cual un elemento químico pierde electrones de su capa de valencia, incrementando de esta manera la carga positiva del mismo. El agente oxidante más común en el sistema natural corresponde al oxígeno disuelto en el agua (Birkeland, 1999).

Muchos cationes de minerales silicatados son fácilmente convertidos a otro estado de oxidación, tal como $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$. Un cambio en el potencial redox del ambiente de meteorización en donde se encuentran tales minerales puede causar oxidación o reducción de algunas especies. Para mantener la neutralidad electro-estática de la

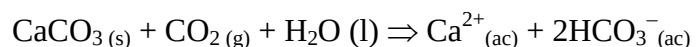
estructura cristalina, algunos iones deben introducirse o removerse del enrejado cristalino; lo que causa que el enrejado o estructura cristalina comience a ser inestable, por lo tanto, más susceptible para que otros procesos de la meteorización comiencen a actuar (Ollier, 1975).

Disolución:

La disolución es usualmente la primera etapa de la meteorización química, y puede tener lugar por medio del agua de lluvia o por delgadas películas de agua que rodean a la partícula sólida (Ollier, 1975).

Birkeland (1999), indica que la disolución puede ser dividida en congruente e incongruente. La disolución congruente ocurre cuando el mineral entra en solución completamente sin precipitar como otra fase. Por el contrario, en la disolución incongruente todos o algunos iones afectados por la meteorización precipitan para formar nuevos compuestos (arcillas, hidróxidos, y otros).

Como ejemplo de una disolución congruente menciona los minerales, Halita, Yeso y Sílice. La disolución del Carbonato de Calcio es otro ejemplo de este tipo de disolución, siendo esta fase soluble bajo condiciones superficiales y disueltas de acuerdo a la siguiente ecuación:



Una vez la roca ha sido sometida al proceso de meteorización el potencial iónico de los elementos que conforman el mineral, determina la ruta que seguirán los mismos, Goldsmith (1917) explica la separación de cationes debido a la relación que existe entre la carga iónica y el radio iónico, logrando dividir los elementos químicos en tres (3) grupos debido a su potencial iónico, menor a tres permanecen en solución iónica con pH elevados, los de potencial iónico entre tres y doce se hidrolizan en forma de hidróxidos y los elementos con potencial iónico mayor a doce generan aniones con el oxígeno (Ver Figura 12).

Esto explica el proceso de distribución de los elementos químicos en sedimentos y aguas, en dónde los elementos de potencial iónico medio se encuentren asociados a arcillas, mientras que los resistatos se asocian a arenas y los de menor potencial permanecen en solución y se acumulan en los océanos.

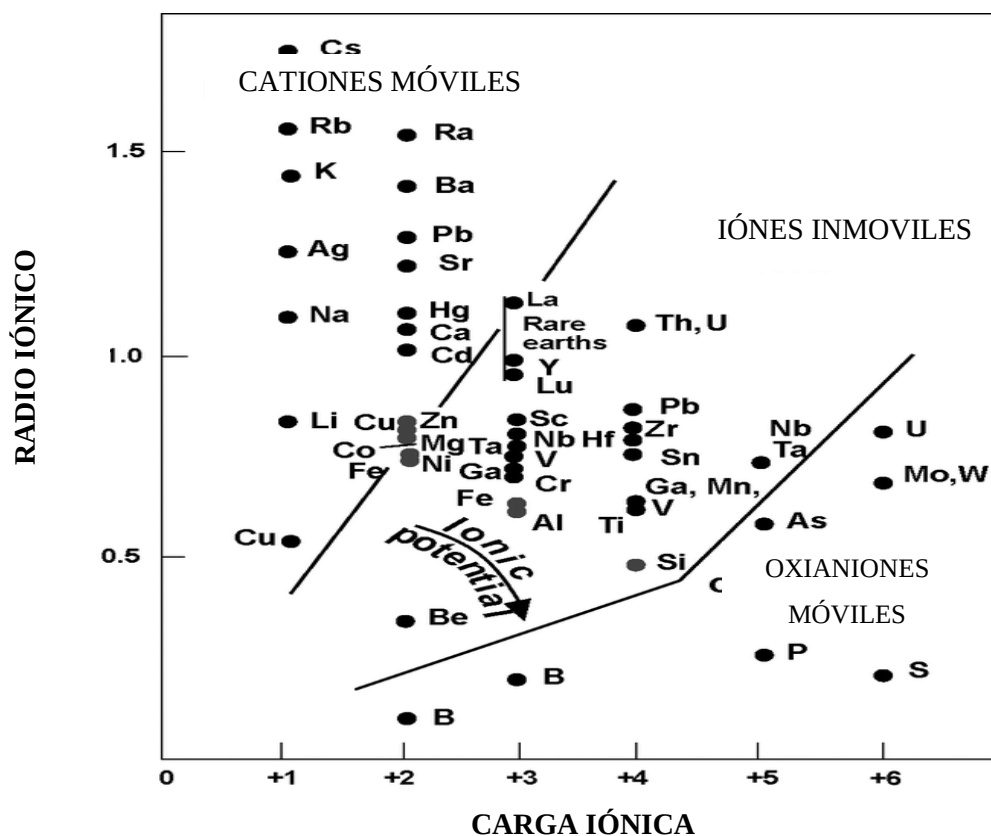


Figura 12: Separación de los cationes en términos de potencial iónico (carga/radio). (Mason, 1960)

3.2.2 Metales Pesados

La expresión Metales Pesados se usa para aludir de un modo no muy preciso a ciertos elementos metálicos, y también a algunos de sus compuestos, a los que se atribuyen determinados efectos de contaminación ambiental, toxicidad y eco toxicidad. Es importante destacar que hasta el presente, no se dispone de una definición oficial generalmente aceptada, ni de un listado de esos elementos, ni de una referencia clara y exacta de las propiedades o caracteres de los Metales Pesados que provenga de

alguna sociedad científica u organismo referente de alto nivel, como podría ser la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) o la US EPA, (Agencia de Protección Ambiental de los EUA), por ejemplo. Sin embargo, se considera Metales Pesados a los elementos metálicos que tiene una densidad igual o superior a 6 g/cm^3 cuando está en forma elemental, su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor al 0.01%.

Junto a estos Metales Pesados hay otros elementos químicos, Arsénico (As), Boro (B), Bario (Ba) y Selenio (Se) que se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados. A estos elementos también suelen llamárseles metales traza, bajo esta denominación se agrupan todos los elementos presentes en una muestra a concentraciones no detectables mediante técnicas de análisis clásicas, de forma que se consideran elementos trazas a los elementos detectables en un rango de concentración de 100 a 0.01 mg/Kg y se reserva el término ultra-traza a niveles comprendidos entre 0.01 mg/Kg y 10 $\mu\text{g/Kg}$ (Galán y Romero, 2008; Manahan, 2006).

Dentro de los Metales Pesados se distinguen dos (2) grupos:

Los Micronutrientes: necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos, son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn (Galán y Romero, 2008).

Metales Pesados no esenciales: metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son principalmente: Be, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Ti (Galán y Romero, 2008).

Los metales pesados han sido objeto de atención por sus características contaminantes peculiares (Manahan, 2006). Poseen carácter acumulativo, su concentración no disminuye con el tiempo; son necesarios y beneficiosos para las plantas y otros

organismos a determinados niveles, pero también son tóxicos cuando exceden unos niveles de concentración; Están siempre presentes en los suelos a unos niveles de concentración denominados niveles de fondo o “Background”, cuyo origen no es externo, sino que proviene del material parental originario de las rocas y su transformación; Con frecuencia se encuentran como cationes que interactúan fuertemente con la matriz del suelo, lo que en ocasiones se traduce en que incluso a altas concentraciones pueden encontrarse en forma química no dañina o inerte. Sin embargo estos metales pueden movilizarse y cambiar de forma química debido a cambios en las condiciones medio ambientales. Por esta razón se les ha catalogado como bomba de relojería química (Morales, 2001).

La elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación en los organismos vivos, los convierte en contaminantes prioritarios cuyos efectos tóxicos no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a mediano y largo plazo (García y Romero 2008). Por las características generales expuestas, es necesario identificar el origen de los metales pesados en los sedimentos bénticos de los cuerpos hídricos, que en esencia tiene dos (2) fuentes principales, las fuentes naturales y las fuentes antropogénicas (Manahan, 2006). Como principal fuente natural aportante, se tiene la meteorización de rocas y suelos directamente expuestos a la acción del agua. Por su parte, actividades antropogénicas como la agricultura, la industria y los residuos urbanos tienen gran importancia en el aporte de metales pesados en el fondo de los cursos de aguas naturales (Marzal, 2001).

Por otra parte, estos elementos pueden resolubilizarse por distintos fenómenos y así ser directamente incorporados por el hombre, o bien llegan indirectamente hasta él a través de la cadena trófica (Marzal, 2001). También influye sobre la toxicidad del metal el tiempo de residencia en el sistema (dato de muy difícil determinación), que puede llegar a ser de muchos años si las condiciones y la estabilidad del medio acuático así lo permite (Usero *et al.*, 1997).

Los Metales Pesados tienen tres (3) vías principales de entrada a los sistemas acuáticos, a saber:

- La vía atmosférica, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos, principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales (Molina, 2004).
- La vía terrestre, es producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abono, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales (Zafra, 2009).
- La vía directa, es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales (Finck, 1988).

Tabla 4: Minerales pesados más importantes

Elemento	Densidad g/cm ³	Rocas mg/kg	Esencial	Contaminante veg/anim
Ag	10.5	0.07		X
Au	19.3	0.05		
Bi	9.8	0.17		X
Cd	8.7	0.2		X
Cr	7.2	100.0	X	X
Co	8.9	25.0	X	X
Cu	8.9	55.0	X	X
Fe	7.9	6x10 ⁴	X	X
Hg	13.6	0.08		X
La	6.2	25.0		X
Mn	7.4	950.0	X	
Pb	11.3	13.0		X
Mo	10.2	1.5	X	X
Ni	8.9	75.0	X	X
Pt	21.5	0.05		
Tl	11.9	0.45		X
Th	11.5	9.6		X
Sn	7.3	2.0	X	X
U	19.1	2.7		X
V	6.1	135.0	X	
W	19.3	1.5	X	X
Zn	7.1	70.0	X	X
Zr	6.5	165.0		X

Tomado de Davis, (1980).

3.2.3 Metales pesados contaminantes:

Cobre (Cu). El cobre (Cu) se presenta en diversas sales minerales y compuestos orgánicos, así como en forma metálica. El metal es poco soluble en agua, las sales o soluciones moderadamente ácidas, pero pueden ser disueltas en ácido nítrico y sulfúrico, así como en soluciones básicas de hidróxido de amonio o carbonato (Mireya y Mendoza, 2007).

El cobre (Cu) es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire. Es esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Por lo tanto, las plantas y los animales deben absorber cobre de los alimentos o bebidas que ingieren, o del aire que respiran (ATSDR, 2004).

Las fuentes naturales de cobre incluyen el viento $0.9 - 15 \times 10^3$ ton; partículas volcánicas, $0.9 - 18 \times 10^3$ ton; incendios forestales, 0.1 a 7.5×10^3 mg/kg; brisa marina, 0.2 a 6.9×10^3 ton, y procesos biogénicos $0.1 - 6.4 \times 10^3$ ton, mientras que las fuentes antropogénicas son: fundidoras, industria del hierro, estaciones de energía, aunque la mayor liberación de cobre (Cu) a la tierra es de los jales de las minas de cobre (Cu) y lodos del drenaje (Res *et al.*, 1998). El cobre (Cu) se usa en la fabricación de fertilizantes, bactericidas, fungicidas, plaguicidas, sistemas de distribución de agua, preservadores de maderas, galvanoplastia, entre otros (Mireya y Mendoza, 2007).

En la atmósfera se encuentra asociado con las partículas sólidas y es a través de la sedimentación, deposición seca y lluvia que llega al suelo. En el cobre (Cu) que se halla en el agua resulta del intemperismo del suelo y descargas de la industria y plantas de tratamiento de lodos (Wallinder y Leygraf, 1997)

Cromo (Cr): El Cromo (Cr) es un elemento distribuido extensamente en la corteza terrestre. Puede presentar valencias de +2 a +6. Al parecer, los alimentos son en general la fuente principal de ingesta de este elemento. A niveles de traza es otro elemento esencial, pero puede actuar también como un potente agente cancerígeno. Sus propiedades cancerígenas están asociadas con el Cr +6, el estado superior de oxidación del Cromo (Cr). El elemento Cromo (Cr) no se encuentra en la naturaleza en estado libre, se halla como constituyente de numerosos minerales. La contaminación ambiental con Cromo (Cr) se debe principalmente a causas antropogénicas como resultado de ciertas actividades industriales, entre las que podemos citar, galvanizados (inhibidores de corrosión), pinturas, tratamiento para la preservación de postes de madera, fungicidas, tintas, curtiembres, cerámicas, preservadores de telas, en la fabricación de explosivos, etc. Las especies de Cromo (Cr) +6 y Cromo (Cr) +3 tienen diferentes biodisponibilidad y toxicidad en los seres humanos, y por esta razón, para preservar la salud de la población, se requiere de un estricto control de sus contenidos en muestras ambientales. Ambas especies de

Cromo (Cr) +3 y +6 pueden coexistir en aguas naturales, efluentes y suelos dependiendo del pH del medio y de sus características de oxidación – reducción. El Cromo (Cr) se utiliza principalmente en metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y un acabado brillante. En aleaciones, por ejemplo, el acero inoxidable es aquel que contiene más de un 12% en Cromo (Cr), aunque las propiedades antioxidantes del Cromo (Cr) empiezan a notarse a partir del 5% de concentración. Es común el uso del Cromo (Cr) y de alguno de sus óxidos como catalizadores, por ejemplo, en la síntesis de amoníaco (NH₃).

Manganeso (Mn). Éste metal es segundo más abundante en la tierra. Los depósitos de mineral son por lo general de origen sedimentario, con capas de óxido de intercaladas con formaciones ricas en Fe (Das *et al.*, 2011).

El manganeso (Mn) existe en diferentes estados de oxidación que cubre un rango de 0 a +7; sin embargo, los estados de oxidación que en la naturaleza tienen importancia biológica son +2, +3 y + 4. Solo el manganeso Mn +2 puede estar como ion libre en solución. El manganeso (Mn) como ion +3 puede estar en soluciones acuosas cuando esta acomplejado (Ismail *et al.*, 2004).

Las fuentes de manganeso (Mn) en el aire incluyen plantas que producen hierro (Fe) y acero, plantas de energía, hornos de coque y polvo generado por operaciones de minería no controladas. El manganeso (Mn) liberado al quemar un aditivo de la gasolina también representa una fuente en el aire. El metal proveniente de estas fuentes humanas puede entrar al agua superficial, al agua subterránea y a aguas de alcantarilla (ATSDR, 2004).

Pequeñas partículas de manganeso (Mn) también pueden ser arrastradas por el agua que corre a través de vertederos y el suelo. El maneb y mancozeb, dos plaguicidas que contienen manganeso (Mn), pueden también contribuir a la cantidad de Mn en el ambiente cuando se aplican a cosechas o se liberan al ambiente desde plantas de almacenaje. No hay ninguna información acerca de la cantidad de maneb o mancozeb liberada al ambiente desde plantas que manufacturan o usan estos 30 plaguicidas. La

cantidad de manganeso (Mn) en el ambiente proveniente de la liberación o el uso de estos plaguicidas no se conocen (ATSDR, 2004).

Níquel (Ni). El níquel (Ni) es un elemento metálico que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Debido a sus propiedades físico-químicas es ampliamente utilizado en la industria moderna. Entre los usos del níquel (Ni) tenemos: preparación de aleaciones con Cu, Fe y Al, preparación de aceros especiales, niquelado por electrólisis, catalizador en los reactores químicos y fabricación de baterías de Ni-Cd (Denkhaus y Salnikow, 2002).

Debido al alto consumo de productos que contienen este metal ocasionan la contaminación ambiental por níquel (Ni) y sus derivados en las diferentes etapas de producción, reciclaje y eliminación. La exposición humana al níquel (Ni) se produce fundamentalmente por inhalación y por ingestión. Cantidades significativas de níquel (Ni) en diferentes formas se pueden depositar en el cuerpo humano a través de la exposición ocupacional y la dieta diaria, lo cual puede generar efectos nocivos sobre la salud humana. Por contacto puede ocasionar dermatitis que es la reacción más común y conocida (Kapsenberg *et al.*, 1988). A pesar de la acumulación de níquel (Ni) en el cuerpo a través de la exposición crónica puede conducir a la fibrosis pulmonar, enfermedades cardiovasculares y renales; los problemas más graves se relacionan con la actividad cancerígena de níquel (Ni). Estudios epidemiológicos han demostrado el potencial de níquel (Ni) como carcinógeno humano basados en una mayor incidencia de cáncer de pulmón y nasal. Según la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) tras la evaluación de la carcinogenicidad de níquel (Ni) en 1990, todos los compuestos de níquel (Ni) a excepción de níquel (Ni) metálico fueron clasificados como cancerígenos para los seres humanos (IARC, 1990).

