

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**



**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, MINERALÓGICA Y METALÚRGICA DE LAS ARENAS DE RELAVES UBICADAS EN LA PARCELA IA-11. SECTOR BIZKAITARRA, LAS CLARITAS, MUNICIPIO SIFONTES DEL ESTADO BOLÍVAR PARA SU APROVECHAMIENTO POR PARTE DE LA PEQUEÑA MINERÍA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LOS  
BACHILLERES: ANZOATEGUI  
A., EUCLIDES R. Y SALAS B.,  
MANUEL R., PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO DE  
MINAS**

**CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2022**

## HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado titulado **“Caracterización química, mineralógica y metalúrgica de las arenas de relaves ubicadas en la parcela IA-11. Sector Bizkaitarra, Las Claritas, municipio Sifontes del estado Bolívar para su aprovechamiento por parte de la pequeña minería.”**, preparado por los bachilleres Euclides Anzoátegui y Manuel Salas, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesor Víctor González

(Asesor)

Profesora Bezeida Osio

Jurado

Profesor Nelson Medori

Jurado

Profesor Víctor González

Jefe del Departamento de Ingeniería de Minas

Ciudad Bolívar \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_

## **DEDICATORIA**

Primero a Dios, por brindarme la salud, fuerza y sabiduría necesarias para completar esta etapa en mi formación como un profesional íntegro y comprometido con mi país.

A mi madre, Lelia Delvalle Brito por todo su amor, apoyo, educación y consejos, gracias a ella por criarme a pesar de la ausencia física de mi padre, soy lo que soy, por eso a ella dedico este trabajo.

A mi Padre Manuel Alberto Salas Torres, que Dios lo tenga en su gloria, y que sé, está feliz debido a que finalice esta fase de mi vida y le daré comienzo a una nueva y más compleja que la anterior, y que aunque hoy no esté presente conmigo en este mundo terrenal su espíritu vivirá en mi eternamente.

A mis hermanos, Benilde Del Valle, Yoxan Manuel, Manuel José y Manuel Ramón, que también comparten mi alegría, por su apoyo y cariño.

A mi esposa, Sorliz Fenieliz Sánchez Blanco por su apoyo y su amor en esta última etapa de mi carrera universitaria.

**Salas Brito, Manuel Rafael**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios, a quien le pedí mucho para que guiara e inspirara mi espíritu para la conclusión de este proceso.

A mi madre, que con mucho esfuerzo y sacrificio me brindó su apoyo incondicional hasta donde pudo.

Aa mi padre que aunque físicamente ya no está aquí, siempre me preguntaba por mis estudios y sé que estaría orgulloso de este logro, de este sueño, sin su cariño y su carácter no fuera quien soy ahora.

A todos ellos les dedico esto desde el fondo de mi alma.

**Anzoátegui Anzoátegui, Euclides Rafael**

## **AGRADECIMIENTOS**

Eternamente agradecido, con Dios Padre, por haberme guiado de la mano por el camino del bien y haberme abierto la comprensión y el entendimiento, para poder ser cada día un mejor ciudadano, comprometido con la sociedad y espero siga así, liberándome de toda tentación que se presente ante mí.

A la Universidad de Oriente, por haberme acogido como uno de sus hijos y permitirme adquirir y fortalecer los conocimientos mínimos necesarios para ser hoy un profesional de calidad. Y a mí tutor académico y profesor, Víctor González, por haberme ayudado en la realización de mi trabajo de grado, y por haberme impartido su conocimiento en otras cátedras correspondientes a mi formación como ingeniero de minas.

A mi esposa, amiga y compañera Sorliz Fanieliz Sánchez Blanco (Sol), por estar conmigo en todo momento y apoyarme hasta el cansancio en cada una de las labores y tareas que debí cumplir en la elaboración de mi tesis final, por compartir conmigo alegrías y tristezas, y por quererme en todo momento, Te amo mi Sol. A mis amigos y compañeros (Roángel, José, Angelo, Katherine, Kelbert, Yosmaris, entre otros más) gracias. A mi compadre Manuel Cova y a mi hermano Rafael Reyes, por su enorme apoyo en las buenas y en las malas, y por último pero no menos importante, a todas aquellas personas que a pesar de no haberlas nombrado, han contribuido de la mejor manera para que fuera amena mi estancia durante el tiempo que duraron mis estudios universitarios en Ciudad Bolívar.

**Salas Brito, Manuel Rafael**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente quiero agradecer a Dios, por mantenerme siempre con salud y enfocado en la realización de esta meta.

A mi hermosa madre que luchó incansablemente por darme lo mejor para mis estudios, por sus consejos y sus oraciones para que culminara mi carrera, a mis hermanos, en especial a quien también fue egresada de esta casa de estudios con la especialidad de Lic en Bioanálisis, me dijo en varias oportunidades donde me sentía desmotivado que debía culminar esta profesión. A mi difunto padre quien siempre estuvo pendiente y a mi difunto hermano que aunque ya no están aquí conmigo, están celebrando este logro.

Debo agradecer también a la Universidad de Oriente por brindarme la oportunidad de formarme como profesional en sus instalaciones académicas. A mis compañeros de estudio dentro de los cuales resaltaré a mi compañero de tesis Manuel Salas, quien fue un apoyo incondicional en algunas situaciones críticas de mi periodo académico, Ing. Kelbert Charlie, Ing. Rafael Reyes, Pedro Betancourt, Ing. Francis Tocuyo, Ing. Karla Cabrices, Ing. Julio Delgado y mi gran amiga querida Ing Leila Ortiz, quien en muchas oportunidades me brindó un espacio en su casa para estudiar materias prácticas.

También a mis profesores, en especial a los profesores Jesús Fernández, Yarulsi García, Nelson Medori, Bezeida Osio y a mi tutor académico Victor González quien fue orientándome en las dudas que se me presentaron a lo largo de este proyecto.

**Anzoátegui Anzoátegui, Euclides Rafael**

## RESUMEN

El área de estudio se encuentra ubicada en Bizkaitarra, Las Claritas, municipio Sifontes-estado Bolívar específicamente en la parcela IA-11. El propósito de este estudio fue caracterizar las arenas de relaves y proponer métodos para la recuperación de oro. Para ello se realizaron caracterizaciones mineralógicas, geoquímicas y metalúrgicas de las arenas de relaves. El área objetivo de la parcela consta de tres (03) depósitos, con características macroscópicas algo diferentes. Los resultados del análisis químico elemental arrojaron que, el elemento con tenor más atractivo es el oro con alrededor de los 12 g/t, además de una granulometría media a fina con más del 80% pasante malla 270 (50 $\mu$ m), connotando que alrededor del 90% del oro contenido en las arcillas está por debajo de la malla 200 (75  $\mu$ m), con un 7% en promedio que se queda en los sólidos en suspensión. El material resultó altamente arcilloso con un contenido de sílice de 53% en promedio. En cuanto a la recuperación de oro, el método más adecuado es la lixiviación con cianuro de sodio (NaCN) ya que el material reportan un porcentaje pasante mayor al 80% por la malla 200, además los elementos que son perjudiciales en la lixiviación tales como telurio, antimonio, plomo, tienen muy baja concentración o no se encuentran presentes, algo que es satisfactorio para aplicar dicho método de recuperación. De acuerdo a la geoquímica, para la recuperación de oro metálico no es recomendable la utilización de carbón activado, ya que la relación de Au/Ag es menor a uno y la plata tenderá a absorberse más en el carbón activado que el oro, lo cual generaría la utilización de un mayor volumen de carbón activado para lograr una buena recuperación de oro.

## CONTENIDO

	pag.
<b>HOJA DE APROBACIÓN.....</b>	ii
<b>DEDICATORIA.....</b>	iii
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	v
<b>RESUMEN.....</b>	vii
<b>CONTENIDO.....</b>	viii
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	xii
<b>LISTAS DE TABLAS.....</b>	xiv
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	1
<b>CAPITULO I.....</b>	2
<b>SITUACIÓN A INVESTIGAR.....</b>	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos de la investigación.....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación.....	6
<b>CAPITULO II.....</b>	7
<b>GENERALIDADES.....</b>	7
2.1 Localización y acceso al área de estudio.....	7
2.2 Características físico – naturales.....	7
2.2.1 Clima.....	8
2.2.2 Vegetación.....	8
2.2.3 Geomorfología.....	9
2.2.4 Drenaje.....	9
2.3 Geología regional.....	9
2.3.1 Provincia Geológica de Imataca.....	10
2.3.2 Provincia Geológica de Pastora.....	11
2.3.3 Provincia Geológica de Cuchivero.....	11
2.3.4 Provincia Geológica de Roraima.....	12
2.3.5 Contexto geológico regional de la Provincia de Pastora.....	13
2.3.5.1 Antecedentes.....	13

	pag.
2.3.5.2 Geología estructural.....	13
2.3.5.3 Estratigrafía.....	14
2.3.5.4 Descripción litoestratigráfica.....	15
2.4 Cinturón de Rocas Verdes de El Dorado.....	22
2.5 Secuencia litológica.....	22
2.5.1 Tobas líticas de composición andesítica.....	23
2.5.2 Unidad de intrusión de gabro y diabasa.....	24
2.6 Deformación estructural.....	24
2.7 Foliación regional.....	24
2.8 Tipos de suelos.....	25
2.9 Secuencia de proceso de producción en la minería artesanal de oro en Bizkaitarra. Las Claritas.....	27
2.9.1 Extracción del mineral aurífero.....	27
2.9.2 Proceso de molienda y amalgamación en planchas.....	28
2.9.3 Proceso de recuperación de oro.....	29
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>31</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>31</b>
3.1 Antecedentes.....	31
3.2 Espectroscopia de Absorción Atómica (Equipo AAS novAA 800).....	34
3.3 Difracción de rayos X.....	35
3.3.1 Espectro electromagnético y Rayos X.....	35
3.3.2 Estado cristalino.....	36
3.3.3 Interacción de los R-X con la materia. Difracción.....	37
3.3.4 Métodos experimentales de difracción.....	40
3.4 Fluorescencia de rayos X.....	43
3.4.1 Principios físicos.....	43
3.4.2 Radiación característica.....	44
3.4.3 Radiación primaria.....	45
3.4.4 Detección.....	47
3.4.5 Intensidad de rayos X.....	48
3.5 Caracterización de la muestra.....	49
3.5.1 Análisis granulométrico.....	51
3.5.1.1 Malla.....	51
3.5.1.2 Tamiz.....	52
3.5.1.3 Serie de tamices.....	52
3.5.1.4 Serie Tyler.....	52

	pag.
3.5.1.5 Tamizado.....	53
3.5.1.6 Tamizado manual.....	53
3.5.1.7 Tamizado mecánico.....	53
3.6 Análisis químico.....	54
3.7 Sedimentación de una partícula.....	55
3.8 Lixiviación de oro.....	57
3.8.1 Cianuración.....	58
3.8.2 Lixiviación por agitación.....	58
3.8.3 Lixiviación por percolación Lixiviación en pilas.....	60
3.9 Técnicas de muestreo.....	61
3.9.1 Métodos de muestreo clasificados de acuerdo con el número de muestras tomadas de una población.....	61
3.10 Recuperación metalúrgica.....	65
3.11 Grado de un concentrado.....	65
 <b>CAPÍTULO IV.....</b>	 66
 <b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	 66
4.1 Nivel de investigación.....	66
4.2 Diseño de la investigación.....	66
4.3 Población.....	67
4.4 Muestra.....	67
4.5 Flujograma de la metodología.....	67
4.5.1 Recopilación de información de la zona.....	68
4.5.2 Recolección de muestras.....	69
4.5.3 Preparación de las muestras para análisis.....	70
4.5.4 Caracterización mineralógica.....	71
4.5.5 Caracterización geoquímica.....	71
4.5.6 Caracterización metalúrgica.....	72
4.5.7 Análisis de resultados.....	73
 <b>CAPITULO V.....</b>	 74
 <b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	 74
5.1 Caracterización química elemental.....	74
5.2 Caracterización mineralógica.....	75
5.3 Caracterización metalúrgica.....	77
5.4 Fracciones gravimétricas.....	82

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	pag. 83
Conclusiones.....	83
Recomendaciones.....	85
<b>REFERENCIAS.....</b>	86
<b>ANEXOS.....</b>	90

## LISTA DE FIGURAS

	pag.
2.1 Localización y acceso al área de estudio.....	7
2.2 Provincias Geológicas del Escudo de Guayana. (C.V.G. TECMIN, 1989).....	10
2.3 Provincias litotectónicas del Escudo de Guayana (Mendoza et al, 1997 en, Mendoza, 2000).....	23
2.4 Perfil de meteorización (SNC – LAVALIN, 1999).....	26
2.5 Extracción del mineral. a) Superficie con monitores hidráulicos; b) Subterránea mineral primario en Veta.....	27
2.6 a) Recuperación con tames; b) Deposito de arenas de relaves por tames.....	28
2.7 Proceso de molienda con molino de martillo.....	28
2.8 Proceso de amalgamación con plancha.....	29
2.9 Proceso de recuperación del oro. a) remoción de la amalgama, b y c) lavado y filtrado de la amalgama, d) obtención del oro por calentamiento de la amalgama.....	30
3.1 Equipo de Espectrometría de Absorción de llama (ASS) novAA-800.....	35
3.2 Longitudes de onda y la variación de intensidad con $\lambda$ .....	37
3.3 Parámetros de celda y sistemas cristalinos.....	37
3.4 Dispersión de la radiación incidente.....	38
3.5 Técnicas de difracción.....	40
3.6 Esquema de un difractometro.....	41
3.7 Difractograma típico.....	42
3.8 Equipo de difracción de rayos X típico.....	42
3.9 Representación esquemática de la física de fluorescencia de rayos X.....	44
3.10 Típico espectro de energía dispersiva XRF.....	46
3.11 Espectro de un blanco de rodio operado a 60 kV, mostrando el espectro continuo y las líneas K.....	46
3.12 Típico espectrometro de energía dispersiva XRF.....	49
3.13 Equipo Ro-Tap. Laboratorio de procesos Ingeomin.....	54
3.14 Etapas de Sedimentación.....	56
3.15 Separación gravitacional y cianuración de menas trituradas o molidas. (Cardenas R, 1994).....	57
4.1 Flujograma de las actividades de la investigación.....	68
4.2 Recolección de las muestras.....	70
5.1 Curva granulométrica P1.....	79

	pag.
5.2 Histograma de frecuencia. Granulometría P1.....	80
5.3 Curva granulométrica P3.....	81
5.4 Histograma de frecuencia. Granulometría P3.....	81