El níquel (Ni) se encuentra en todos los suelos presentes en formas insolubles (como sulfuros y silicatos) y un gran número de formas solubles, este puede ser liberado por

emisiones volcánicas. También se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos (Garrett, 2000).

Los niveles de exposición son: C.M.P.: níquel (Ni) metal 1 mg/m³ y para compuestos solubles: 0,1 mg/m³ (ATSDR, 2004).

4.2.8. Zinc (Zn). El zinc (Zn) se presenta de forma natural en el agua. La media de concentración de zinc (Zn) presente en el agua de mar es de 0.6-5 µg/L. Los ríos contienen generalmente entre 5 y 10 µg/L de zinc (Zn). Las algas, entre 20 y 700 mg/kg, los peces de mar y caparazón de bivalvos 3-25 ppm, las ostras 100- 900 mg/kg y las langostas 7-50 mg/kg. El zinc (Zn) es un elemento traza esencial de para todos los organismos vivos. Es un constituyente de más de 200 metalo-enzimas y otros compuestos metabólicos (Jones *et al.*, 2000).

No se le atribuye nivel de clasificación de riesgo para el agua, puesto que no supone un gran peligro. No obstante, esto sólo se refiere al estado elemental, ya que algunos derivados, como arsenato de Zinc y cianuro de Zinc, pueden ser extremadamente peligrosos. Es un mineral esencial para seres humanos y animales, la ingestión de cantidades excesivas puede perjudicar la salud de ambos y volverse tóxico. La toxicidad suele ser baja para animales y personas, pero no debe descartarse la fitotoxicidad. El lodo que proviene de las plantas de tratamiento de aguas residuales se aplica en agricultura, horticultura y silvicultura, y por lo tanto las concentraciones no deben sobrepasar los límites de 3 g/kg. Se presenta un enriquecimiento alrededor de las granjas piscícolas como resultado de los insumos alimenticios y los desechos fecales (Dean *et al.*, 2007).

3.2.4 Contaminación de sedimentos por metales pesados:

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de solubilizarse durante las modificaciones fisico-químicas estacionales (estiaje, crecida, etc.). La desoxigenación

de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase sólida, produciendo así, la disminución de la concentración de Fe y Mn en el sedimento. La reducción de estos dos elementos puede ocasionar la solubilización de ciertos metales adsorbidos en el sedimento como el zinc (Zn), cromo (Cr) y níquel (Ni) (El Falaki *et al.*, 1994; Baruah *et al.*, 1996). Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Förstner, 1987; Sigg *et al.*, 1987; Carignan y Tessier, 1988; Vaithiyathan *et al.*, 1993; Singh *et al.*, 1999). Por otra parte, numerosos estudios han demostrado el poder quelatante del EDTA, que disuelve metales de los sedimentos incorporándolos a la columna del agua (Frimmel *et al.*, 1989; Alder *et al.*, 1990; Gonsior *et al.*, 1997). Otra posibilidad es que la presencia de ciertos componentes de las formulaciones detergentes como son los tensioactivos, agentes blanqueadores, estabilizantes, entre otros, participen en la movilización de los metales pesados (Weiner *et al.*, 1984; El Falaki *et al.*, 1994). Por tanto, el análisis de metales pesados en sedimentos nos permite detectar la contaminación que puede escapar al análisis de las aguas y también proporciona información acerca de las zonas críticas del sistema acuático (Förstner Salomons, 1980; Baudo y Muntau, 1990; Belkin y Sparck, 1993; Förstner *et al.*, 1993; Chen *et al.*, 1996; Moalla *et al.*, 1998). De la concentración total del metal, sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos, estas incluyen iones libres y metales liposolubles (Morrison *et al.*, 1989; Chen *et al.*, 1997). En consecuencia, el estudio en la fracción biodisponible o móvil de metales ligados a sedimentos es más importante que la concentración total del metal en las corrientes fluviales.

3.2.5 Importancia de la granulometría en los sedimentos:

La concentración de metales pesados en los sedimentos no sólo depende de fuentes antropogénicas y litogénicas, sino también de las características texturales, contenido

de la materia orgánica, composición mineralógica y ambiente deposicional de los sedimentos. En general, los metales pesados están asociados con las partículas pequeñas de estos materiales (Ackermann, 1980; Presley *et al.*, 1980; Salomons y Förstner, 1984; Martincic *et al.*, 1990; Biksham *et al.*, 1991; Singh *et al.*, 1999). Esta tendencia es atribuida predominantemente a la adsorción, co-precipitación y formación de complejos de metales en las capas superficiales de la partícula. Como es conocido, las pequeñas partículas tienen elevada área superficial con relación a su volumen y por consiguiente pueden retener altas concentraciones de metales. El área superficial específica de los sedimentos es dependiente de los parámetros granulométricos y la composición mineral (Juracic *et al.*, 1982; Singh *et al.*, 1999). Por ello, muestras de sedimentos tomadas en puntos muy próximos, pueden presentar contenidos en metales muy diferentes, siendo la textura del sedimento la principal responsable de tales discrepancias (Zöllmer y Irion, 1993; Usero *et al.*, 1997). En limos y en las fracciones finas de arenas las concentraciones de metales generalmente disminuyen, al igual que en la fracción denominada como componentes de cuarzo (Salomons y Förstner, 1984; Casas *et al.*, 1990; Vaithyanathan *et al.*, 1993). Varios autores admiten que para poder comparar las concentraciones de metales pesados de distintas muestras, es preciso aplicar métodos de corrección que minimicen los efectos asociados a la granulometría de los sedimentos. La técnica de corrección más frecuentemente empleada consiste en, tras la separación mecánica, analizar sólo la fracción del sedimento con un tamaño inferior a un determinado valor (Förstner y Patchineelam, 1980; Ackermann, 1980; De Groot *et al.*, 1982; Schoer *et al.*, 1982; Ackermann *et al.*, 1983; Sakai *et al.*, 1986; Vaithyanathan *et al.*, 1993; Usero *et al.*, 1997). Entre las fracciones que se pueden separar para realizar los análisis la mayoría de autores (Förstner y Wittmann, 1981; Hakanson, 1984; Joyce y Wayne, 1985; Rauret *et al.*, 1986; Gaiero *et al.*, 1997; Usero *et al.*, 1997) recomiendan analizar la porción $< 63 \mu\text{m}$ por las siguientes razones:

- Los metales pesados de origen antropogénico, se encuentran principalmente asociados a estas partículas.

- Existe una elevada relación entre los contenidos de elementos determinados en esta fracción y los que se encuentran en suspensión. Es importante destacar, que la suspensión es la forma de transporte más importante de las partículas que están presentes en los sedimentos.
- La técnica de tamizado empleada para separar esta fracción, no altera las concentraciones de metales en la muestra, además es rápida y sencilla.
- Son numerosos los estudios de metales pesados en sedimentos realizados en la fracción $< 63 \mu\text{m}$, lo que permite una mejor comparación de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados y análisis de la investigación. Se presentan por secciones para facilitar la comprensión. La sección I contempla el análisis granulométrico y mineralógico realizado, la segunda sección se refiere al análisis químico y la última sección corresponde a la correlación general de los datos para la quebrada (correlación entre los puntos de muestreo).

4.1 Análisis Granulométrico de los sedimentos recolectados de la quebrada Los Micuyes.

En la tabla 5 se observan los pesos de cada fracción granulométrica para las muestras de sedimentos colectadas. Según la clasificación de Udden-Wentworth (1922) se tienen arenas de grano grueso, de grano medio y de grano fino, además de arcillas. De esta tabla se desprende que la granulometría es muy similar para las muestras colectadas, dominando la fracción de arenas gruesas (% superiores a 60) sobre arena media (% entre 20 y 30) y por último la fracción limo arcillosa con porcentajes entre 5% y 2% respectivamente.

Tabla 5: Cantidad de sedimentos por puntos de muestreo

Número de Muestras	Tamices en laboratorio	Tamaño en micras	Peso en gramos - (%)
M1 PTO 017	TAMIZ #25	707	1230,2 (72%)
	TAMIZ #60	256	384,4 (22,7%)
	TAMIZ #80	177	38,6 (2,3 %)
	TAMIZ <230	<63	36,6 (2,2 %)
M2 PTO 018	TAMIZ #25	707	714,4 (66,6 %)
	TAMIZ #60	256	254,1 (23,7 %)
	TAMIZ #80	177	48,1 (4,5 %)
	TAMIZ <#80	<63	55,3 (5,2 %)
M3 PTO 019	TAMIZ #25	707	876,1 (65,6 %)
	TAMIZ #60	250	375,2 (28,7 %)
	TAMIZ #80	177	45,3 (3,4 %)
	TAMIZ #230	<63	44,6 (3,4 %)

Estos resultados parecen indicar en primera instancia que los procesos de meteorización química son incipientes en la quebrada, esto en función del escaso porcentaje de material limo arcilloso encontrado, esto fue verificado a partir de los análisis mineralógicos en los cuales se observó que en realidad las fases neoformadas conforman un escaso porcentaje de minerales en este material por lo que nos inclinamos a esta suposición. Esto no niega que el bajo porcentaje de arcillas también pueda explicarse en función de procesos mecánicos de separación gobernados por el

equivalente hidráulico de los distintos tamaños de grano en el sistema, ya que la energía del medio (agua) en los puntos muestreados es alta por lo que la depositación de la fracción fina en estos puntos se ve limitada. Efectivamente la conclusión lógica es que ambos hechos contribuyen.

4.2 Estudio de cantos rodados colectados

4.2.1 Petrografía

Parte alta de la cuenca de la quebrada Los Micuyes:

El análisis realizado se hizo sobre cantos rodados, colectados en el cauce de la quebrada tal y como se mencionó en la descripción de la etapa de campo, debido a que no había afloramiento cercano y en general los cantos colectados en cada punto tenían la misma litología.



Figura13: Granodiorita El Carmen (GrD-M1)

La roca analizada petrográficamente posee más de 80% de minerales claros e índice de color (IC) menor a 20%, por lo que se considera una roca félsica-leucocrática. La roca presenta plagioclasas que tienen composición (determinada ópticamente) que varía entre oligoclasa-andesina (An 20-35). La textura de la roca es hipidiomórfica-equigranular, con tamaño de grano que varía entre medio a grueso (Ver Figura 13).

Con base a la mineralogía encontrada y la cual se presenta en la Tabla 6 estos cantos son identificados como granodiorita. El nombre de las rocas estudiadas fue asignado según la clasificación QAP de Le Bass y Streckeisen. En base a esto se concluye que aguas arriba se confirma la presencia de la granodiorita del Carmen, reportada por Tazzo (2014) y Hoeguer (2007). Las texturas encontradas son (Figura 14):

Textura Poiquilitica involucra cristales de plagioclasa zonada, cuarzo y biotita embebidos en cristales de microclino.

Mimerquítica entre cuarzo y plagioclasa. Se produce fundamentalmente en aquellas zonas de la roca donde la plagioclasa está en contacto con feldespato potásico.

Gráfica se encuentra relacionada al cuarzo y feldespato potásico.

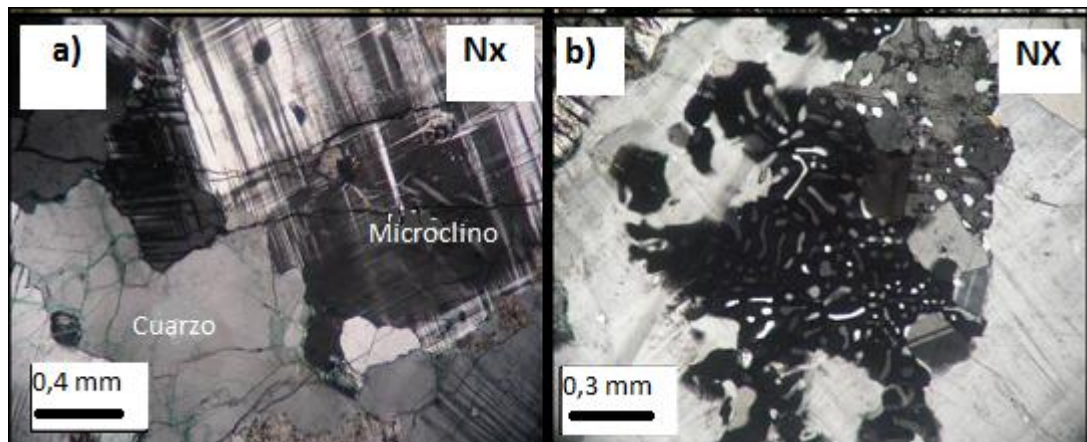


Figura 14: Fotomicrografías de feldespatos potásicos de la granodiorita de El Carmen
“Microclino (Mc) mesopértítico en finas venas, limpio de alteraciones en NX (GrD-M1)”.

En cuanto a las propiedades ópticas (Ver Tabla 6) de los minerales se tiene que el cuarzo presenta un grado de cristalinidad anhedral, con tamaño variable, entre 0,5 y 2 mm en promedio. En varias secciones finas se aprecia deformación importante, con formación de sub-granos (extinción ondulatoria) y granos rotos o triturados. En el grupo de los feldespatos está representado por microclino, ortosa y las plagioclasas. El feldespato potásico que se identificó es la ortosa con un 10% en la roca, presenta en forma sub-hédrico, el microclino por su parte es anhédrico y posee textura característica tipo tartán que se encuentra de moderado a bien desarrollado; además se presenta como cristales mesopertíticos. Las plagioclasas son sub-hédricas, con tamaños variables entre 0,3 y 2mm. Éstas se presentan como cristales con zonaciones y algunos feldespatos presentan alteración a sericita.

Entre las micas que se observaron se tiene la biotita, que puede llegar medir hasta 1 mm según su eje “c”; su forma es sub-hédrica, con pleocroísmo de verde oscuro a marrón. En algunas rocas, el pleocroísmo está disimulado por alteraciones a clorita. La muscovita se presenta texturalmente en forma sub-hédrica, en algunos casos o anhédrica, cuando son de origen secundario. La primera de ellas está asociada con la biotita, pudiendo llegar a medir hasta 1mm. La muscovita secundaria, es comúnmente de menor tamaño, formada a partir de la alteración de las plagioclasas.

Por último, entre los minerales accesorios se visualiza el apatito con forma sub-hédrico a euhédrico, pudiendo llegar a medir unos 0,5 mm y magnetita (negro acerado en luz reflejada), con menor abundancia (Figura 15).

Tabla 6: Composición Mineralógica de la Granodiorita

Minerales	Composición (%)	Tamaño (mm)	Alteraciones
Cuarzo	48	0.5-2	-
Plagioclasas (Oligoclasa-Andesita)	30	0.3-2	Seritización
Feldespatos K(1)	10	0.2-2	-
Biotita	10	0.2-1	Cloritización
Muscovita	2	0.2-1	-
Otros (2)	3	0.2-0.5	-
IC (3): 13%			

1 microclino + ortosa. 2 Apatito ± magnetita

IC: Índice de color: Min = minerales máficos + minerales accesorios (Streckeisen, 1976).

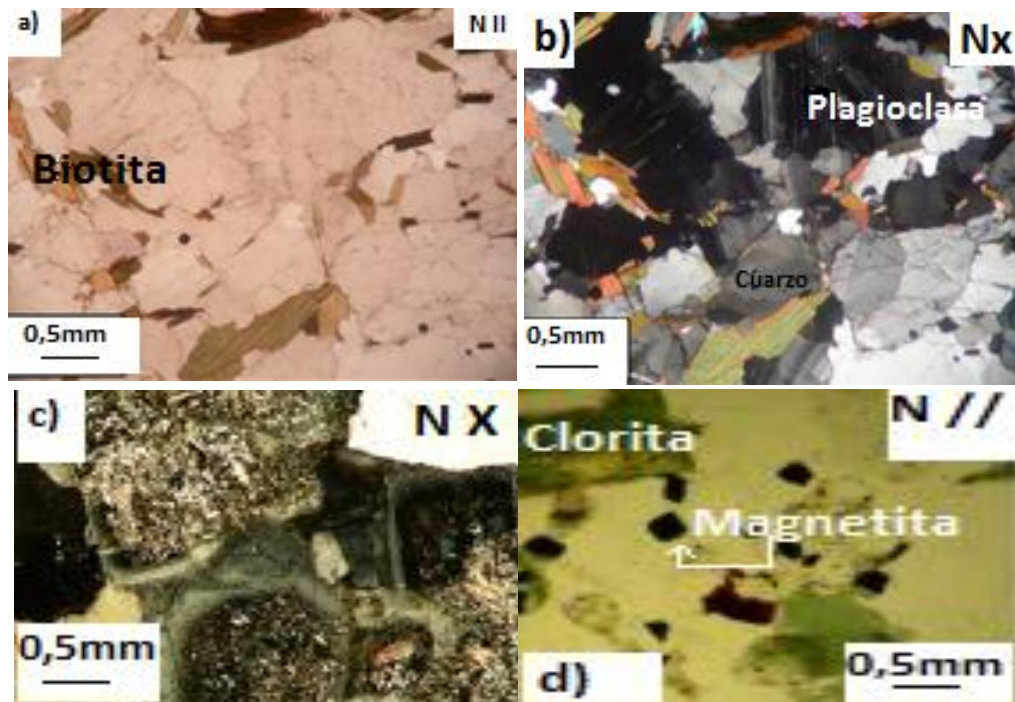


Figura 15: Fotomicrografías de la granodiorita de El Carmen

“Textura hipidiomórfica-equigranular, Parte alta de la quebrada (GrD-M1), en donde se observan algunas de las principales fases minerales: plagioclase (Pl), cuarzo (Qz) y biotita (Bt) en a) nicols paralelos de la muestra, b) nicols cruzados de la muestra, c) Plagioclasas alteradas a sericita y con zonación en parches y d) Clorita en nicols paralelos”.