## LISTAS DE TABLAS

	pag.
2.1 Características litológicas de las unidades que afloran en los Cinturones de Rocas Verdes de Pastora. (Benaim, N 1972)... ..	17
5.1 Tenores de elementos preliminares contenidos en las arcillas auríferas.....	75
5.2 Análisis Mineralógico (DRX).....	76
5.3 Análisis químico composicional (FRX).....	76
5.4 Tenores de elementos preliminares contenidos en las arcillas auríferas por fracción granulométrica.....	77
5.5 Análisis granulométrico de la muestra P1.....	78
5.6 Análisis granulométrico de la muestra P3.....	79
5.7 Separación de fracciones gravimétricas muestra P1.....	82

## INTRODUCCIÓN

Al Sur de Venezuela se encuentra el Escudo de Guayana, este forma parte del Cratón Amazónico del Precámbrico de Suramérica y se encuentra al sur del río Orinoco, conformado por rocas arqueozoicas y proterozoicas de diversas litologías, se compone de cuatro provincias geológicas; Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima. El área de estudio se encuentra en el grupo Botánamo de la Provincia de Pastora. Mendoza (2002).

La actividad minera en el municipio Sifontes específicamente en Las Claritas se inició en la década de los 80, con el descubrimiento del yacimiento aurífero de Las Cristinas, Brisas, entre otros. Desde aquellos tiempos hasta la actualidad, la actividad fue desarrollada por pequeños mineros y la explotación del oro se realiza utilizando procedimientos de bajo nivel tecnológico, (canalón y molino de martillo) originando pérdidas por la poca eficiencia en la recuperación. Además que estos ponen en peligro el sistema ecológico y la seguridad del minero y su familia.

Con el trabajo de investigación se espera aportar información valiosa, a través de los análisis e interpretaciones de los estudios de caracterización mineralógica, fisicoquímica, geoquímica y metalúrgica que van a permitir establecer las condiciones más idóneas para aplicar un proceso de cianuración a las arenas de relaves.

# CAPITULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

Los yacimientos de oro más grandes de América Latina se encuentran en un territorio selvático al este de Venezuela, conocido como la Reserva Forestal de Imataca. Es un territorio que además de ser rico en oro, también lo es en diamantes, hierro, bauxita, manganeso, cobre, agua y energía. Es una de las principales herencias naturales de generaciones futuras de venezolanos.

Con la caída de los precios del barril de petróleo y la baja producción de la industria petrolera el gobierno nacional, a finales del 2015 pone en marcha 14 motores para el incremento de las exportaciones no petroleras. El motor minero es el octavo de estos, creado para incentivar la producción nacional e impulsar la minería de forma legal y ordenada con el objetivo de generar divisas para el país.

Años antes en 2011 se comienza a delinear el Arco Minero del Orinoco y se publica en Gaceta Oficial N° 39.759, el Decreto No. 8.413, con Rango Valor y Fuerza de Ley Orgánica, que reserva al Estado las actividades de exploración y explotación del oro, enmarcado en un Plan de Desarrollo Minero Ecológico, generar empleos, y la participación equilibrada de todos los actores vinculados al aprovechamiento responsable y eficiente de los recursos minerales existentes en el Arco Minero del Orinoco.

Años después se promulga el 24 de febrero del 2016 el Decreto No. 2.248, Gaceta Oficial No. 40.855, que crea la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional ARCO MINERO DEL ORINOCO y que contempla el aprovechamiento de los

recursos minerales que posee esta área de 111.800 kilómetros cuadrados de minerales como oro, hierro, bauxita, coltán, diamante, manganeso y granito. El desarrollo previsto se realiza bajo la figura de Empresas Mixtas, donde se espera que la Nación obtenga un mínimo de 55% de ganancias, 13% de regalías, y pago del Impuesto Sobre la Renta (ISRL) para invertir las en el desarrollo social.

El Arco Minero del Orinoco representa una oportunidad para la pequeña minería la cual siempre se ha llevado la peor parte del beneficio que se obtiene de la explotación de mineral oro, haciendo uso de las figuras como empresa mixta y alianza, para hacerse con concesiones y los derechos de explotación de terrenos propios, y ya que los trabajos previos para el arranque de una explotación minera son costosos, en los depósitos de relaves ya ha sido removido el suelo con anterioridad y no es necesario el empleo de costosas máquinas para el movimiento preliminar de tierra o de la capa vegetal ni para su posterior arranque para llevarlos hacia el molino o planta de trituración antes de someterlos a los procesos físicos o químicos para la obtención del valioso mineral.

Sin embargo, para la mayoría de los emprendedores resulta poco apreciable el explotar lugares que ya han sido minados y muy pocas veces hay quienes van por estos a pesar de que, y según testimonios de pequeñas compañías mineras que han apostado por viejos asentamientos, han tenido resultados beneficiosos pudiendo obtener resultados económicos viables, buenas ganancias.

La concesión de Bizkaitarra en Las Claritas (Km 88), ubicada en la parroquia San Isidro del municipio Sifontes del estado Bolívar abarca unos 34 km<sup>2</sup> de terrenos pertenecientes a la Provincia Geológica de Pastora, y está dividida en Parcelas y administrada por el gobierno nacional el cual se encarga de dar concesiones para el aprovechamiento de los recursos metálicos y no metálicos presentes en la zona en especial el importante material estratégico como lo es el oro (Au), sin embargo,

muchas de estas parcelas ya han sido explotadas desde hace años precisamente en la búsqueda de obtener el material aurífero, dejando como resultado zonas con arenas de relaves y lagunas de depositación de aguas residuales y sedimentos.

Debido a un alza en el precio del oro que ha venido repuntando hasta alcanzar un valor mayor a los 1.800 dólares la onza troy en estos últimos años, ha traído como consecuencia la reactivación del proyecto de explotación de muchos proyectos en la zona Sur del estado Bolívar, y aunado a este emprendimiento la pequeña minería se ha organizado y se ha establecido en zona cercanas circundantes a las concesión existentes, para la explotación de este metal tanpreciado.

La actividad minera en el municipio Sifontes específicamente en Las Claritas se inició en la década de los 80. Desde aquellos tiempos hasta la actualidad, la actividad fue desarrollada por pequeños mineros y la explotación del oro se realiza utilizando procedimientos de bajo nivel tecnológico, (canalón y molino de martillo); originando perdidas por la poca eficiencia en la recuperación. Además, que éstos ponen en peligro el sistema ecológico y la seguridad del minero y su familia por la utilización de mercurio.

Con este trabajo de investigación se espera aportar información valiosa, a través de los análisis e interpretaciones de los estudios geológicos, geoquímicos, mineralógicos y metalúrgicos, realizados a las muestras de las arenas de relaves ubicadas en la parcela IA-11, Bizkaitarra, Las Claritas, municipio Sifontes-estado Bolívar. Con el fin de establecer factores y parámetros de operacionalidad para la recuperación de los metales valiosos tal como el Oro.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Caracterizar las arenas de relaves para la recuperación de oro en la parcela IA-11. Sector Bizkaitarra, Las Claritas, Municipio Sifontes, estado Bolívar.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Determinar las características geoquímicas, mineralógicas y metalúrgicas de las arenas de relaves de la parcela IA-11.

2. Comparar las características geoquímicas y mineralógicas entre las zonas objetos de evaluación.

3. Establecer posibles condiciones para la recuperación del oro a partir de la caracterización.

## **1.3 Justificación de la investigación**

La pequeña minería actualmente utiliza métodos de recuperación que son muy poco eficientes y al mismo tiempo causan un gran impacto adverso al medio ambiente, trayendo como consecuencia una degradación progresiva del suelo, causando daños colaterales a los ríos o afluentes que se encuentran en la zona. Los métodos para la recuperación de oro utilizados por la pequeña minería, tales como, amalgamación con mercurio, no son practicados en función de minimizar el impacto adverso al medio ambiente, debido a que no cuentan con la asesoría, tecnología y procedimientos adecuados para optimizar la recuperación del oro sin causar daños colaterales al ambiente, es decir, lo practican de una manera furtiva.

En ese sentido, caracterizar geoquímica y mineralógicamente una de las áreas ubicadas en la concesión de Bizkaitarra como lo es la Parcela IA-11 puede, y según los resultados que se obtengan en este estudio, hacer que más áreas sean reutilizadas para la obtención de beneficios económicos para la nación y la región además de que representa una oportunidad para las comunidades cercanas las cuales pueden llegar a organizarse para explotar estas áreas de relaves e impulsar el desarrollo de las zonas aledañas logrando el máximo beneficio y cuidando en lo posible del medio ambiente cercano, retrasando el uso de nuevas áreas vírgenes, para tener el mínimo impacto ecológico en el ambiente de la región.

Por lo que, resulta necesario que la Universidad de Oriente se incorpore y contribuya a la reducción y mitigación de los posibles impactos ambientales que puedan causar la pequeña minería, a través de mejoras para la optimización de los métodos de recuperación tanto aurífera como de otros metales y minerales, con el fin de llevar un beneficio a las comunidades cercanas y trabajar conjuntamente con las mismas, y de esta manera y dentro de lo posible, ir logrando una mejora en la calidad de vida de las comunidades aledañas a esa zona.

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

Con este estudio se pretende establecer de manera teórica y basándose en experiencias de procesos ya implantados, los posibles métodos y factores que hay que considerar para la recuperación de oro.

## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Localización y acceso al área de estudio**

El área de estudio se localiza en el sector denominado Bizkaitarra, Las Claritas, en jurisdicción de la Parroquia San Isidro del Municipio Sifontes del Estado Bolívar. El acceso a la zona se realiza por carretera asfaltada, desde Puerto Ordaz-Upata-El Callao-Tumeremo-Dorado-Vía Km 88, y desvío de 2 Km de carretera engransonada. (Figura 2.1).

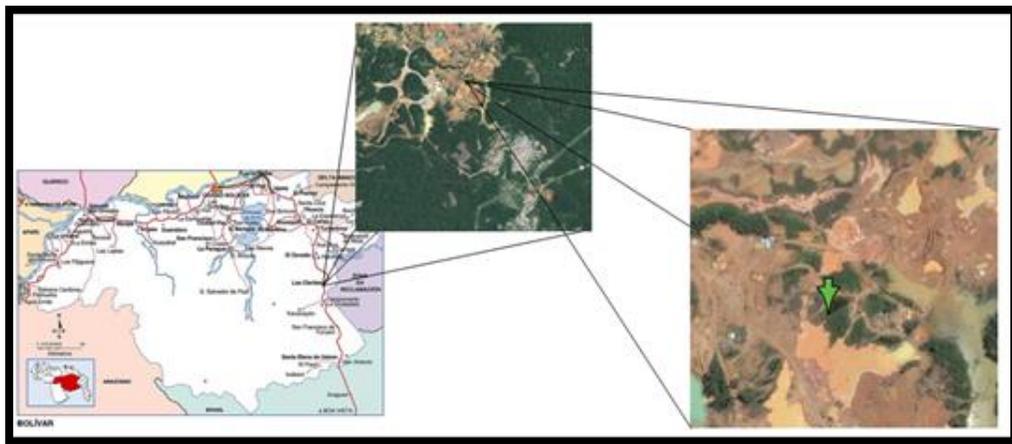


Figura 2.1 Localización y acceso al área de estudio.

#### **2.2 Características físico - naturales**

La información presentada a continuación, está basada en el reporte climatológico el cual fue elaborado por MINCA (1999) con base en la información proveniente de las estaciones del Km. 88 y la cuenca del Cuyuní, durante un año.

### **2.2.1 Clima**

El clima de la zona es Tropical lluvioso (húmedo - seco), con mayores precipitaciones entre los meses de abril y agosto. A continuación se especifica un resumen de los datos climáticos del área de estudio.

Precipitación media anual: 3000 mm.

Evaporación media anual: 1850 mm.

Temperatura media anual: 26° C.

Temperatura máxima media anual: 31.5° C.

Temperatura mínima media anual: 21.5° C.

Humedad relativa media anual: 76%.

### **2.2.2 Vegetación**

Sobre el paisaje de lomerío, la vegetación es tipo bosque tropófilo macro térmico, presenta un carácter de semideciduo a deciduo, con formaciones de bosques medio (15-25 m), a altos (25 m) bien desarrollados con una moderada presencia de bejucos.

Sobre el relieve de colinas y lomas que caracterizan el paisaje de peniplanicie, la vegetación es de tipo bosque ombrófilo macro térmico, fisiográficamente constituido por un bosque medio denso, asociaciones de los tipos altos densos junto a

bosques medios (15-25 m) ubicados respectivamente en los relieves depresionales y sobre las colinas y lomas.

### **2.2.3 Geomorfología**

Dos tipos de relieve se distinguen básicamente en el área, el de colinas y el de lomeríos, enmarcados respectivamente en los paisajes de peniplanicie baja. Estos tipos de relieve son el reflejo de las litologías, estructuras dominantes y su resistencia a los procesos de erosión.

### **2.2.4 Drenaje**

El drenaje del área sigue un control estructural de carácter dendrítico hacia el suroeste. Los principales cursos de agua que dominan la zona son las quebradas Amarilla y Sofía respectivamente, no sin dejar de tener importancia los cursos intermitentes los cuales tienen un papel protagónico en el modelaje del relieve.

## **2.3 Geología regional**

Los trabajos más actualizados reportados en la zona son los realizados por Mendoza 2000 y de allí se tomaron todas las fichas bibliográficas. El Escudo de Guayana, se extiende al sur del río Orinoco y ocupa algo más del 50% de la superficie de Venezuela; con rocas tan antiguas como 3.41 Ga (giga años) (granulitas y charnockitas del Complejo de Imataca) (Teixeira y otros, 2000) y tan jóvenes como 0.711 Ga (kimberlitas eclogíticas de Guaniamo) (Charner y otros, 1997), que registran en buena parte una evolución geotectónica similar a la de los otros escudos precámbricos en el mundo.

El Escudo de Guayana presenta una forma oval y, litológicamente está constituido por rocas del precámbrico. De acuerdo a sus características petrológicas y tectónicas este Escudo se divide en cuatro Provincias Geológicas que de más antigua a más joven son: Provincia Geológica de Imataca, Provincia Geológica de Pastora, Provincia Geológica de Cuchivero y Provincia Geológica de Roraima. (Figura 2.2).