Parte Media de la cuenca de la quebrada Los Micuyes:

Roca metamórfica con alto contenido de grafito y micas. Entre las micas se identifican en alto porcentaje muscovita y biotitas alterando a cloritas. El contenido de material grafitoso es alto y al estar disperso en la matriz no permite la distinción de otros minerales. En una parte de la sección fina, se observan cristales de cuarzo en forma de veta, sin embargo es un área de la sección muy pequeña. La textura que predomina por los minerales descritos anteriormente es la lepidoblástica.

Por los minerales presentes y sus alteraciones se determina que la roca presenta un metamorfismo hidrotermal. Que se encuentra en una facie metamórfica de esquistos verdes con una temperatura de 400°C aproximadamente y entre 6-10 kbar de presión. La composición mineralógica porcentual se muestra en la Tabla 7.



Figura 16: Filita (FI-M2)

Tabla 7: Composición Mineralógica de filita

Minerales	Composición (%)	Tamaño (mm)	Alteraciones
Cuarzo	5	0.5-3	
Grafito	60	0.2-3	
Biotita	20	0.2-1	Clorita
Muscovita	15	0.2-1	

Parte baja de la cuenca de la quebrada los Micuyes

Roca granítica, con textura fanerítica. Posee un IC menor al 10%. Está compuesta esencialmente por cristales de gran tamaño de feldespato alcalino (ortosa y microclino), plagioclasas (albita) y cuarzo con alguna pequeña inclusión de moscovita de tamaños de 0,5 a 1cm. Hacia los bordes los minerales pierden tamaño, por lo que se puede identificar una textura aplítica. Por otra parte es importante destacar que los cristales de plagioclasas (albita) presentan alteraciones a sericita (Tabla 8).



Figura 17: Muestra de mano de la pegmatita (Peg-M3)

Tabla 8: Composición Mineralógica de la pegmatita

Minerales	Composición (%)	Tamaño (mm)	Alteraciones
Cuarzo	40	0.5-3	-
Plagioclasas (Albita-Oligoclasa)	10	0.2-2	Seritización
Feldespato K (ortosa-microclino)	35	0.2-2	-
Muscovita	12	0.2-3	-

Los resultados de los análisis petrográficos permiten establecer la presencia de tres (3) grupos litológicos en la cuenca de la quebrada Los Micuyes, una granodiorita que puede ser claramente relacionada a la granodiorita del Carmen reportada por Tazzo (2014), Una litología de características metamórficas la cual podría nombrarse como una filita, perteneciente a la Asociación El Águila y una litología de textura

pegmatítica correspondiente a Complejo Iglesia. Los datos corresponden a la litología reportada por Hoeguer en el 2007 en parte de la zona. Además indican la posibilidad de alteración hidrotermal en la cuenca.

4.2.2 Análisis por difracción de rayos X

El análisis mediante difracción de rayos X refleja que existen igualdades mineralógicas en las fracciones granulométricas de los sedimentos. (Ver Tabla 9)

En las arenas de grano grueso (fracción de 707 micras) presentes en la parte media (M2) y baja (M3) de la quebrada Los Micuyes se detectan iguales minerales tales como: Muscovita, Cuarzo, Clinocloro y Albita. La parte alta de la quebrada (M1) por el contrario no presenta Clinocloro.

En la fracción de grano medio (fracción 250 micras) los puntos de muestreo señalan similitudes, ya que en la parte alta (M1) de la cuenca y en la parte baja (M3) se detectan el Cuarzo, Albita, Muscovita y Clinocloro. Mientras que en la parte media no se detectó Clinocloro.

Por otra parte en los sedimentos con fracciones de arenas de grano fino (fracción 177 micras) y en los sedimentos tamaño limo - arcilla (fracción <63 micras), los minerales identificados fueron: Albita y Cuarzo, la única diferencia es que en la parte baja de la quebrada (M3) también se obtuvo Muscovita.

Ya para los sedimentos tamaño arcilla recolectados en la quebrada Los Micuyes los minerales encontrados son: Cuarzo y Albita. Mientras que en la parte alta (M1) y baja (M3) de la quebrada existen sulfatos.

Lo que resalta en dicho estudio es que los minerales identificados demuestran que los sedimentos no sufren meteorización química debido a que los minerales encontrados son los mismos que se reportan en la roca de la cual provienen.

A continuación la Tabla 7, en dónde la muestra rotulada como M1-pt0017 corresponde a la obtenida en la parte alta de la cuenca, M2- pto018 parte media y M3-pt0019 parte baja, siendo los números 1,2,3,4 y 5, correspondientes a las fracciones obtenidas durante el tamizado en el laboratorio.

Tabla 9: Minerales identificados por fracciones a través de difracción de rayos X

Muestras (Rotulación)	Fracciones (Tamizado en laboratorio)	Minerales
M1pto017-001	Tamiz #25	Cuarzo, Muscovita y Albita
M1pto017-002	Tamiz #60	Cuarzo, Clinocloro, Muscovita y Albita
M1pto017-003	Tamiz #80	Cuarzo y Albita
M1pto017-004	Tamiz #230	Cuarzo y Albita
M1pto017-005	Tamiz <#230	Cuarzo, Albita y sulfato de Litio
M2pto018-01	Tamiz #25	Cuarzo, Muscovita, Clinocloro y Albita
M2pto018-02	Tamiz #60	Cuarzo, Clinocloro, Muscovita y Albita
M2pto018-03	Tamiz #80	Cuarzo y Albita
M2pto018-04	Tamiz #230	Cuarzo y Albita
M2pto018-05	Tamiz < #230	Cuarzo y Albita
M3pto019-1	Tamiz #25	Cuarzo, Muscovita, Albita y Clinocloro
M3pto019-2	Tamiz #60	Cuarzo, Albita, Clinocloro y Muscovita
M3pto019-3	Tamiz #80	Cuarzo, Albita y Muscovita
M3pto019-4	Tamiz #230	Cuarzo y Muscovita
M3pto019-5	Tamiz >#230	Cuarzo, Albita, Muscovita y sulfato de Aluminio

4.3 Análisis químicos de los elementos contaminantes presentes en la quebrada Los Micuyes.

En los apéndices, específicamente en las tablas 12, 13 y 14 se puede observar las desviaciones estándar obtenidas para los elementos estudiados, a partir de las cuales se estimaron los errores asociados a la metodología analítica y que son mostrados a continuación. Así, para el Cr el error asociado al método analítico está en el orden de 2%, para el Cu 18%, Ni 20%, Fe 0.4%, Mn 2%, Fe 0.4% y Al 7%.

Los errores más elevados se presentan en los elementos con menores concentraciones (Cu y Ni) dado que sus concentraciones se acercan al límite de detección de la técnica, sin embargo dado que la discusión de resultados se hace en base a comparaciones y relaciones entre elementos y no en función de valores absolutos estos errores son aceptables.

4.3.1 Cromo

La gráfica 18 muestra la distribución espacial obtenida para el Cromo (Cr). En esta gráfica se puede observar que el elemento se encuentra asociado principalmente a las arenas de grano medio, las mayores concentraciones se encuentran en las muestras de la parte alta de la quebrada (muestra M1), dónde se encuentran valores de 382 ppm, el metal disminuye su concentración en los sedimentos a medida que va descendiendo en la cuenca, esto probablemente es resultado del transporte de los sedimentos aguas abajo, dado que el cromo (Cr) es un elemento que generalmente se asocia a fases como la cromita el cual es un mineral denso que necesita relativa alta energía para ser transportado. Es decir, que disminuye la concentración conforme lo hace la energía del medio de transporte.

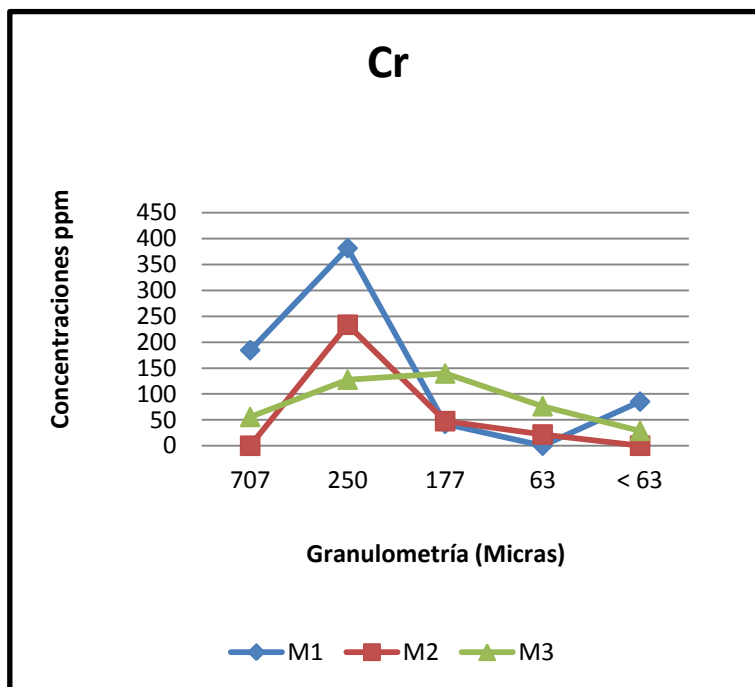


Figura 18: Concentración Cr vs fracciones

La distribución general de Cromo (Cr) respecto a la abundancia (media) en la cuenca de Los Micuyes se presenta de la siguiente forma: $M1 > M3 > M2$. Esto se visualiza en la Tabla 10, en dónde se presentan las medianas para este elemento observándose esa distribución.

El estudio estadístico para el conjunto de muestras por localidad (ver Tabla 10) , indica que el valor más alto se localiza en la parte alta de la cuenca (139 ppm), luego en M2 (parte media de la cuenca) disminuye considerablemente (61 ppm) y en M3 aumenta (86 ppm), esto se observó de manera cualitativa en la gráfica de distribución espacial y puede ser explicado igualmente en función del equivalente hidráulico de la cromita, el cual limita el transporte de este mineral aguas abajo en la fracción tamaño arena, ya que como se verá a continuación esta es la fracción donde se acumula este mineral.

La Figura 19 muestra las concentraciones de Cromo (Cr) obtenidas para todas las fracciones en todos los puntos de muestreo, observándose una curva unimodal,

leptocúrtica y asimétricamente positiva. Las concentraciones más frecuentes estrictamente en función de la Figura están en el intervalo 0-50ppm, y corresponden a sedimentos de tamaño limo- arcilla. Sin embargo dado el bajo número de datos puede interpretarse más bien que se encuentran entre valores 0 y 150 ppm y estos valores corresponden a las arenas gruesas, finas y a limos y arcillas. Los valores más altos y que causan la asimetría de la curva esta asociados a la fracción de arenas medias (500 -250 micras), o arena fina (250- 125 micras), concluyéndose que el Cromo (Cr) se asocia principalmente a esta fracción.

Esta información concuerda con lo antes expuesto y parece indicar que el Cromo (Cr) está asociado a la fase de arenas, bien podría ser como elemento traza sustituyendo a hierro, magnesio o aluminio (Vasallos, 1995), en algunos de los minerales constituyentes de los sedimentos, o bien en cromita en muy baja concentración, aunque esto último parece menos probable ya que la cromita se asocia a rocas máfico - ultramáficas las cuales no se han reportado en esta zona.

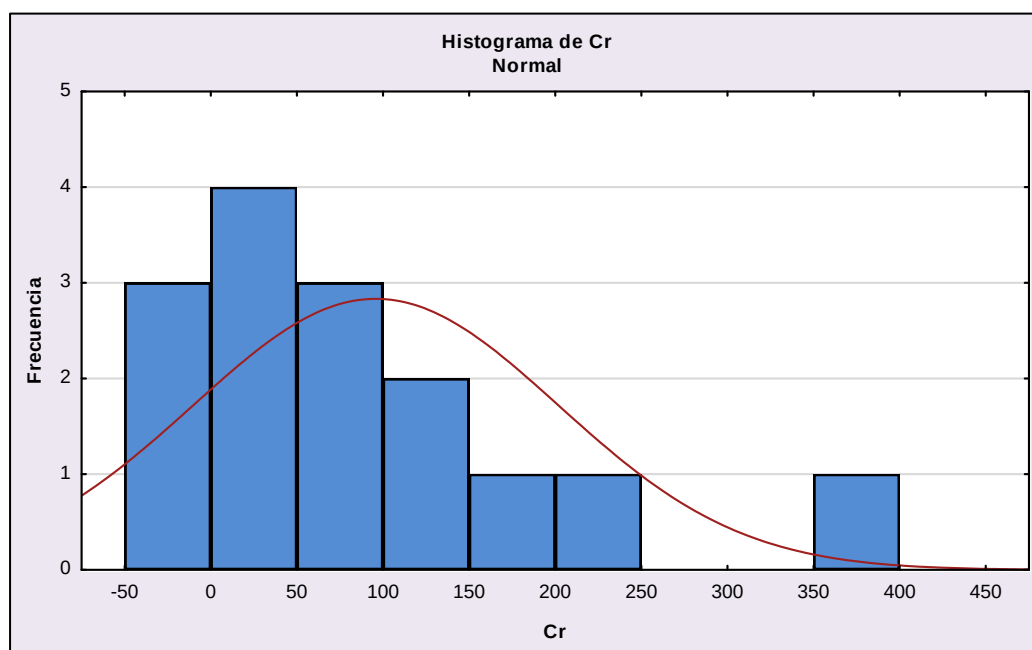


Figura 19: Histograma de frecuencia del Cr

Tabla 10: Datos estadísticos de los elementos químicos por punto de muestreo

Estadístico	Mediana	Media	Curtosis (Pearson)
Cr-M1	85	139	-0,7
Cr-M2	22	61	0,05
Cr-M3	76	86	-1,5
Cu-M1	20	84	0,2
Cu-M2	12	187	0,2
Cu-M3	15	37	-0,09
Mn-M1	875	831	-1,5
Mn-M2	630	830	-1,7
Mn-M3	726	747	-0,5
Fe-M1	43791	45971	-1,5
Fe-M2	36177	42412	-1,5
Fe-M3	29424	34411	-0,6
Ni-M1	0,000	6	-1,3
Ni-M2	7	8	-1,3
Ni-M3	10	11	-0,5
Zn-M1	110	115	-0,4
Zn-M2	65	169	-0,2
Zn-M3	76	94	-1,5
Al-M1	11047	20117	-1,8
Al-M2	10820	17378	-0,9
Al-M3	25444	19564	-1,1

4.3.2 Cobre

La Figura 20 muestra claramente que el cobre se asocia principalmente en la fracción de grano fino, específicamente en los sedimentos menores a 63 micras, en dónde el elemento posee valores entre 109-866 ppm. Las concentraciones de cobre en esta fracción en la parte media de la quebrada son las más elevadas (864 ppm), mientras que desciende en la parte alta (350 ppm) y en la parte baja (109 ppm). La asociación de este elemento a la fracción menor a 63 micras, está unida al hecho de no haber

detectado ninguna fase de cobre por rayos X y parecen indicar que el mismo se encuentra adsorbido en minerales de arcilla.

En cuanto a la distribución espacial es bastante uniforme en todas las fracciones. Con la excepción de la fracción arcillosa en donde se observa que su concentración es significativamente mayor en la parte media de la cuenca con respecto a la parte alta, (M2 a M1) y a su vez es mucho menor en la cuenca baja (M3). Una posible explicación a este hecho podría ser que la concentración aumenta producto a que en esta zona existen varios tributarios que podrían estar aportando este elemento a la quebrada los Micuyes. De nuevo, basándonos en las premisas de que en la zona existe poca meteorización química, y en que los análisis de rayos X no se encuentra ninguna fase mineral que pueda estar albergando al cobre como traza, nos inclinamos a pensar que este elemento se encuentra adsorbido en las arcillas y que su origen es entrópico producto probablemente del uso de fertilizantes y pesticidas.