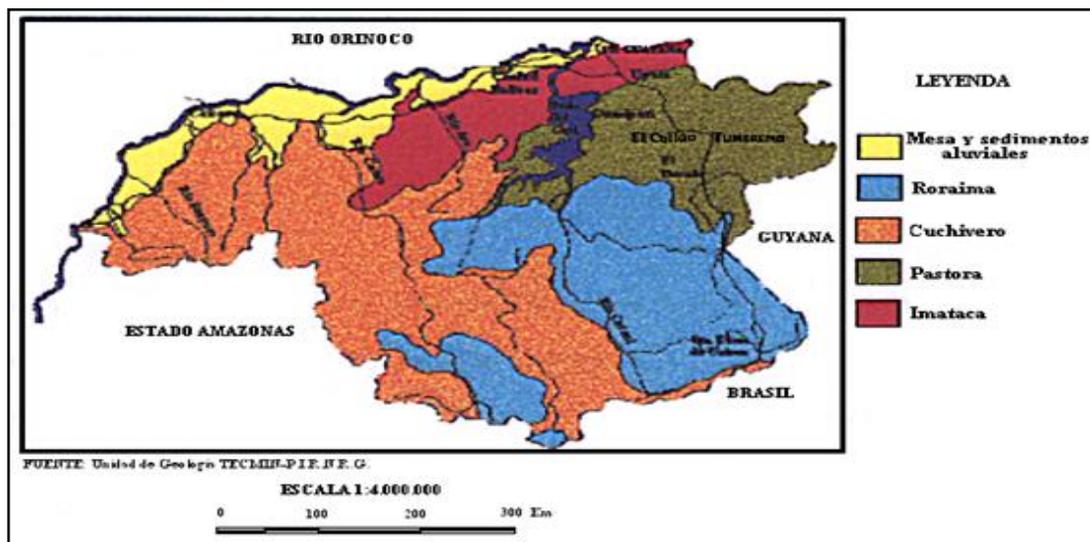


Figura 2.2 Provincias Geológicas del Escudo de Guayana. (C.V.G. TECMIN, 1989).

### 2.3.1 Provincia Geológica de Imataca

La Provincia Geológica de Imataca se extiende en dirección noreste desde el río Caura hasta el delta del Orinoco por unos 550 kilómetros y en dirección norte y sur aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Gurí por unos 80 kilómetros de ancho.

Esta Provincia se caracteriza por presentar rocas metasedimentarias, gneises graníticos, granulitas félsicas y máficas; charnockitas, anortositas y migmatitas; formaciones bandeadas de hierro (cuarcita ferruginosa), dolomitas, cuarcitas y anfibolitas. Dentro de las rocas de la Provincia de Imataca se encuentran las unidades

estratigráficas del Complejo de Imataca, la Migmatita de La Ceiba, Granito de La Encrucijada, la Monzonita Cuarcifera del Cerro Guanacipana y otros cuerpos granodioríticos (González de Juana 1980).

### **2.3.2 Provincia Geológica de Pastora**

La Provincia Geológica de Pastora se encuentra ubicada al sur de la Provincia Geológica de Imataca, separada de esta en su parte oriental por la Falla de Gurí y en la parte occidental por la Falla de Santa Bárbara. Está constituida por anfibolitas, lavas basálticas andesíticas, esquistos, tobas, metatobas, brechas, filitas, metalimolitas, meta - areniscas y conglomerados.

El término Grupo Pastora fue empleado formalmente por Zuloaga y Tello (1939) para definir el Cinturón de Rocas Verdes del Escudo de Guayana y sustituir el término original de Newhouse y Zuloaga (1929); descripciones posteriores fueron las de Martín B y Bellizzia (1959) y Korol (1965) quien subdividió la unidad en las Formaciones El Callao, Yuruari y Caballape, en secuencia ascendente.

### **2.3.3 Provincia Geológica de Cuchivero**

La Corporación Venezuela de Guayana (C.V.G.) TECMIN C.A (1989) realizó varios estudios geológicos, clasificando y determinando de esta manera que la Provincia Geológica de Cuchivero ocupa la parte occidental del Escudo de Guayana y se extiende al sureste de Guyana, Surinám y la Guayana Francesa.

Mendoza, V. (1974) en el área del río Suapure definió la sección más completa de la provincia con el nombre de Súper Grupo Cedeño, formado por el Grupo Cuchivero (Formación Caicara, Granitos de Santa Rosalía, San Pedro y Guaniamito) y el Grupo Suapure (Granitos de Los Pijiguaos y Rapakivi de El Parguaza). Sobre el

Súper Grupo Cedeño yacen de manera discordante las rocas sedimentarias del Grupo Roraima.

#### **2.3.4 Provincia Geológica de Roraima**

Esta Provincia Geológica abarca un área de aproximadamente 250.000 kilómetros cuadrados desde Tafelberg, Surinám hasta Neblina en Amazonas.

Dalton, L. (1912) utilizó el nombre de "Capas de Roraima" para designar esta secuencia de sedimentos; Aguerrevere et al (1939) le asignaron el nombre formacional y posteriormente Ried (1974) elevó su rango a Grupo Roraima.

Mendoza, V. (1974) define la provincia Geológica de Roraima como Provincia Estructural Canaima, ocupando una gran extensión del Escudo Guayanés.

Ried, A. (1974), subdivide el Grupo Roraima en el área de Santa Elena de Uairén en cuatro formaciones (Uairén, Cuquenán, Uaimapué y Matauí). Posteriormente Briceño (1989) en Mendoza 2000, dividió la Provincia Geológica de Roraima en Súper Grupo Roraima conformado por el Grupo Roraima y las Capas de Abarén, la Formación Uricó y la Formación Ichún.

La Provincia de Roraima presenta rocas conglomeráticas, areniscas, lutitas fisiles, ftanitas, limolitas arcosas, jaspe rojos y verdes, ortocuarcitas de colores blancos, crema y rosados. Estas rocas no muestran metamorfismo regional, solo se registra metamorfismo de contacto (andalucita) de rocas de Roraima con granitos intrusivos.

La Provincia Geológica de Cuchivero se caracteriza por presentar un metamorfismo que va desde las facies de esquistos verdes hasta la de los gneis. Esta

provincia incluye: a) Rocas volcánicas riolitas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos del Grupo Cuchivero, b) Areniscas, sills, diques, stocks de rocas diabásicas - gabronoríticas cuarcíferas de la Asociación Avanavero, c) El Granito Rapakivi de El Parguaza y rocas de complejo alcalino como el de La Churuata asociadas así como intrusiones de La Carbonatita de Cerro Impacto (Sidder y Mendoza, 1995).

### **2.3.5 Contexto geológico regional de la Provincia de Pastora**

Los aspectos relevantes son los siguientes:

#### **2.3.5.1 Antecedentes**

Su nombre se debe al estudio realizado en los alrededores del caserío Pastora. Newhouse y Zuloaga (1929) en M.E.M. (1997) utilizaron originalmente el nombre de Serie Pastora, apoyados con los estudios petrográficos de Duparc (1922); posteriormente esta serie fue ampliada por Newhouse y Zuloaga (1930) en M.E.M. (1997) definiéndola con el propósito de introducir todas las rocas expuestas en el río Yuruari. Zuloaga y Tello (1939) en M.E.M. (1997) la denominaron Grupo Pastora; pero no fue hasta 1968 cuando Menéndez la definió como Provincia de Pastora.

La Provincia Geológica de Pastora, está formada por varios tipos de Cinturones de Rocas Verdes, y complejos graníticos sódicos, como el Complejo de Supamo, y por intrusivos máficos - ultramáficos.

#### **2.3.5.2 Geología estructural**

Los Cinturones de Rocas Verdes (C.R.V.) forman una secuencia volcánico - sedimentaria creadas en un ambiente marino cercano a un arco de isla, y están

caracterizados por la presencia de estructuras tales como pliegues, intrusiones graníticas y arqueamientos dómicos, presentando una tendencia estructural preferencial noreste. Menéndez A, 1972 en Mendoza V, 2000, consideró que la gran mayoría de las estructuras características de la Provincia Geológica de Pastora se originaron por un empuje vertical de las rocas graníticas del basamento.

Las estructuras de mayor extensión de la Provincia Geológica de Pastora, están representadas por arqueamientos dómicos, y presentan un factor de fracturamiento noreste y noroeste, predominando la primera tendencia. Seguidas por los sinclinales, pliegues y fallas, los cuales constituyen estructuras muy complejas en forma de sinclinales, acomodados entre los arqueamientos y/o domos graníticos con una orientación preferencial noreste. Las estructuras menores están representadas por foliaciones, lineaciones y diaclasas (C.VG. TECMIN, 1989).

### **2.3.5.3 Estratigrafía**

Los Cinturones de Rocas Verdes muestran tendencias estructurales próximas a norte - sur ( $N 10^\circ E$  a  $N 200^\circ W$ ), pero también muestran una tendencia en ángulo recto próximos a este - oeste ( $N 70^\circ - 80^\circ E$ ).

En la región de Guasipati - El Callao aflora una buena sección del Super Grupo Pastora (Menéndez A, 1968, 1994), Cinturones de Rocas Verdes, compuestos del Grupo Carichapo y la Formación Yuruari. El Grupo Carichapo está compuesto de las Formaciones Cicpra, predominantemente Komatíticas; Florinda, basáltico toleítico a komatítico y El Callao, típicamente basáltico - andesítica. Rocas metasedimentarias y metavolcánicas de El Torno Real Corona, al oeste del río Aro fueron correlacionadas por Kallioski (1965) con el Grupo Carichapo.

#### 2.3.5.4 Descripción litoestratigráfica

A continuación se muestran los grupos:

- **Súper Grupo Pastora:** El Súper Grupo Pastora se encuentra localizado en la región de Guasipati - El Callao y se compone del Grupo Carichapo (Formaciones Florinda, El Callao y Cicapra) y de las Formaciones Verdún, Yuruari, La Cuaima y las Anfibolitas de Río Claro.
- **Grupo Carichapo:** El término Formación Carichapo fue propuesto originalmente en 1965 por Kalliokoski para designar una unidad compuesta esencialmente de anfibolitas de grano fino derivada de rocas volcánicas básicas intercaladas con cantidades menores de metajaspes. Menéndez (op. Cit.) elevó la unidad al rango de Grupo para incluir las unidades rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición basáltica, infrayacente a la Formación Yuruari.

El Grupo Carichapo constituye la parte basal del Super Grupo Pastora, se encuentra en contacto intrusivo concordante con las rocas graníticas del Complejo Supamo y en contacto con la Formación Yuruari en el tope; estas rocas están formadas por una secuencia volcánica, tectonizada y metamorfozada regionalmente a la Facies de Esquistos Verdes.

Litológicamente este grupo está compuesto por las Formaciones Florinda, El Callao y Cicapra, se encuentran representadas por metabasaltos toleíticos, lava basálticas, metalavas basálticas a andesitas, meta - andesitas y esquistos cuarzo - cloríticos y anfibolíticos biotíticos.

*Formación Florinda:* Este nombre fue propuesto por Menéndez (op. cit.), para definir la parte inferior de la Formación El Callao; anteriormente (1968), el mismo autor había descrito estas capas ultramáficas como Serpentinitas de Currupia. La unidad está compuesta por metabasaltos toleíticos magnesianos a normales con estructura de almohadilla e intercaladas con menor proporción de rocas talco carbonáticas, tal como se observa en las características litológicas de las unidades que afloran en los Cinturones de Rocas Verdes de la Provincia de Pastora (Tabla 2.1).

*Formación El Callao:* Este nombre fue designado por Korol, B (1965) para representar las lavas básicas de la Serie Pastora (hoy Súper Grupo Pastora). La localidad tipo se encuentra en el río Yuruari desde la desembocadura de la quebrada Iguana, hasta 1.5 Km aguas arriba en el Municipio autónomo El Callao, Estado Bolívar.

Menéndez, A (1972), determina que la unidad consiste casi en su totalidad de metalavas de composición basáltica, las cuales comúnmente exhiben estructuras en almohadillas hasta de 2 metros de diámetro; en la parte superior contiene jaspe y metaftanitas ferruginosas y manganesíferas. La unidad suprayace a la Formación Florinda, ubicado en la base del Grupo Carichapo; el contacto superior de la Formación El Callao es transicional con la Formación Cicapra y donde ésta está ausente, es concordante con la Formación Yuruari.

*Formación Cicapra:* Este término fue introducido en 1968 por Menéndez para designar una unidad compuesta esencialmente por rocas volcanoclásticas de composición básica, que suprayace a la Formación El Callao e infrayace en contacto transicional a la Formación Yuruari. La localidad tipo se encuentra en el río Yuruari, comprendido entre un punto situado a 500 m de distancia al este del paso Monchito y

otro a un kilómetro al este de la quebrada Cicapra, en el Municipio Roscio del Estado Bolívar; la unidad esta compuesta por esquistos anfibolíticos -biotíticos - albíticos, conglomerados, brechas y fragmentos de lavas máficas.

Tabla 2.1 Características litológicas de las unidades que afloran en los Cinturones de Rocas Verdes de Pastora. (Benaim, N, 1972)

		UNIDAD	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	
P R O V I N C I A  D E  P A S T O R A	INTRUSIVO	Complejo de Supamo.	Rocas graníticas, intrusivas sodicas (tonalitas, trodjemitas, granodioritas, cuarzo-monzonitas, gneis y migmatitas).	
	GRUPO BOTANAM O	Formación Los Caribes.	Intercalación de filitas grises y verdosas que gradan a rojas y se interestratifican con areniscas rojas, con conglomerados polimicticos, limolitas y algunas tobas felsicas.	
		Formación Caballape.	Grauvacas gradadas, limolitas y conglomerados (80%) con cantidades menores de tobas, brechas y flujos piroclasticos de composición andesitica a riodacitica.	
	SUPER GRUPO PASTORA	Formación Yuruari.	Rocas epiclásticas (filitas, esquistos, meta-limolitas y meta-areniscas); localmente: brechas tobáceas y lavas dacíticas. Metamorfismo regional, facies de los esquistos verdes (FEV) y localmente metamorfismo térmico, facies cornubianitas hornablendicas (FCH).	
		C A R I C H A P O	Formación El Callao.	Lavas basálticas, bajas en potasio y altas en hierro, a flujos de lavas andesiticos. Presentan metamorfismo regional, facies de esquistos verdes a anfibolíticas.
			Formación Cicapra.	Tobas básicas submarinas, grauvacas turbiditicasy limolitasvolcanogenicas, tobas líticas, tobas brechoides, aglomerados volcánicos y en el tope cherts verdes, con esquistos porfiroblásticas.
	Formación Florinda.		Metabasaltos almohadillados, toleiticos-komatiticos.	

*Formación Verdún:* Esta unidad aflora en 60 Km del río Yuruán, desde El Dorado hasta la desembocadura del río Supamo. Fue descrita originalmente por Núñez, F. (1990) en TECMIN (1991) como un intrusivo compuesto esencialmente por peridotita wherlítica emplazada sobre una provincia anfibolítica (metabasaltos) en sentido N 60° W.