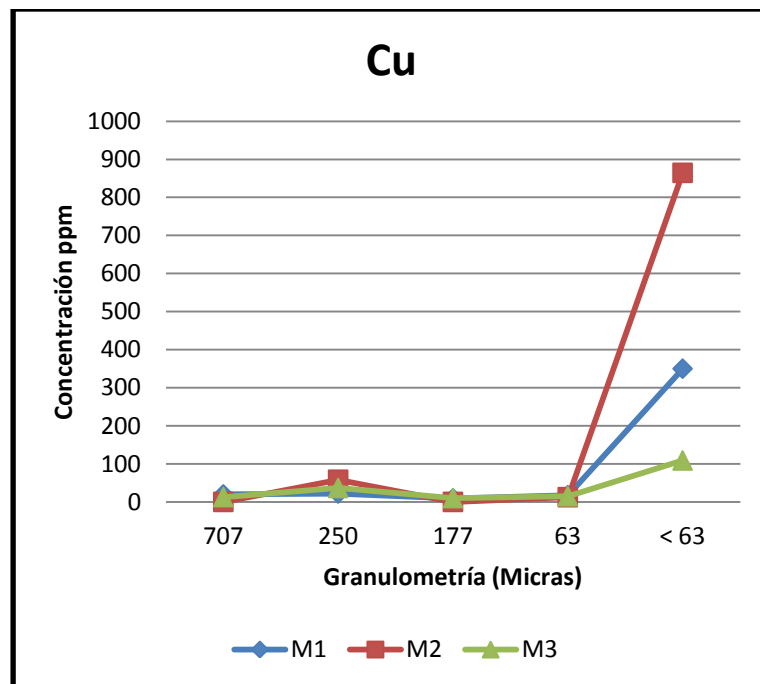


Figura 20: Concentración Cu vs fracciones

Mediante los valores de las medias aritméticas obtenidas por el estudio estadístico (tabla 10) de las concentraciones de dicho metal, se interpreta igualmente la abundancia y distribución del elemento. En la Tabla 10 se observa que el mayor valor promedio en los sedimentos, se consigue en la parte media de la quebrada (187 ppm), seguida por la parte alta (84 ppm) y finalmente los menores valores en la parte baja de la quebrada (37 ppm).

El histograma (Figura 21) se puede verificar que los valores más frecuentes, se encuentran en el intervalo de 0 – 50 ppm, el cual se encuentra asociado a arenas y representa la media para este elemento, mientras que las arcillas muestran mayores concentraciones, siendo M2 (parte media de la cuenca) un dato anómalo en la cuenca (mayor a 800ppm).

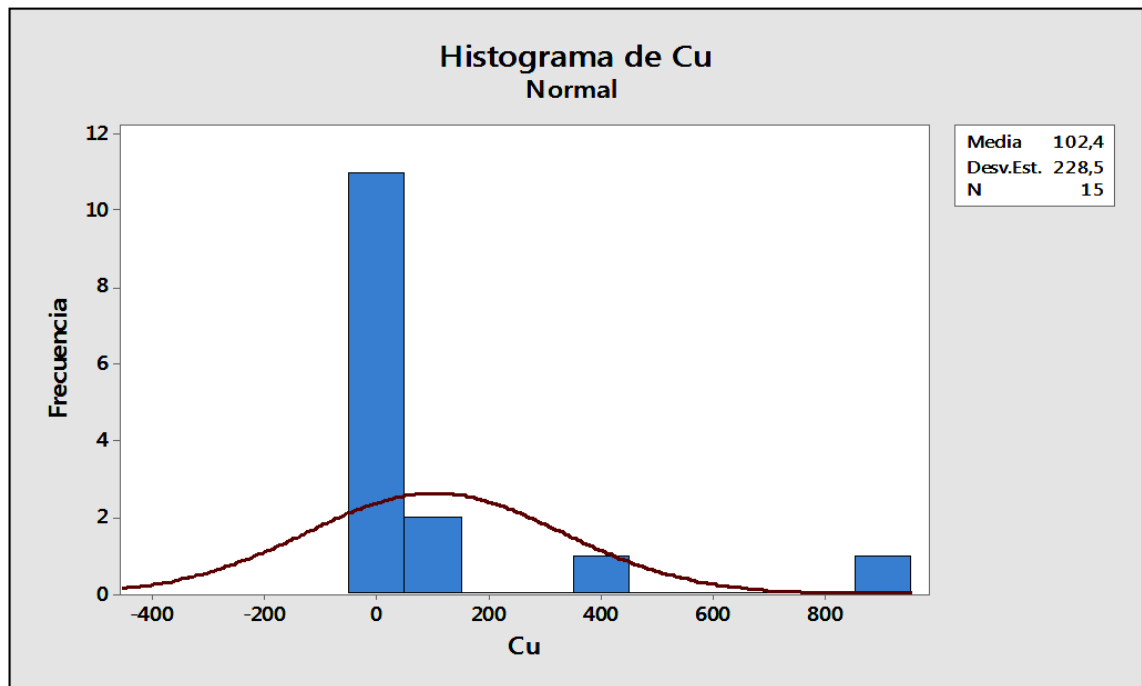


Figura 21: Histograma de frecuencia del Cu

4.3.3 Hierro

El Hierro posee las mayores concentraciones en las partes alta y media de la cuenca tal y como se observa en la Figura 22. Las concentraciones más bajas se encuentran en la parte baja de la cuenca dónde el hierro (Fe) se presenta con valor de 59686 ppm y en las arcillas con concentraciones de 22299 ppm, siendo su comportamiento muy variable espacialmente.

En relación a la distribución de este elemento en función de la granulometría se observa que el mismo está asociado a la fracción 250 micras y a la fracción menor a 63 micras, con valores de 82864-67232 ppm, seguido por la concentración del elemento en arenas (77209 ppm) y en arcillas (43790 ppm). Estos valores muestran que el hierro (Fe) está siendo movilizado en dos fracciones, una fase mineral que se encuentra en la fracción tamaño arena (250 micras) que pueden ser biotita y/o clorita según la petrografía realizada a los cantos rodados colectados en la zona (muestra GrD-M1) y según los espectros de rayos X para los sedimentos. Específicamente en la muestra M1, se observó la presencia de otra fase contentiva de hierro (Fe) como es la clorita. Por otro lado en la fracción menor a 63 micras no se observó ninguna fase mineral con hierro (Fe) en los espectros de rayos X por lo que puede deducirse que el Hierro debe encontrarse adsorbido en esta fracción.

En cuanto a la distribución espacial, según los puntos de muestreos se tiene que existen elevadas concentraciones en la parte alta de la cuenca asociadas a la fracción de arena (250 micras), los valores para este elemento disminuyen hacia la parte media para luego aumentar nuevamente en la cuenca, este comportamiento podría estar determinado, tal y como se discutió para el Cobre (Cu) , por aportes de Hierro (Fe) en solución provenientes de los afluentes en la parte media de la cuenca, el cual es sorbido sobre los minerales de arcilla presentes en el sedimento.

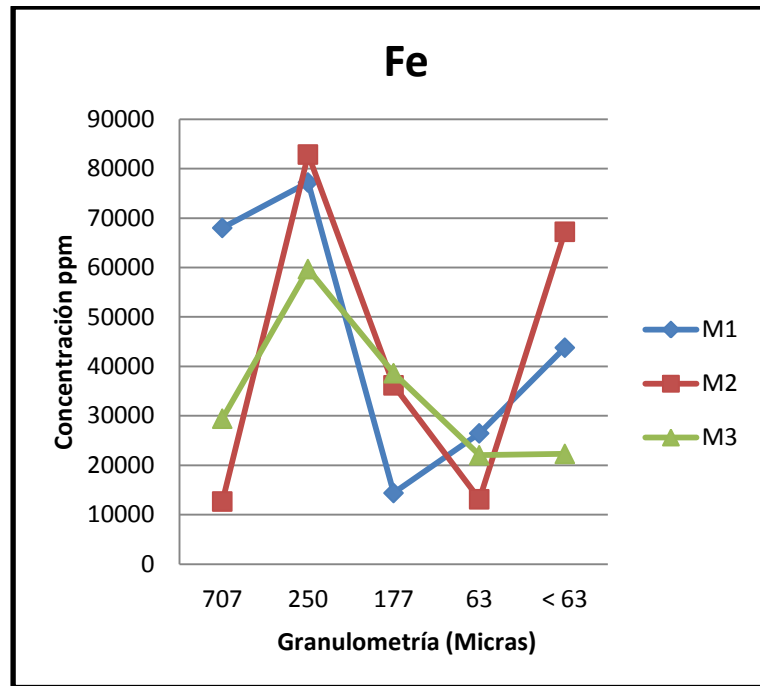


Figura 22: Concentración Fe vs fracciones

En cuanto a los datos analizados mediante estadística se tiene que el hierro (Fe) presenta una distribución normal. Además se muestra que los valores poseen dispersión apreciable alrededor de la media (ver tabla 10), no existiendo valores que puedan considerarse anómalos dentro de esta población.

En la Figura 23, se presenta el histograma para este elemento, donde se observa una curva unimodal, simétrica, platicúrtica, sin embargo a partir del análisis visual del gráfico se pueden separar dos (2) poblaciones de datos, una población con valores entre 12000 y 45000 ppm que agrupa los valores correspondientes a arenas gruesas, arenas finas y muy finas y otra población con valores entre 55000 y 80000 ppm en la que quedan representados los valores más frecuentes en las arenas medias y arcillas.

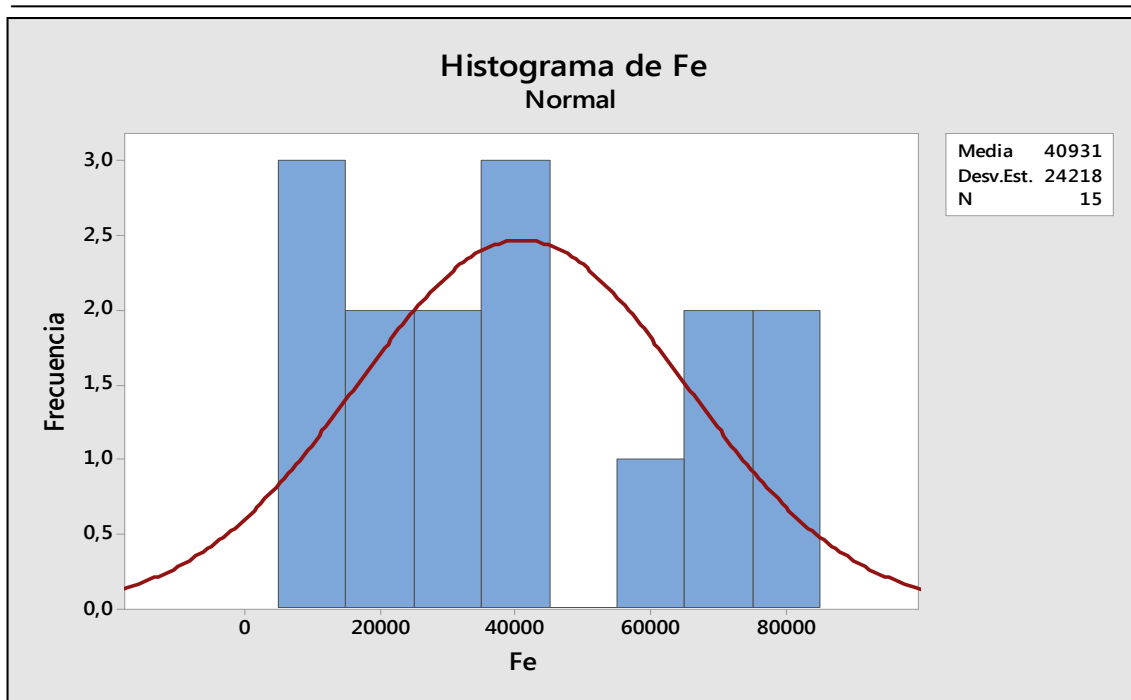


Figura 23: Histograma de frecuencia del Fe

4.3.4 Aluminio

El aluminio (Al) se presenta mayormente en los sedimentos de 250 micras y su concentración disminuye gradualmente en las fracciones de menor tamaño de grano. Este comportamiento para un elemento reconocido por inmovilidad en ambiente superficial parece estar indicando un bajo grado de meteorización química, y un predominio de la meteorización física, ya que de lo contrario la concentración de este elemento debería aumentar hacia las fracciones de menor tamaño de grano donde predominan las fases minerales neo-formadas como arcillas y oxihidroxidos (Figura 24).

En cuanto a la distribución espacial los valores más altos se encuentran en la parte alta (39082 ppm) y media de la quebrada (41143 ppm) para los tamaños arena y mientras que para los limos y arcillas los valores más altos se encuentran en la parte baja de la cuenca. Sin embargo estas diferencias no superan el 2 % y podría

considerarse que en general la distribución de Aluminio (Al) en el trayecto estudiado es uniforme dentro de cada fracción.

En todos los casos la tendencia observada es a disminuir en función del tamaño de grano, lo que permite inferir que el proceso que está actuando en la distribución del aluminio (Al) es básicamente la meteorización física, ya que hay baja concentración del elemento en las fracciones de menor tamaño de grano, lo que implica baja concentración de fases neo-formadas como las arcillas. Esta idea encuentra apoyo en los resultados obtenidos por rayos X, en los cuales se observó la presencia de Albita y Muscovita en la fracción de finos (< 63 micras), sin embargo no se identificó ningún mineral de arcilla.

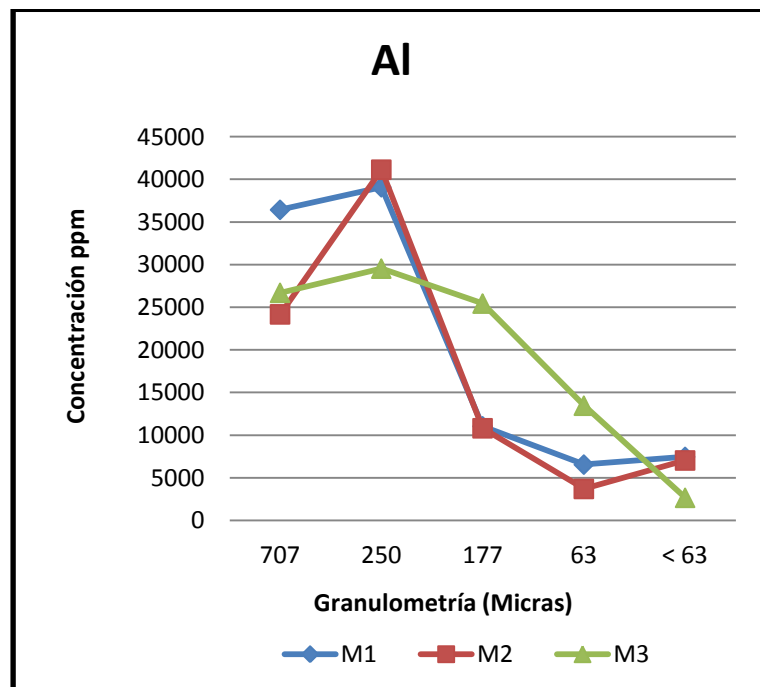


Figura 24: Concentración Al vs fracciones

El histograma (Figura 25) por su parte presenta dos poblaciones, dónde destaca las concentraciones que van de 5000 a 10000 ppm valor que corresponde a el elemento contenido en sedimentos con tamaño < 177 micras (arenas finas y limo arcilla), las

mayores concentraciones. Mientras que la segunda población del elemento se da en concentraciones de 20000 a 40000 ppm pertenecientes a sedimentos tamaño arena.

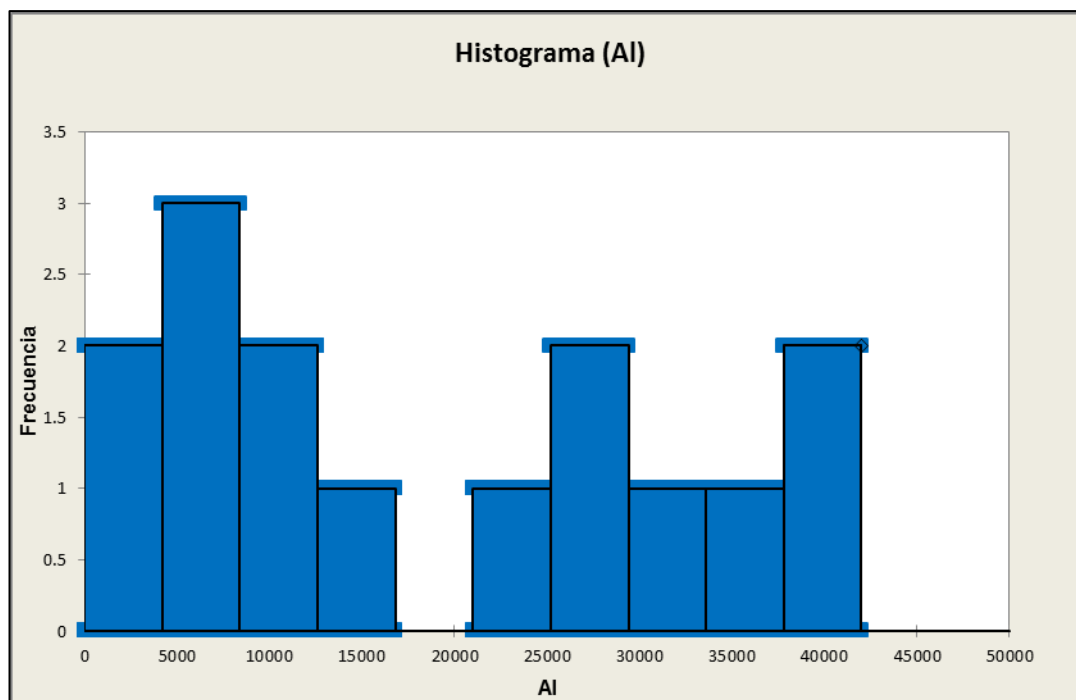


Figura 25: Histograma de frecuencia del Al

4.3.5 Manganeseo

El manganeso (Mn) presentó un comportamiento similar al hierro (Fe), se asocia a fracciones tamaño arena de grano medio y arcillas. El valor más elevado se presenta en los sedimentos de la parte media de la quebrada (1557 ppm), seguido por los sedimentos de la parte baja (M3: 12667ppm) y por último la parte alta de la quebrada (M1:1227 ppm) (Ver Figura 26).