Núñez observa la presencia de ciclos moderados de flujos ultramáficos y máficos con potentes paquetes de rocas volcánicas de composición dacítico - riodacítico no descritas para la Formación El Callao ni para la Formación Cicapra, resaltando, además, la ausencia de ciclos epiclásticos; lo que conllevó a elevar la presencia de un miembro informal y denominarlo preliminarmente Formación Verdún. La unidad está compuesta por volcánicas félsicas y máficas, piroxenitas y peridotitas / serpentinitas.

*Formación Yuruari:* Korol (1965), propone este nombre para distinguir la parte basal, constituida esencialmente de rocas sedimentarias de grano grueso de la Serie Pastora (hoy Súper Grupo Pastora). Kallioski (1965), describe la unidad con mayor detalle, tomando en consideración sus variaciones litológicas a una escala regional y describiendo sus principales componentes como rocas volcánicas ácidas. Menéndez (1968) reescribe la unidad y le asigna una nueva unidad tipo y la encuentra suprayaciendo concordantemente al Grupo Carichapo, con el cual integra el Súper Grupo Pastora.

Esta unidad aflora en el Sector del río Yuruari, a un kilómetro al este de la quebrada Cicapra y a 5 km al este del caserío de Pastora, Municipio Roscio. Menéndez (1968), define la unidad como rocas epiclásticas de grano fino, intercaladas con capas de meta - areniscas impuras con fragmentos volcánicos. Localmente hay intercalaciones de brechas tobaceas y dacíticas, rocas filitas,

esquistos - cuarzo micáceos y filitas cuarzo sericíticas. Menéndez en 1994, en la región de Guasipati, determina que la unidad suprayace en contacto transicional al Grupo Carichapo, el contacto es gradacional con la Formación Cicapra en la parte oeste de la región, en la parte noroeste y noreste, suprayace a la Anfibolita de Carichapo y en la parte sur a la Formación El Callao.

*Formación La Cuaima:* Este nombre fue introducido por Espejo (1974), para distinguir el conjunto de lavas basálticas, expuestas al sur de la región El Manteco - Gurí, al oeste del río Caroní. La localidad tipo de esta unidad se encuentra ubicada en la quebrada La Cuaima, desde el cruce del camino El Manteco - San Pedro de Las Bocas, vía El Sute, hasta un punto situado aproximadamente un kilómetro aguas arriba del cruce, Municipio Heres, Estado Bolívar.

La formación La Cuaima básicamente esta compuesta por lavas basálticas verdes, de granularidad y colores variables intercaladas con capas lenticulares de metaftanitas ferruginosas. Las rocas están metamorfozadas en las facies de esquistos verdes, subfacies cuarzo - albita - epidoto - biotita a cuarzo - albita - epidoto - almandino.

Anfibolitas de Río Claro: Originalmente este término fue usado por Kallioski (op. cit.), para designar la unidad de anfibolitas de grano fino que se intercalan con algunas capas manganesíferas expuestas en el Río Claro, en el paso de la carretera La Encrucijada - Ciudad Piar y la incluyo en su Asociación Carichapo - Pastora.

- *Grupo Botanamo:* Este nombre fue introducido por Benaim, N (1972), para agrupar las Formaciones Caballape y Los Caribes, más tarde Benaim, N (1997), describe la Formación Venamo. El Grupo Botanamo representa la

secuencia supracortical más joven en los Cinturones de Rocas Verdes de El Dorado y Guasipati que afloran extensamente en la parte sur y este de la Provincia Geológica de Pastora, cubriendo discordantemente al Súper Grupo Pastora.

*Formación Caballape:* originalmente fue designada por Korol, N. (1965), para designar un conjunto de rocas sedimentarias que afloran en las sabanas al noroeste del pueblo de El Callao. Benaim, N (1972), la reconoce al oeste y sur de la Provincia Geológica de Pastora en la región de Botanamo y la integra a la parte inferior del Grupo Botanamo.

La unidad está compuesta de rocas volcánicas, lavas, brechas y tobas de composición intermedia, interestratificadas con una secuencia de rocas epiclásticas que han sufrido un metamorfismo de bajo grado, facies de los esquistos verdes, con rocas que sufrieron metamorfismo de carga.

*Formación Los Caribes:* el nombre de esta unidad lo introducido por Benaim, N. (1972), para designar una secuencia de rocas predominantemente sedimentarias, de color rojo, generalmente bien estratificadas. Lira et al. (1985), la reconocen al este del río Cuyuni, Estado Bolívar. La sección tipo de esta formación se estableció en un sector de 7 Km del curso del río Cuyuni, 4 Km aguas arriba y 3 Km aguas abajo de la desembocadura del río Botanamo, y en este río, desde su boca hasta un punto 2.2 Km aguas arriba, donde se presenta bien expuesta.

Benaim, N. (1972), en González de Juana (1980), define esta unidad como rocas metamórficas cuyas litologías más distintivas son las filitas, meta - areniscas rojas y metaconglomerados polimícticos de color verdoso a gris verdoso a veces con tintes rosáceos.

*Formación Venamo*: fue identificada originalmente por Benaim, N. (1997), como una unidad que aflora en el río Venamo, aguas arriba a partir de unos 15 Km medios en la línea recta desde su boca (al sur de la Isla Anacoco). La sección tipo esta expuesta a lo largo del río Venamo. La formación ocupa la parte superior del Grupo Botanamo, infrayacente al Complejo Supamo; la unidad esta compuesta mayormente de metalavas andesíticas, y algunas tobas de igual composición, así como dos horizontes de brechas volcánicas, las cuales pasan gradualmente y lateralmente a tobas.

- *Complejo de Supamo*: Menéndez, A. (1968), introduce originalmente este término para designar el conjunto de unidades cuarzo feldespáticas, ígneas y metamórficas pobres en feldespato potásico; pero no fue hasta 1972 cuando Menéndez describió formalmente la unidad Complejo Supamo. La localidad tipo está en el río Supamo, la unidad aflora en el Estado Bolívar, en una amplia región comprendida entre la serranía de Imataca, al norte y la serranía de Lema al sur donde ha sido reconocida desde la Cuenca del río Caroní al oeste hasta la frontera con Guyana al este. El Complejo de Supamo esta representado por gneises, paragneises biotíticos, trondjemíticos y rocas ígneas ácidas pobres en feldespato potásico.
- *Granitos Jóvenes*: En esta unidad, se incluyen todas aquellas rocas que forman cuerpos discordantes intrusivos de extensión superficial limitada. Menéndez, A. (1972), incluye estas rocas con alto contenido de potasio dentro del Complejo de Supamo. Espejo, A. (1972), definió a estos granitos jóvenes como una secuencia volcano - sedimentaria a diferentes niveles estratigráficos, y en la zona de El Manteco - Gurí, separó tres de estos cuerpos: Granito Alaskítico de Las Queseras, Granito Porfídico de Guásimo y el Granito Biotítico de Yagrumal.

En la región de Guasipati Menéndez (op. cit.), descubrió otros granitos jóvenes tales como los plutones de Mandingal, Cerro Pelón, La Gloria y El Gancho. Estas intrusiones han sido posteriores a los períodos de removilización y plegamiento del Complejo de Supamo y de la secuencia volcánica - sedimentaria.