Al igual que para los casos de cobre (Cu) y zinc (Zn) pareciera existir un aporte de manganeso a partir de los tributarios que drenan la parte media de la cuenca de la quebrada, dado el aumento en la concentración de este elemento en este punto, sin embargo a diferencia de estos también existen valores altos en las partes alta y baja de la cuenca.

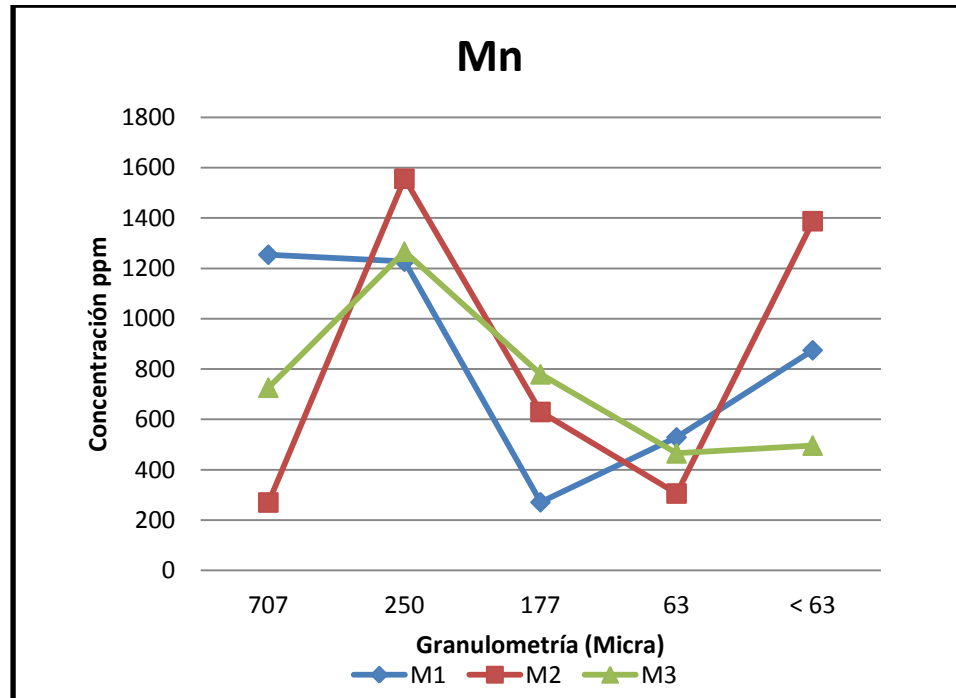


Figura 26: Concentración Mn vs fracciones

Como se muestra en el histograma para este elemento (Figura 27) se observan tres rangos de concentraciones frecuentes: 300-500ppm, y 700-850ppm asociadas a las arenas de grano medio y de 1100-1250 ppm asociadas a la fracción tamaño arcilla, pero en general la forma de la curva es unimodal donde el valor de la media su vez representa la distribución y abundancia general del elemento en la quebrada.

El orden de abundancia de manganeso (Mn) en la quebrada Los Micuyes en los puntos de muestreo decrece en el orden $M1 > M2 > M3$. En general este elemento podría encontrarse formando parte de las fases contentivas de hierro.

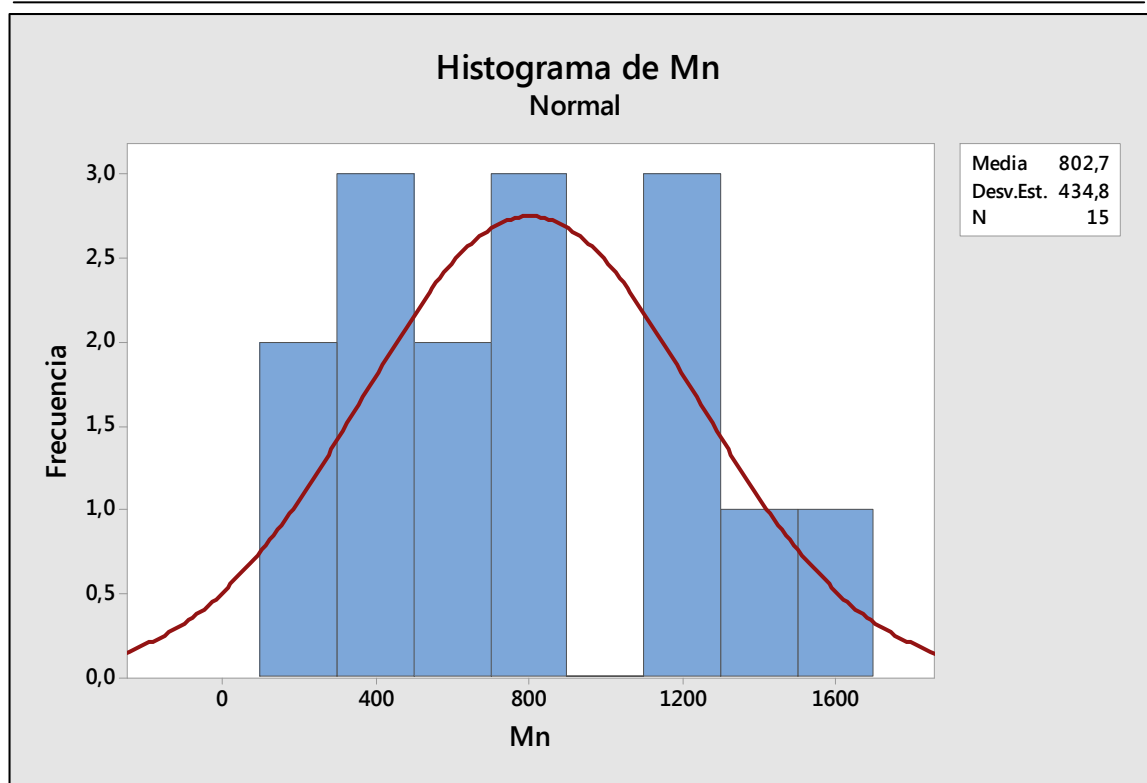


Figura 27: Histograma de frecuencia del Mn

4.3.6 Níquel

En la Figura 28 se puede visualizar que el níquel posee mayor concentración en la fracción de arena medias (250 micras) (22-25ppm) y en cantidades considerables en arcillas, similar al comportamiento de otros elementos estudiados aquí (manganeso e hierro).

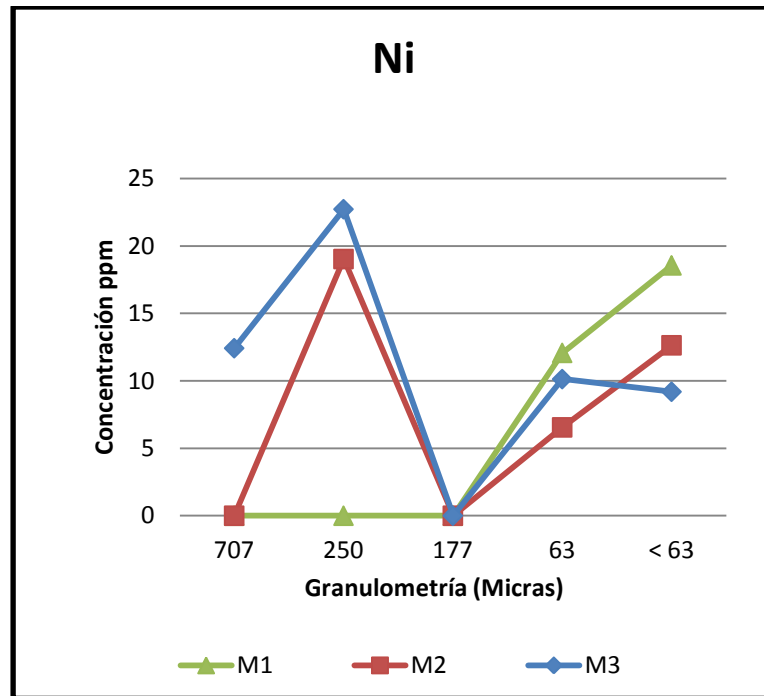


Figura 28: Concentración Ni vs fracciones

En el correspondiente histograma (Figura 29) se visualizan dos grupos de muestras, las primeras pertenecen a concentraciones de 7-23ppm y otro grupo de muestras con valores por debajo del límite de detección.

Vale destacar que todas las muestras con valores por debajo del límite de detección están asociadas a los tamaños de grano correspondientes a arenas. El níquel en estos sedimentos podría provenir de las rocas graníticas ya que es conocida la ocurrencia de níquel en las etapas post magmaticas de magmas graníticos (Vasallos, 1995)

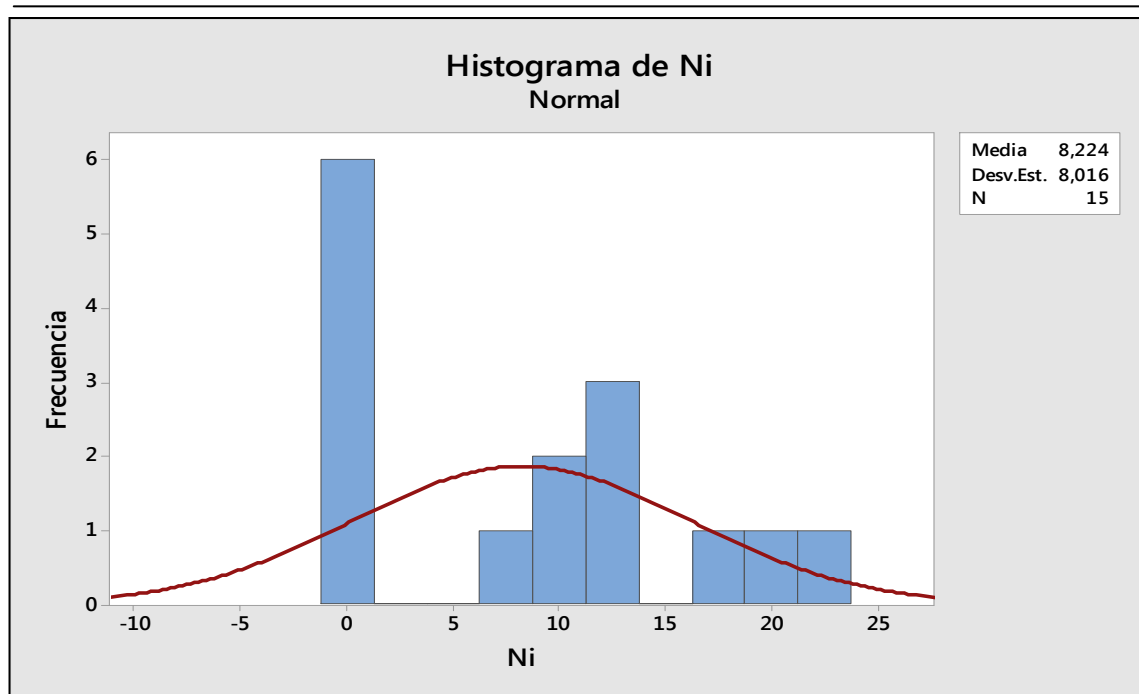


Figura 29: Histograma de frecuencia del Ni

4.3.7 Zinc

Este elemento se asocia fundamentalmente en las fracciones de arcillas (Figura 30), sus valores son más elevados en la parte media de la cuenca aproximadamente 517 ppm disminuyendo hacia la parte alta 277 ppm y en menor proporción en la parte media de la quebrada 123 ppm. Por otro lado hay valores moderados en sedimentos de arenas de grano medio en la parte alta de la cuenca (109 ppm), parte media (189 ppm) y en la parte baja (147 ppm).

En todos los casos los sedimentos mostraron mayor concentración en las muestras de la parte media de la quebrada, esto se ha observado para otros elementos discutidos anteriormente y probablemente sea producto de que esta parte de la cuenca posee tributarios que fluyen hacia dicho punto y que podrían aportar mayores cantidades de este elemento asociado al tamaño arcilla. Posiblemente en este sector exista actividad piscícola o agrícola intensiva ya que este elemento se encuentra relacionado a estas actividades antrópicas.

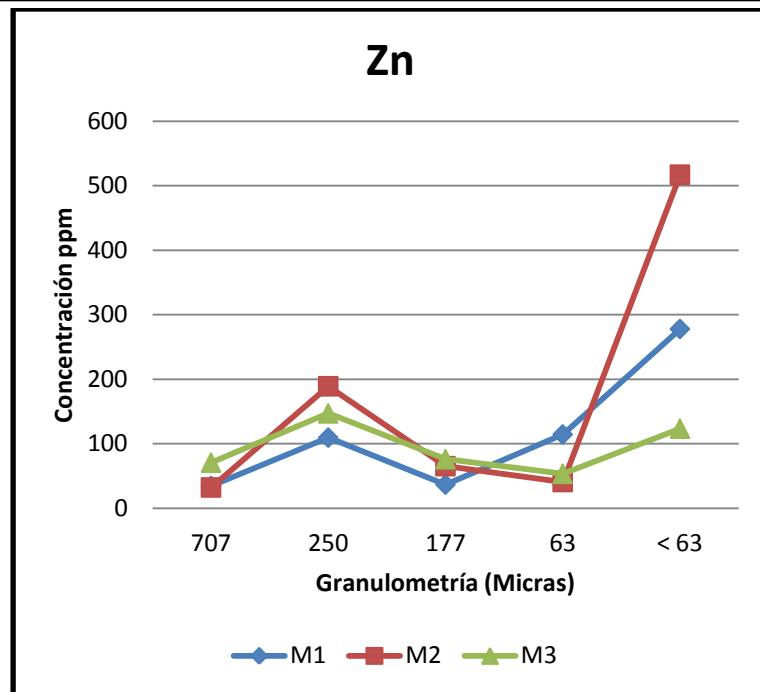


Figura 30: Concentración Zn vs fracciones

El histograma que se presenta en la Figura 31, muestra una distribución normal con valores anómalos de 500 ppm. En cuanto a las propiedades del grafico se tiene una curva unimodal, con asimetría positiva y platicúrtica.

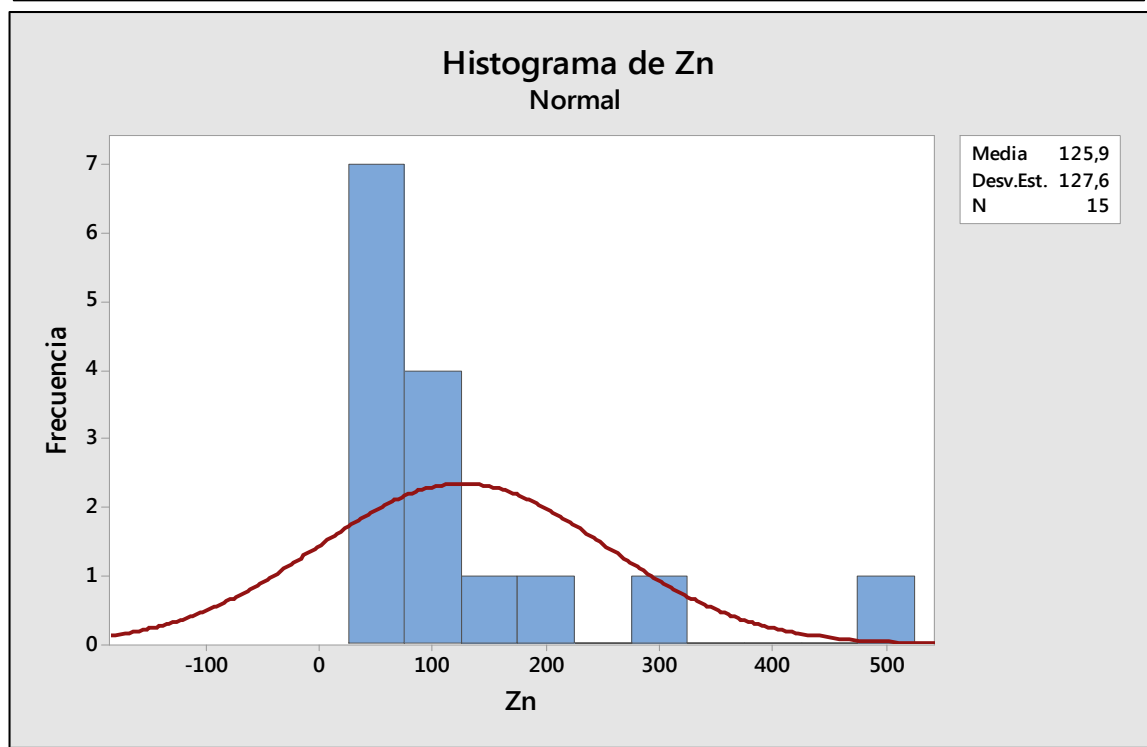


Figura 31: Histograma de frecuencia del Zn

La dispersión del elemento (desviación estándar) posee un valor elevado (128 ppm), debido a los valores anómalos de 300-600 ppm correspondiente a la fracción < 63 micras de las muestras M2 y M1, por lo que se cree que las fuentes de zinc (Zn) son diferentes en la cuenca, es por ello que existe la variabilidad tan extensa entre las concentraciones.

4.4 Relación entre los antecedentes y las concentraciones de los metales pesados obtenidos en el estudio

Como se observa en la tabla 11, los valores de concentración obtenidos dentro de dicho estudio se encuentran dentro de los valores promedios reportado por diferentes autores. El dato de cobre (Cu) es similar a la reportada por Bianichini en el 2002, mientras que el cromo (Cr) y el níquel (Ni) se encuentra en el rango reportado por

Martínez y por último el zinc (Zn) posee concentraciones parecidas a las dadas por Urrutia 2002, Brioso 2004 y Martínez 2002.

Tabla 11: Comparación de concentraciones de los diferentes antecedentes y las obtenidas en el proyecto

Concentraciones por elementos				
Autores	Cu	Cr	Ni	Zn
Acosta, <i>et al.</i> , (2002)	>18	>5	>11	0
Bianichini, <i>et al.</i> , (2002)	>100	>180	0	0
Martinez (2002)	0,6-67	2,5-97	2,0-50	2-222
Urrutia, <i>et al.</i> , (2002)	30-55	0	0	700
Brioso (2004)	784	0	0	866
González (2017)	109-864	29-85	09,0-19	123-517

4.5 Factor de Enriquecimiento de los elementos contaminantes presente en la quebrada Los Micuyes.

En las tablas 15, 16 y 17 de los apéndices se muestran los factores de enriquecimientos obtenidos en las muestras colectadas para el conjunto de elementos. En este estudio aunque se presentan los factores de enriquecimiento para todas las fracciones, sólo se discuten los índices de enriquecimiento en función de la fracción menor a 63 micras. Esto obedece a que esta es la fracción estudiada en la mayoría de las publicaciones revisadas, además de que es la fracción que presentó mayores concentraciones para los elementos reportados, y más importante aún, por ser esta la fracción más activa en los sedimentos. Así que es donde pudieran apreciarse mayormente los efectos de algún tipo de introducción de carácter antrópico al sistema estudiado.

Para evaluar el grado de enriquecimiento del elemento y su proveniencia se compararon el FE del elemento con la tabla propuesta por Loska *et al.* (1997). Se utilizó el aluminio (Al) como elemento normalizador.

4.5.1 Cromo:

En la Figura 32 se observa que el cromo (Cr) posee un factor de enriquecimiento mayor en la fracción tamaño arcilla, que en el resto de los sedimentos. El factor de enriquecimiento para este elemento en la fracción menor a 63 micras decrece espacialmente desde la parte alta de la cuenca, seguido por la parte baja y la menor concentración se encuentra en la parte media.

Los valores de FE = 27 para M1 y FE=22 para M3 indica que los sedimentos se encuentran en el rango de moderadamente enriquecidos, e indica otra fuente del elemento adicional a la roca parental.

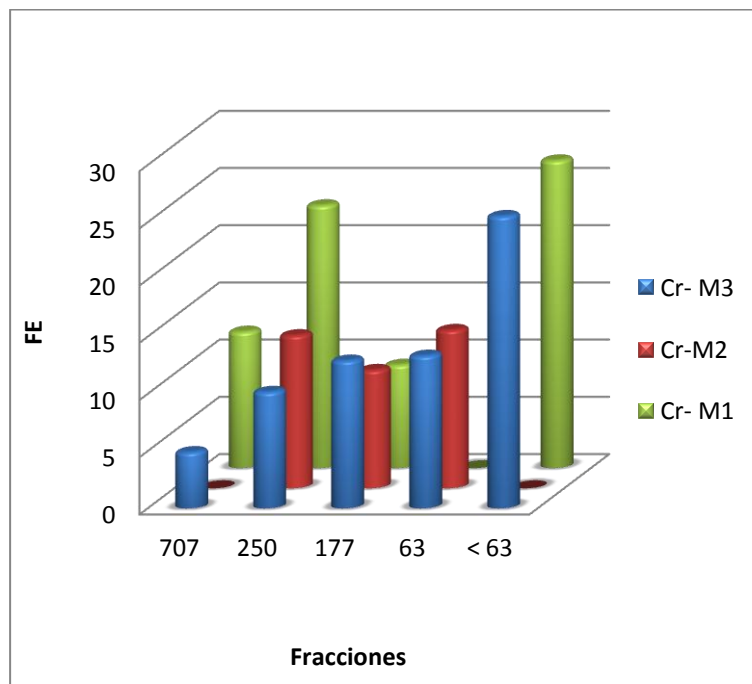


Figura 32: Factor de enriquecimiento de Cr en la quebrada Los Micuyes

4.5.2 Cobre:

En cuanto al cobre (Cu) el diagrama de barras de la Figura 33 muestra como el factor de enriquecimiento es elevado en las arcillas. Con respecto a la variación espacial, específicamente es mayor en los sedimentos que se encuentran en la parte media de la

cuenca (FE=700), disminuye considerablemente en la parte alta de la cuenca (FE=276) y por último en los sedimentos que se localizan en la parte baja de la quebrada el FE es menor (FE=240). La diferencia entre los sedimentos de la quebrada podría interpretarse como la posibilidad de tener más de una fuente de este elemento. Así, en la parte media de la cuenca los sedimentos tamaño arcilla muestran que existe un alto factor de enriquecimiento que podría indicar contaminación de origen antropogénico, mientras que en las partes alta y baja de la cuenca el FE es significativamente menor pero aun alto en comparación al resto de las fracciones indicando igualmente posibilidad de aporte antrópico. Por otro lado, vale la pena tener en cuenta que la fracción tamaño arcilla representa un porcentaje bajo en todas las muestras analizadas (< 6 %) por lo que, aun cuando el FE determinado en las arcillas es alto, no podemos concluir que existe una alta contaminación en los sedimentos. Sin embargo es un valor que establece un alerta para la zona, siendo recomendable el monitoreo de este elemento en las aguas de la quebrada.

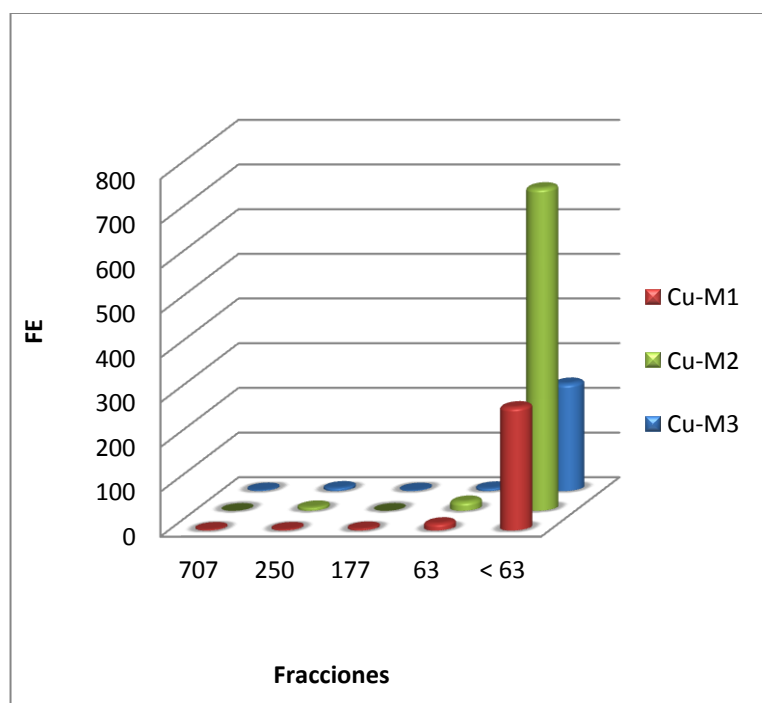


Figura 33: Factor de enriquecimiento de Cu en la quebrada Los Micuyes.

4.5.3 Hierro:

En los sedimentos tamaño arcillas el factor de enriquecimiento para el hierro (Fe) es igualmente elevado para la fracción < 63 micras respecto al resto de las fracciones, en cuanto la evaluación individual del elemento en cada sección de la cuenca se puede notar que en las arcillas de la parte media de la quebrada muestran un valor elevado (FE=25), van disminuyendo progresivamente en la parte baja (FE=22) y en la parte alta de la misma (FE=15). Sin embargo, los valores de FE de todas las muestras indican que se trata otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre (Figura 34). Pudiéndose hablar de ligera contaminación por hierro (Fe) en la cuenca (valores ligeramente superiores a 10), sin embargo al igual que en el caso de cobre los valores de FE para el resto de las fracciones son bajos pudiéndose llegar a iguales conclusiones.

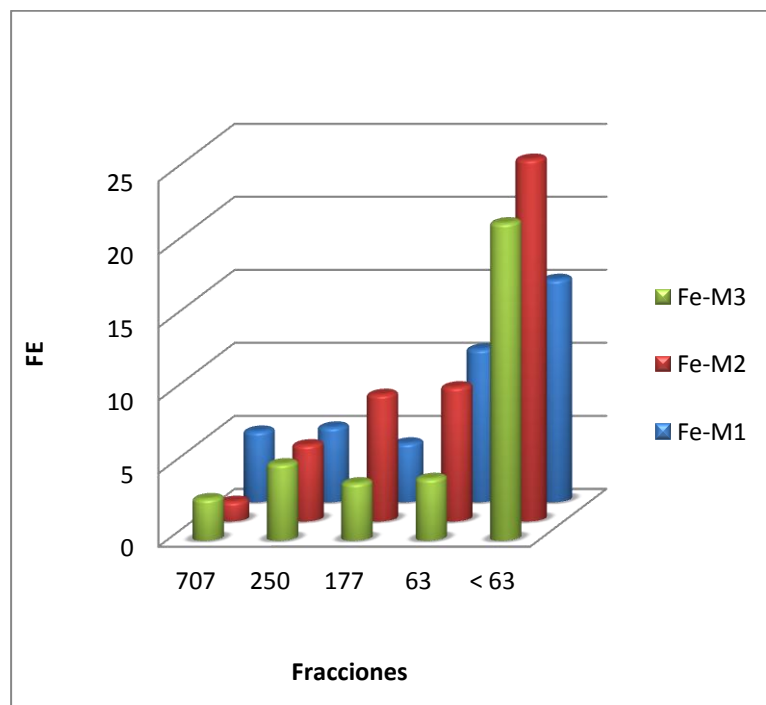


Figura 34: Factor de enriquecimiento de Fe en la quebrada Los Micuyes

4.5.4 Manganeso:

El manganeso (Mn) por su parte al igual que los elementos aquí discutidos presenta un alto enriquecimiento en las acillas, específicamente el valor más elevado se encuentran en la parte media (FE=32) y baja de la quebrada (FE=31), el nivel más bajo se da en la parte alta de la cuenca (FE=19), se puede asumir gracias a dichos cálculos es que la fuente del elemento procede tanto de la roca madre como de otro factor externo, pero no en un nivel contaminante (Figura 35).

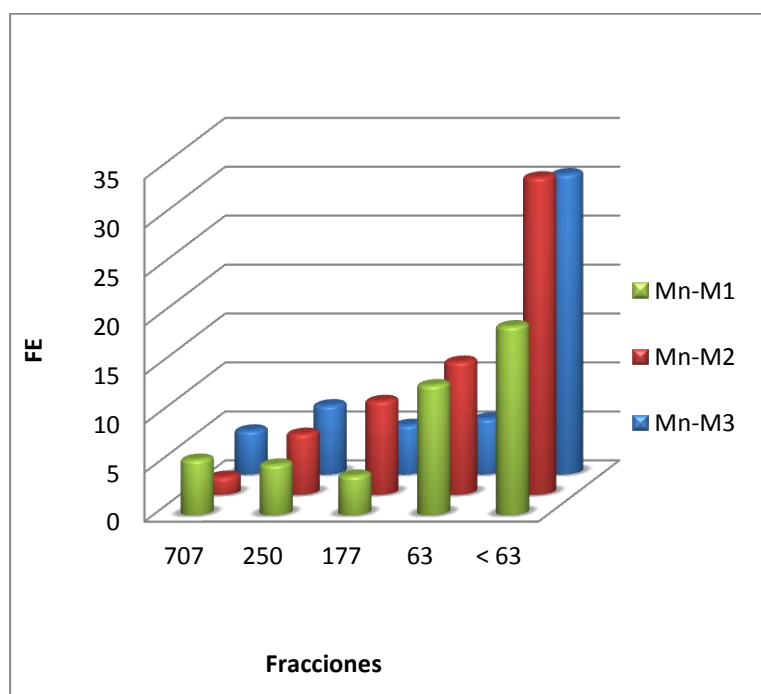


Figura 35: Factor de enriquecimiento de Mn en la quebrada Los Micuyes

4.5.5 Níquel y Zinc:

El níquel (Ni) y el zinc (Zn) poseen un comportamiento similar al resto de los elementos, exhibe un enriquecimiento en las arcillas mayor que en las fracciones granulométricas de los sedimentos. Sin embargo, es más dominante en la parte baja de la cuenca (Níquel (Ni) FE=21, Zinc (Zc) FE=307), seguido por la parte alta de la cuenca (Níquel (Ni) FE=11, Zinc (Zc) FE=59) y con menor Factor de

enriquecimiento se encuentran los sedimentos de la parte media de la cuenca (Níquel (Ni) FE=6, Zinc (Zc) FE=28).

Los factores de enriquecimiento obtenidos para níquel (Ni) están por debajo del límite superior para la categoría no contaminados, lo cual indica que el aporte de este elemento es netamente litogénico, no así los factores de enriquecimiento obtenidos para Zinc (Zn) los cuales indican contaminación de moderada a alta para este elemento (Ver Figura 36).

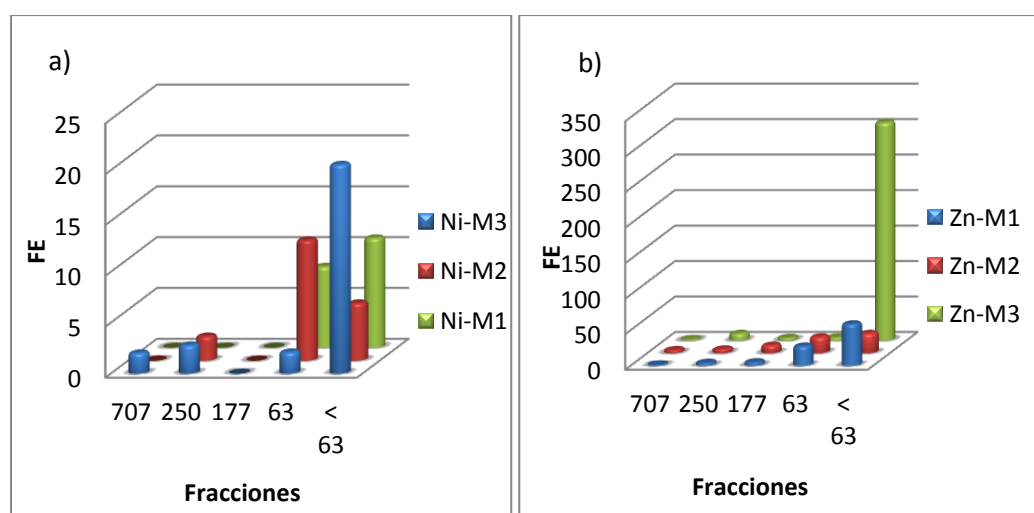


Figura 36: Factores de enriquecimientos a) Ni y b) Zn en la quebrada Los Micuyes

En resumen el orden de enriquecimiento en las arcillas de la quebrada Los Micuyes viene decreciendo de la siguiente forma:

Parte alta de la cuenca: Cu> Zn> Cr> Mn> Fe> Ni.

Parte media de la cuenca: Cu> Mn> Zn> Fe >Ni.

Parte baja de la cuenca: Cu> Zn> Mn> Fe> Ni

.

Pudiendo concluirse en base a este factor que en la quebrada existen indicios de contaminación para los elementos cobre (Cu) zinc (Zc) Cromo (Cr), manganeso (Mn) y hierro (Fe). Para níquel (Ni) no existen señales de contaminación.

4.6 Índice de Geo-acumulación

El comportamiento de los elementos con base a su índice de geo acumulación (Igeo) se definieron según la clasificación reportada por Loska *et al.*, (1997). Los valores se pueden observar en las tablas 18,19 y 20.

4.6.1 Cobre:

Como se muestra en la Figura 37 el cobre (Cu) presenta un índice de geo-acumulación en las arcillas bastante alto, siendo más elevado en la parte media de la quebrada ($I_{geo} > 5$), según Loska *et al.*, (1997) se clasifica en una zona extremadamente contaminada por el elemento. No obstante en la parte alta y baja de la cuenca aunque se tiene un índice menor de geo-acumulación ($I_{geo} 2-4$) continúa siendo un área con una fuerte contaminación de cobre (Cu). Sin embargo vale recordar nuevamente que el porcentaje de arcillas es bastante bajo en los sedimentos estudiados, por lo que podría estarse sobreestimando el grado de contaminación.

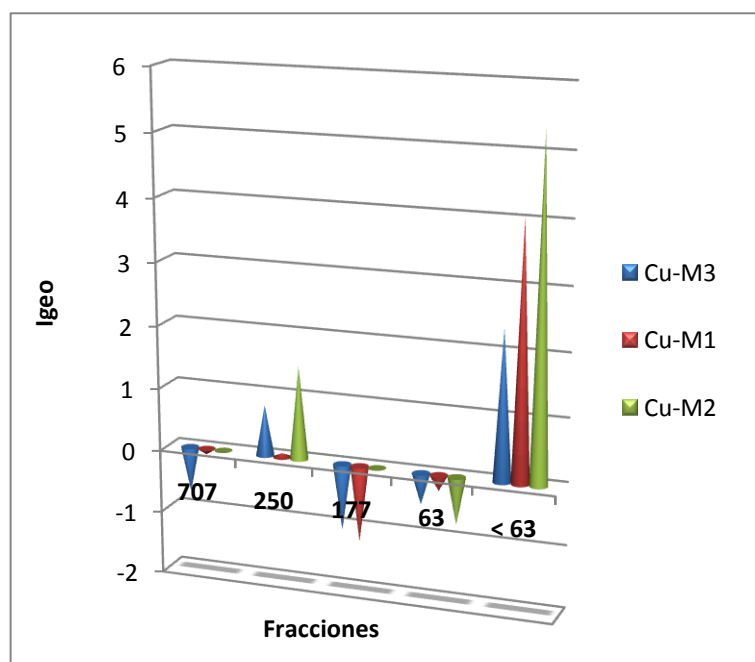


Figura 37: índice de geo-acumulación de Cu en la quebrada Los Micuyes

4.6.2 Zinc:

En el caso del zinc (Zn) se puede observar en la Figura 38 que el índice de geo-acumulación igualmente es alto en la fracción tamaño arcilla. El valor más alto se presenta en la parte baja de la quebrada con valor $I_{geo} > 2,5$, lo que representa una moderada a fuerte contaminación para ese punto. En el caso de la parte alta de la cuenca su $I_{geo} = 2$, por lo que existe una moderada contaminación y en la parte media la concentración del elemento no indica contaminación en los sedimentos por este elemento debido a que su índice de geo-acumulación es menor a 1.

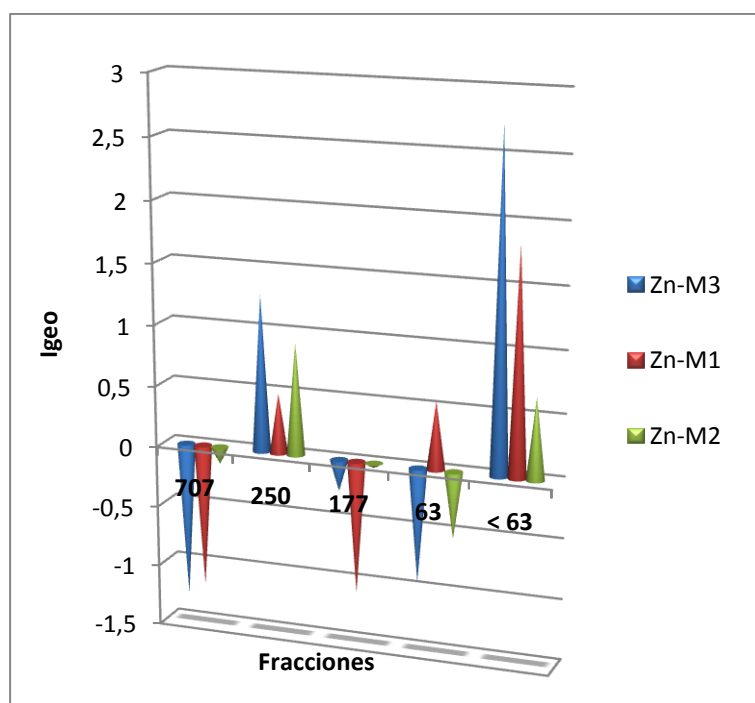


Figura 38: índice de geo-acumulación de Zn en la quebrada Los Micuyes

4.6.3 Hierro y Manganeso:

Por otra parte las concentraciones de manganeso (Mn) y el hierro (Fe) no representan un riesgo para la cuenca, debido a que su índice de geo-acumulación es bajo ($0 < I_{geo} < 2$), lo que indica que los sedimentos de la quebrada se clasifican de no contaminados a moderadamente contaminados por dichos elementos. (Figura 39).

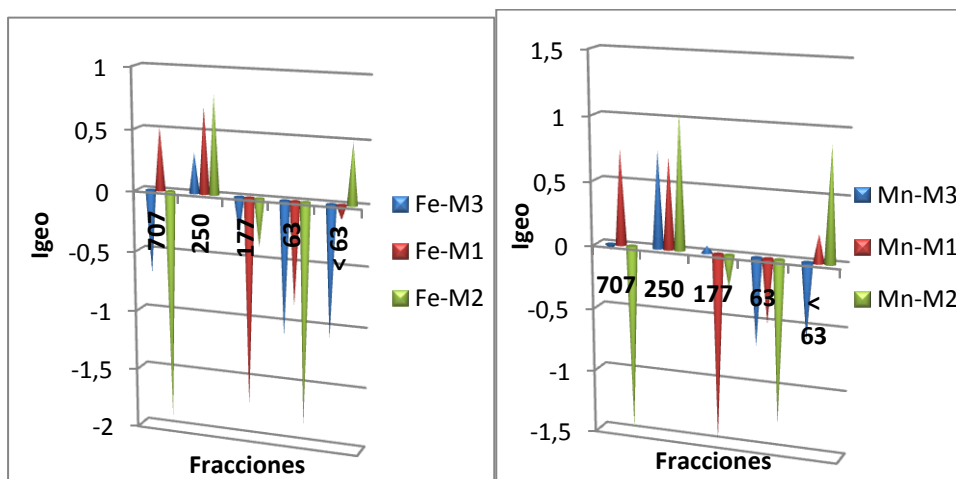


Figura 39: índices de geo-acumulación de a) Fe y b) Mn en la quebrada Los Micuyes

4.6.4 Aluminio y Níquel:

El aluminio (Al) y el níquel (Ni) por su parte poseen valores negativos de índices de geo-acumulación, lo que representa que no hay contaminación en la quebrada por esos elementos (Ver Figura 40).

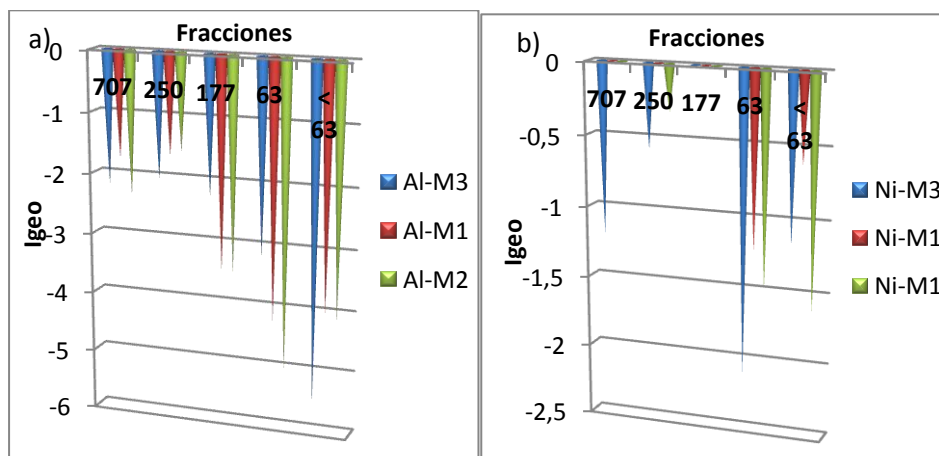


Figura 40: índices de geo-acumulación de a) Al y b) Ni en la quebrada Los Micuyes.

4.6.5 Cromo:

Para el cromo (Cr) los valores de índices de geo-acumulación muestran que no existe

contaminación por este elemento. En los sedimentos tamaño arcilla (Figura 41), se observa que las muestras de la parte alta de la quebrada presentan $I_{geo}=0,6$ indicando que son sedimentos que van de no contaminados a moderadamente contaminados, en la parte media y baja el índice de geo-acumulación presenta valores de: $I_{geo}<1$ indicando que los sedimentos no se encuentran contaminados en esos puntos (M1 y M2).

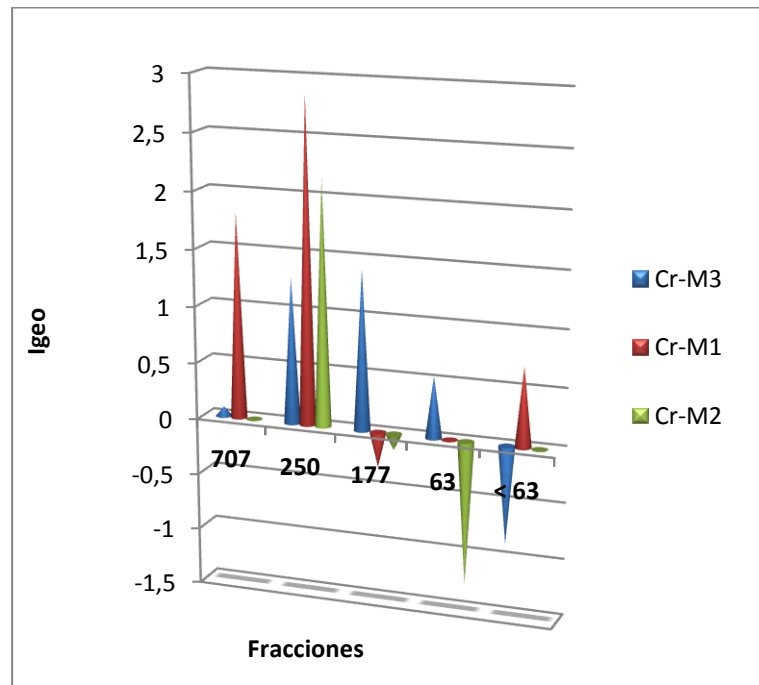


Figura 41: índice de geo-acumulación de Cr en la quebrada Los Micuyes

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La fracción predominante en los sedimentos de la quebrada los Micuyes es la de arenas de grano grueso (707 micras).

El porcentaje de material tamaño arcilla en las muestras colectadas es bajo (< 5%). Esto unido a la ausencia de minerales de arcilla en esta fracción indica un bajo grado de meteorización química en la zona.

La baja concentración de minerales de arcilla representa un factor de riesgo en la contaminación de las aguas ya que son las arcillas las que pueden actuar como autopurificadoras del sistema hídrico, dada su capacidad de adsorción de metales.

El estudio petrográfico de los cantos rodados recolectados y su comparación con los resultados de Tazzo (2014), permite establecer la presencia de tres grupos litológicos en la zona de estudio; a) La Granodiorita El Carmen, b) la formación El Águila y c) el Complejo Iglesias.

Por otra parte, el análisis petrográfico de cantos rodados muestra que las rocas poseen metamorfismo hidrotermal (metamorfismo de bajo grado T=100-200°C), Las evidencias son las siguientes: cuarzo con extinción ondulatoria, alteraciones de plagioclasas a sericitas y la biotita a clorita.

En la mineralogía de los sedimentos de la quebrada Los Micuyes domina la presencia de cuarzo, albita y moscovita. Sin embargo, en la parte media de la quebrada y en la parte baja de la misma se determinó la presencia de sulfato de aluminio y sulfato de litio ambos en la fracción menor a 63 micras.

Los elementos cromo (Cr), y aluminio (Al) se encuentran asociados a la fracción de arenas, en la cual se encuentran sus mayores concentraciones, y según los parámetros de FE y IG no representan riesgo para la cuenca.

Los elementos níquel (Ni), hierro (Fe) y manganeso (Mn) se asocian tanto a la fracción arena como en la fracción tamaño arcilla. El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) representan un riesgo bajo para la cuenca en función de sus índices de geoacumulación mientras que níquel no representa ningún riesgo

El cobre (Cu) y el zinc (Zn) se encuentran asociados a la fracción tamaño arcilla y en función de sus índices de geoacumulación en esta fracción los sedimentos van de moderados a fuertemente contaminados, sin embargo hay que considerar que este resultado puede estar sobre estimado si se toma en cuenta el bajo porcentaje que representa la fracción de arcillas en la muestra total, por lo que la conclusión de este resultado viene dada en función de establecer un alerta y considerar el estudio geoquímico de las aguas de la quebrada.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio geológico de mayor escala y extensión para establecer la geología de la zona en un mapa.

Realizar un muestreo más intenso en la quebrada a fin de determinar las fuentes de Zinc y cobre que están afectando a los sedimentos y muy probablemente a las aguas de la región.

Generar un estudio hidrogeológico con miras a establecer las concentraciones de los metales aquí estudiados en las aguas de la quebrada, para determinar si existe contaminación en las mismas, y relacionar con los datos obtenidos en este trabajo.

Extender estudios de este tipo a todo el estado para determinar niveles bases de concentraciones de metales, y ubicar los posibles puntos contaminantes por metales en la región.

Crear jornadas de conocimientos y concientización ambiental en los pobladores de la zona, para que ellos sean parte de la solución.

APÉNDICE A: Concentraciones de los elementos

Tabla 12: Concentración de los elementos encontrados en los sedimentos de la parte alta de la quebrada Los Micuyes.

Micras/elementos (ppm)	707	250	177	63	< 63
Al	36437 ⁺ ₋ 1800	39083 ⁺ ₋ 1500	11047 ⁺ ₋ 1200	6557 ⁺ ₋ 1300	7461 ⁺ ₋ 1800
Cr	184 ⁺ ₋ 12	381 ⁺ ₋ 10	42 ⁺ ₋ 8	0	85 ⁺ ₋ 15
Mn	1255 ⁺ ₋ 13	1227 ⁺ ₋ 12	271 ⁺ ₋ 9	529 ⁺ ₋ 13	875 ⁺ ₋ 20
Fe	68011 ⁺ ₋ 130	77209 ⁺ ₋ 100	14382 ⁺ ₋ 82	26459 ⁺ ₋ 136	43791 ⁺ ₋ 217
Ni	0	0	0	12 ⁺ ₋ 3	19 ⁺ ₋ 5
Cu	20 ⁺ ₋ 2	22 ⁺ ₋ 2	9 ⁺ ₋ 2	18 ⁺ ₋ 3	350 ⁺ ₋ 8
Zn	34 ⁺ ₋ 3	110 ⁺ ₋ 3	37 ⁺ ₋ 2	114 ⁺ ₋ 4	278 ⁺ ₋ 4

Tabla 13: Concentración de los elementos encontrados en los sedimentos de la parte media de la quebrada Los Micuyes

Micras/elementos (ppm)	707	250	177	63	< 63
Al	24177 ⁺ ₋ 1100	41144 ⁺ ₋ 1400	10820 ⁺ ₋ 1400	3704 ⁺ ₋ 920	7043 ⁺ ₋ 1900
Cr	0	234	47	22	0
Mn	270	1557	630	306	1388
Fe	12667	82864	36177	13121	67233
Ni	0	19 ⁺ ₋ 5	0	7 ⁺ ₋ 2	13 ⁺ ₋ 4
Cu	0	58 ⁺ ₋ 2	0	12 ⁺ ₋ 2	864 ⁺ ₋ 13
Zn	32 ⁺ ₋ 2	189 ⁺ ₋ 3	65 ⁺ ₋ 3	41 ⁺ ₋ 2	517 ⁺ ₋ 9

Tabla 14: Concentración de los elementos encontrados en los sedimentos de la parte baja de la quebrada Los Micuyes

Micras/elementos (ppm)	707	250	177	63	< 63
Al	26705 ⁺ ₋ 1690	29542 ⁺ ₋ 1420	25444 ⁺ ₋ 2516	13465 ⁺ ₋ 1526	2663 ⁺ ₋ 1065
Cr	56 ⁺ ₋ 12	128 ⁺ ₋ 9	140 ⁺ ₋ 18	76 ⁺ ₋ 10	29 ⁺ ₋ 8
Mn	726 ⁺ ₋ 16	1267 ⁺ ₋ 13	779 ⁺ ₋ 23	465 ⁺ ₋ 13	496 ⁺ ₋ 11
Fe	29424 ⁺ ₋ 148	59686 ⁺ ₋ 101	38622 ⁺ ₋ 261	22022 ⁺ ₋ 119	22300 ⁺ ₋ 109
Ni	12 ⁺ ₋ 3	23 ⁺ ₋ 3	0	10 ⁺ ₋ 3	9 ⁺ ₋ 3
Cu	13 ⁺ ₋ 3	37 ⁺ ₋ 2	10 ⁺ ₋ 4	15 ⁺ ₋ 3	109 ⁺ ₋ 4
Zn	71 ⁺ ₋ 3	147 ⁺ ₋ 3	76 ⁺ ₋ 5	59 ⁺ ₋ 3	123 ⁺ ₋ 3

APÉNDICE B: Factores de enriquecimiento por elemento

Tabla 15: Factor de enriquecimiento de los elementos posiblemente contaminantes encontrados en los sedimentos de la parte alta de la quebrada Los Micuyes

Micras/ FE	Cr-M1	Cu-M1	Fe-M1	Mn-M1	Ni-M1	Zn-M1
707	12	3	5	6	0	1
250	23	3	5	5	0	4
177	9	5	4	4	0	5
63	0	16	10	13	8	28
< 63	27	276	15	19	11	59

Tabla 16: Factor de enriquecimiento de los elementos posiblemente contaminantes encontrados en los sedimentos de la parte media de la quebrada Los Micuyes

Micras/ FE	Cr-M2	Cu-M2	Fe-M2	Mn-M2	Ni-M2	Zn-M2
707	0	0	1	2	0	5
250	13	8	5	6	2	6
177	10	0	9	10	0	11
63	14	20	9	14	12	23
< 63	0	721	25	32	6	28

Tabla 17: Factor de enriquecimiento de los elementos posiblemente contaminantes encontrados en los sedimentos de la parte baja de la quebrada Los Micuyes

Micras/ FE	Cr-M3	Cu-M3	Fe-M3	Mn-M3	Ni-M3	Zn-M3
707	5	3	6	4	2	2
250	10	7	5	7	3	10
177	13	2	4	5	0	4
63	13	6	4	6	2	5
< 63	26	240	22	31	21	307

APENDICE C: Índices de geo-acumulación por elementos

Tabla 18: Índices de geo-acumulación de los elementos posiblemente contaminantes encontrados en los sedimentos de la parte alta de la quebrada Los Micuyes

Igeo/micras	707	250	177	63	< 63
IgeoAl	-2	-2	-3	-4	-4
IgeoCr	2	3	-0,3	0	0,6
IgeoCu	-0,09	0,06	-1	-0,2	4,
IgeoFe	0,5	0,6	-2	-1	-0,1
IgeoMn	1	1	-1	-0,50	0,2
IgeoNi	0	0	0	-1	-0,6
IgeoZn	-1	0,5	-1	0,5	2

Tabla 19: Índices de geo-acumulación de los elementos posiblemente contaminantes encontrados en los sedimentos de la parte media de la quebrada Los Micuyes

Igeo/micras	707	250	177	63	< 63
IgeoAl	-2	-1,5	-3,5	-5	-4
IgeoCr	0	2	-0,1	-1,3	0
IgeoCu	0	1,5	0	-1	5
IgeoFe	-2	2	-0,4	-2	0,5
IgeoMn	-1	1	-0,3	-1	1
IgeoNi	0	-0,3	0	-1,5	-2
IgeoZn	-0,1	1	-0,03	-0,5	0,6

Tabla 20: Índices de geo-acumulación de los elementos posiblemente contaminantes encontrados en los sedimentos de la parte baja de la quebrada Los Micuyes

Igeo/micras	707	250	177	63	< 63
IgeoAl	-2	-2	-2	-3	-6
IgeoCr	0,08	1	1	0,5	-1
IgeoCu	-1	1	-1	-0,5	2
IgeoFe	-0,6	0,3	-0,3	-1	-1
IgeoMn	-0,05	1	0,05	-1	-0,5
IgeoNi	-1	-0,5	0	-2	-1
IgeoZn	-1	1	-0,3	-1	3

6. BIBLIOGRAFÍA

Ackermann, F. (1980): a procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments. *Environ. Technology letters* 1, 518-527.

Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. y Martínez, G. (2002): Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27(12): 686-690.

Acosta V, Lodeiros C, Senior W y Martínez G. (2002): Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. Cumaná. *Interciencia* volumen 27. Número 12.

Aleman, A. y Ramos, V. (2000): Northern andes tectonic evolution of South America. *Memorias del 31st International Geological Congress*, 6-17 Agosto. Rio de Janeiro, Brasil. 453-480.

ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). (2004): *Reseña toxicológica*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 10 p.

Alder, A., Siegrist, H., Gujer, W., Giger, W. (1990): Behaviour of NTA and EDTA in biological wastewater treatment. *Water Res.* 24, 733-744.

Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C. y Cedenilla, O., (2003): Contaminación por Cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. Madrid, España.

Audemard, F. y Audemard, F., (2002): Structure of the Merida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*. 345: 299– 327.

Alonso, M. y Avendano, M. (2009): Conglomerados de cáncer gástrico en el Estado Mérida, Venezuela. INCI, Caracas, v.34, n.9, pp 617-622. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000900006&lng=es&nrm=iso>. Accedido en 18 Enero 2017

Baudo, R., Muntau, H. (1990): Chapter 1: Lesser known in-place pollutants and diffuse source problems. In: Baudo, R, Giesy, JP., and Muntau, H. (Eds.), Sediments: Chemistry and toxicity of in-place pollutants. Ann. Arbor: Lewis Publisher, pp 1-14.

Baruah, N., Kotoky, P., Bhattacharyya, K. y Borah, G. (1996): Metal speciation in Jhanji River sediments. The Science of the Total Environment 193, 1-12.

Bellizia A. & Pimentel N. (1994): Terreno Mérida: Un cinturón alóctono Herciniano en La Cordillera de Los Andes de Venezuela. Memorias del V Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en Las Cuencas Subandinas. 13-16 Marzo. Puerto La Cruz, Venezuela. 271-290. Memorias II Simposio Venezolano de Geoquímica, 16-18 Mayo. Caracas, Venezuela. Formato digital.

Bellizzia, G. A. y Pimentel de B., N. (1995): Consolidación de Terrenos Continentales Gondwánicos Precámbrico-Paleozoicos en los Andes de Venezuela. Bol. De Geología, Pub. Especial N° 11, Ministerio de Energía y Minas, Venezuela. 227-256 p.

Belkin, H. y Sparck, H. (1993): Mercury, arsenic, antimony, and selenium contents of sediment from the Kuskokwim River, USA. Environmental Geology 22,

Bianchini, G., Lavianob, R., Lova, S. y Vaccaro, C. (2002): Chemical-mineralogical characterisation of clay sediments around Ferrara (Italy): a tool for an environmental analysis. Ferrara- Italia. Elsevier Science B.V. Volúmen 21

Biksham, G., Subramanian, V. y Griken, R. (1991): Heavy metal distribution in the Godavari river basin. Environment Geology Water Science 17, 117-126. 106-110.

Borovec, Z. (2000): Elements in size-fractionated bottom sediments of the Elbe River in its Czech part. Birkhauser Verlag. Czech Republic.

Bravo, B. y Leonardo, I. (2010): Estudio Ambiental y Económico: Análisis Mineralógico y Geoquímico de Sedimentos del Sistema Fluvial del Río Lluta, XV Región de Arica y Parinacota, Chile. Universidad de Chile. Programa Cybertesis.

Braw, A. (2010): Chronology of the igneous, metamorphic, and deformational events in the central Mérida andes, Pag 49.

Brioso, B (2004): Mineralogía, Geoquímica e Implicaciones Ambientales de los Suelos y Sedimentos del Paraje Natural Estero Domingo Rubio y su Entorno (Huelva). Sevilla-España.

Carignan, R. y Tessier, A., (1988): The co-diagenesis of sulphur and iron in acid lake sediments of southwestern Quebec. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 1179-1188.

Casas, J., Rubio, R. y Rauret, G. (1990): Estudio de los sedimentos del río

Cardener II. Contaminación por metales pesados. *Tecnología del agua* 74, 17-24.

Cawood, P. (2005): Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Earth Science Reviews*. 69: 249-279.

Chen, S., Kao, C., Jou, C., Fu, Y., y Chang, Y. (2008): Use of a constructed wetland for post-treatment of swine wastewater. *Environ. Eng. Sci.* 25(3); pp. 407-417.

Chen, W., Tan, S. y Tay, J. (1996): Distribution, fractional composition and release of sediment-bound heavy metals in tropical reservoirs. *Water, Air, and Soil Pollution* 92, 273-287.

De Groot, A. y Allersma, E. (1975): Heavy metals in the aquatic environment. Int. Conf. Supplement Progress in Water Technol. 85-97.

Denkhaus, E. y Salnikow, K. (2002): Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. Depa

Falaki, C., Perrin, L., Belkesam, A y Peisajovich, (1994): Impacto de los detergentes sobre los sedimentos. Movilización de metales, Tecnología del agua 128, pp. 25-31. rtment of Instrumental Analytical Chemistry. Duisburg, Alemania.

Förstner, U. y Müller, G. (1974): Schwermetalle in sedimenten des Bodensees, natürliche und Zivilisatorische Anteile. Naturwissanschaften 61, pp 270.

Förstner, U. y Patchineelam, S. (1980): Chemical associations of heavy metals in polluted sediments from the lower Rhine river. En: Particulates in water. Am. Chem. Soc. Adv. Chem. Ser. 189, 177-193.

Förstner, U. y Salomons, W. (1980): Trace metals analysis on polluted sedimentos. I. Assesment of sources and intensities. Environment Technology Letters 1, 494-505.

Förstner, U. (1993): Metal speciation General concepts and applications. En: Proceedings of the Workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments. Int. J. Environ. Anal. Chem. 51, 5-23.

Frimmel, F., Grenz, R., Kordik, E. y Dietz, F. (1989): Nitrotriacetate (NTA) and ethylenedinitrilotetraacetate (EDTA) in rivers of the Federal Republic of Germany. Vom Wasser 72, 175-184.

Gaiero, D., Ross, G., Depetris, P. y Kempe, S. (1997): Spatial and temporal variability of total non-residual heavy metals content in stream sediments from the Suquía River system, Cordoba, Argentina. Water, Air, and Soil Pollution 93, 303-319.

Galan, E. y Romero, A. (2008): Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Sevilla-España.

Gamero, M., Adriana, C. y Reveti, M. (2011): Estudio geoquímico y mineralógico de minerales pesados en la zona nor-occidental del estado Bolívar. 29-35p.

Goldschmidt, V. (1954): Geochemistry. Clarendon Press. Oxford. Pag 730.

González de Juana, C., Iturralde de, J. M. y Picard, C. (1980): Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones Foninves, Caracas, Tomo I. Pag 407.

Gonsior, S., Sorci, J., Zoellner, M. y Landenberger, B. (1997): The effects of EDTA on metal solubilization in river sediment/water systems. Published in J. Environ. Qual. 26, 957-966.

Hakanson, L. (1984): Sediment Sampling in Different Aquatic Environments: statistical Aspects. Water Resours Research 20, 41-50.

Hasen, A., León, A. y Bravo, L. (1995): Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. México.

Hawkes, H. y Webb, J., (1962): Geochemistry in Mineral Exploration: New York, Harper & Row Publisher. Pag 415.

Higueras, P., Oyarzun, R. y Lillo, J. (2007): Minería ambiental: una introducción a los impactos y su remediación. Manual. Ediciones GEMM-Aula2pontonet.

Hoeger T. 2007. Geología de la Región de Chachopo. Universidad de Los Andes. Mérida. Trabajo de Ascenso para optar a la Categoría de Asistente. Inédito.

Horton, R. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull., Volume 56. 275-370 p.

IARC (1990). Chromium, nickel and welding. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 49: 1-648.

Joyce, L., Wayne, D. (1985): Aquatic sediments. Journal WPCF 57, 712-724.

Lawson, D. R. y J. W. Winchester (1979): A Standar Crustal Aerosol as a Reference for Elemental Enrichment Factors, Atmospheric Environment. 10: 925-930.

Loska, K.; J. Cebula; J. Pelczar; D. Wiechula y Kwapilinski (1997): Use of Enrichment, and Contamination Factors Together with Geoaccumulation Indexes to Evaluate the Content of Cd, Cu and Ni in the Rynik Water Reservoir in Poland, Water, Air, and Pollution. 93: 347-365.

Liu C, Russell M (2008): Nutrition and gastric cancer: An update. Nutr. Rev. 66: 237-249.

Kapsenberg, M., Van der Poucu-Krasant, T. y Stirkema, F. (1988): Direct and indirect Nickel-Specific from patients with allergic contact dermatitis to nicke

Manahan, S., (2006): Introducción a la química ambiental.Reveté- México.

Martínez, G. (2002): Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. Instituto Oceanográfico.

Martincic, D., Kwokal, K., Branica, M. (1990): Distribution of Zinc, lead, cadmium and copper between different size fractions of sediments I. The Limski kanal (north Adriatic sea). The Science of the Total Environment 95, 217-225.

Miller, J. (2002): Estadística y quimiometría para química analítica. Madrid: Pearson Educación. Edición; 1a.

Moalla, S., Awadallah, R., Rashed, M., Soltan, M., (1998): Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. Hydrobiologia 364, 31-40.

Morton, A. y Hallsworth, C. (1999): Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstone. Sedimentary Geology, Volume 124. 3-29 p.

Molina J., Oyarzun, R. Esbrí, J. e Higuera, P. (2004): Mercury accumulation in soils and plants in the Almadén mining district, Spain, one of the most contaminated sites on Earth. *Environmental Geochemistry and Health*, 28: 487-498.

Oyarzun, R., Lillo, J., Oyarzun, J., Maturana, H. e Higuera, P. (2010): Mineral deposits and Cu-Zn-As dispersion - contamination in stream sediments from the semiarid Coquimbo Region, Chile. *Environmental Geology*, 53: 283-294.

Pekey, H. (2006): The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. Department of Environmental Protection, University of Kocaeli, Turkey.

Pindell, J. (1985): Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas and proto-Caribbean. *Tectonics*. 4: 1-39.

Ramírez, C., García, R. y Campos, V. (1971): Geología De La Región De Timotes, estados Mérida, Barinas y Trujillo. *Memorias IV Congreso Geológico Venezolano*, Caracas. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5. 898-934.

Rauret, G., Rubio, R., Casas, J. (1986): Estudio de los sedimentos del Río

Cardener I. Contaminación por Plomo. *Tecnología del agua* 29, 89-96.

Rapant, S., Dietzova, Z. y Cicmanova, S. (2006): Environmental and health risk assessment in abandoned mining area, Zlata Idka, Slovakia. *Environ. Geol.* 51, 387–397.

Rodríguez, H. (2005): Contaminación de Sedimentos del Río Anoia por metales pesados: Barcelona, Universidad Privada Bolivariana, Volumen 5.

Rose, A y Webb, J. (1979): *Geochemistry in mineral exploration*: New York, Academic Press, segunda edición, 657 p.

Sakai, H., Kojima, Y., Saito, K. (1986): Distribution of heavy metals in water and sieved sediments in the Toyohira River. *Water Research* 20, 559-567.

Sigg, L., Sturm, M., Kistler, D. (1987): Vertical transport of heavy metals by settling particles in Lake Zurich. *Limno Oceanogr* 32, 112-130.

Singh, S. y Subramanian, V. (1984): Hydrous Fe and Mn oxides-scavengers of heavy metals in the aquatic environment. *CRC Crit Rev Environ Control* 14, 33-90.

Singh, A., Hasnain, S., Banerjee, D. (1999): Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar Rier a tributary of the lower Ganga, India. *Environmental Geology* 39(1), 90-98.

Tazzo, M. (2014): Revisión de la petrografía y geoquímica de algunos granitoides en Los Andes centrales Venezolanos: Nuevos aportes, Caracas. 121-161 p.

Tessier, A., Rapin, F., Carignan, R. (1985): Trace metal in toxic lake sediments: Possible adsorption onto iron oxyhydroxides. *Geochim Cosmochim Acta* 49, 183-194.

Teng, Y., Tuo X., Ni, S., Zhang, C. y Xu, Z. (2003): Geoquímica ambiental de contaminantes de metales pesados en suelo y sedimentos de corrientes en la minería de Panzhihua y área de fundición, Suroeste de China. *Jornada de geoquímica. Volúmen 22. China*

Tsugane, S., Sasazuki, S. (2007): Diet and the risk of gastric cancer: review of epidemiological evidence. *Gastric Cancer* 10: 75-83.

Urrutia, R., Yevenes, M. y Barra, R. (2002): Determinación de los niveles basales de metales traza en sedimentos de tres lagos andinos de Chile: lagos chungará, laja y castor. *Sociedad química Chilena. Volúmen 47, N#4.*

Usero, J., Morillo, J. y Gracia, I. (1997): Contaminación por metales en sedimentos acuáticos. *Tecnología del agua* 166, 44-50.

Vaithiyanathan, P., Ramanathan, A., Subramanian, V. (1993): Transport and distribution of heavy metals in Cauvery River. *Water, Air, and Soil Pollution* 71, 13-28.

Van Der Lelij, R. (2013): Reconstructing north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. *Geophysical Research Abstracts* Geneve-Suiza. 25-41.

Wiener, J., Jackson, G., May, T., Cole, B. (1984): Contaminants in the Upper Mississippi River, In: Wiener, J.C., Anderson, R.V., McConville, D.R. (eds) Butterworth Pub., Stoneham, MA, 139-147.

Zafra, C., Temprano, J. y Tejero, I. (2009): Distribution of the concentration of heavy metals associated with the sediment particles accumulated on road surfaces. *Environmental Technology*, 32(9), 997-100