- *Intrusiones básicas:* En la Provincia Geológica de Pastora se identificaron zonas de diabasas, gabros y metagabros; dentro de los cuales tenemos: Diques de Diabasa de El Melón, Dique Laguna, Gabro de la Altiplanicie de Nuria y los metagabros del Cerro Pendare y Puente Blanco.

#### **2.4 Cinturón de Rocas Verdes de El Dorado**

El Cinturón de Rocas Verdes de El Dorado ocupa la parte Suroriental de la Provincia Geológica de Pastora, desde el valle del río Marwani, hasta desaparecer por debajo de las capas del Grupo Roraima, entre las cabeceras de los ríos Chicanán y Venamo; está limitada por cuerpos graníticos del Complejo de Supamo al Norte, al Este y al Sur, mientras que al Sureste continua dentro del territorio de Guyana. En el Cinturón de Rocas Verdes de El Dorado están representadas las mismas unidades descritas en el Cinturón de Rocas Verdes de Guasipati. Mendoza, V. (2000).

#### **2.5 Secuencia litológica**

En el campo se pueden observar diferentes unidades litológicas y hacia el oeste del área de estudio, se localizan zonas de cizallamientos y de deformación (Brechas volcánicas) con enjambre de vetas y vetillas de cuarzo, vetas de sulfuros masivos a semimasivos y diferentes zonas de alteración hidrotermal. (Figura 2.3)

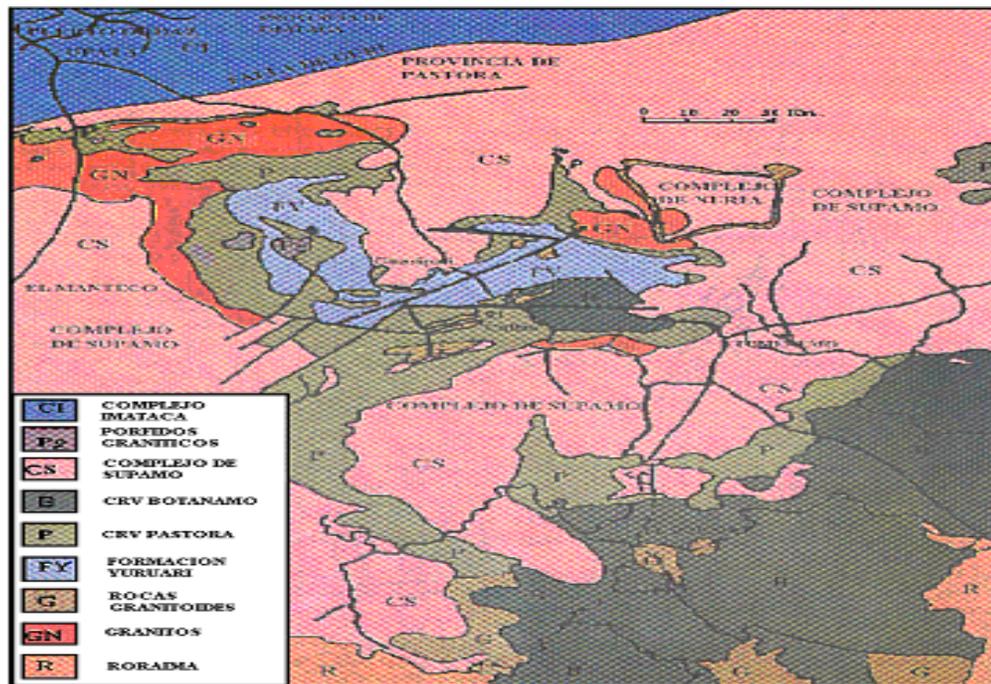


Figura 2.3 Provincias litotectónicas del Escudo de Guayana (Mendoza et al, 1997 en; Mendoza, 2000).

### 2.5.1 Tobas líticas de composición andesítica

La unidad de tobas líticas de lapilli conforma la unidad principal de la zona de estudio, son de color verde pálido grisáceo y gris oscuro verdusco con fragmentos más o menos redondeados y por efectos de alteraciones hidrotermal se transforma en un esquistó micáceo (sericítico y/o clorítico).

Al microscopio se observa la siguiente mineralogía: epidoto, clorita, actinolita y pirita. En la roca los fragmentos de cristales constituyen el 20%, la mayoría recrystalizados a cuarzo policristalino; posiblemente silíceo de composición original o disueltos y reemplazados por cuarzo durante el hidrotermalismo. El 80% está formado por matriz + fragmentos líticos; la recrystalización es una masa microgranular de epidoto, clorita y actinolita acicular imposible de cuantificar con el

microscopio petrográfico. Algunos fragmentos están reemplazados sólo por clorita y hay piritita diseminada en una concentración inferior al 1%. Benain, N. (1994).

### **2.5.2 Unidad de intrusión de gabro y diabasa**

Son cuerpos pequeños de grano fino a medio, holocristalino, de color gris a gris verdoso. Al microscopio se observa plagioclasas (45-72) % en arreglo intersertal e intrecrecimiento ofítico a subofítico; el piroxeno (augita-pigeonita) se encuentra en un (18-50)% (Informe de avance geológico hoja NB-20-8, 1987). En superficie no se observan afloramientos bien definidos, sólo bloques pequeños de (20-30 cm) de diámetro debido a la intensa meteorización que ha sufrido la zona.

## **2.6 Deformación estructural**

Los CRV de Caballape han sido plegados con ejes antiformes de dirección NE - SO y fracturas de cizalla NNE, paralelas a la Falla de la Quebrada Amarilla y fracturas NO (Mendoza, V. 2000). Sobre el área de estudio, es difícil tener una idea de la deformación general de la secuencia volcánico - sedimentaria debido a la intensa meteorización imperante en la zona.

## **2.7 Foliación regional**

La foliación regional tiene una dirección general N 10 - 40° W con buzamiento de (50 - 70)° SW. Esta foliación no cambia mucho fuera de la zona de falla y cizallamiento en las que se ubican las principales mineralizaciones de las concesiones Cristinas 4 y 5; su desarrollo está relacionado con el metamorfismo regional que afectó toda la secuencia volcanosedimentaria de manera constante en la zona.

Como consecuencia de la regularidad de la dirección y buzamiento de la foliación, no hay plegamiento superimpuesto en el área, por lo tanto aparentemente se tiene un plegamiento a la escala regional.

## **2.8 Tipos de suelos**

Los suelos que se presentan en la zona de estudio son del tipo laterítico - saprolítico y son el resultado de la descomposición meteórica de las rocas subyacentes. Básicamente en el área se distinguen 3 tipos de suelos que son el reflejo de la litología y el relieve:

Suelos desarrollados sobre metatobas y metalavas andesíticas o basálticas; carácter residual, textura arcillosa, color marrón rojizo.

Suelos desarrollados sobre áreas caolinitizadas por efecto de la alteración meteórica e hidrotermal, localizados entre las concesiones 4 y 5, carácter residual, textura arcillosa-limosa a limo-arcilloso. De acuerdo a la escala de Wentworth relativa al tamaño de las partículas de los sedimentos clásticos, este tipo de suelo se define como limolitas de grano fino a lutitas de grano grueso.

Suelos compuestos por aluviones y coluviones, localizados en zonas depresionales y en las márgenes de las principales vías de drenaje, poseen textura mixta (grava, arena, limo y arcilla). (Figura 2.4).

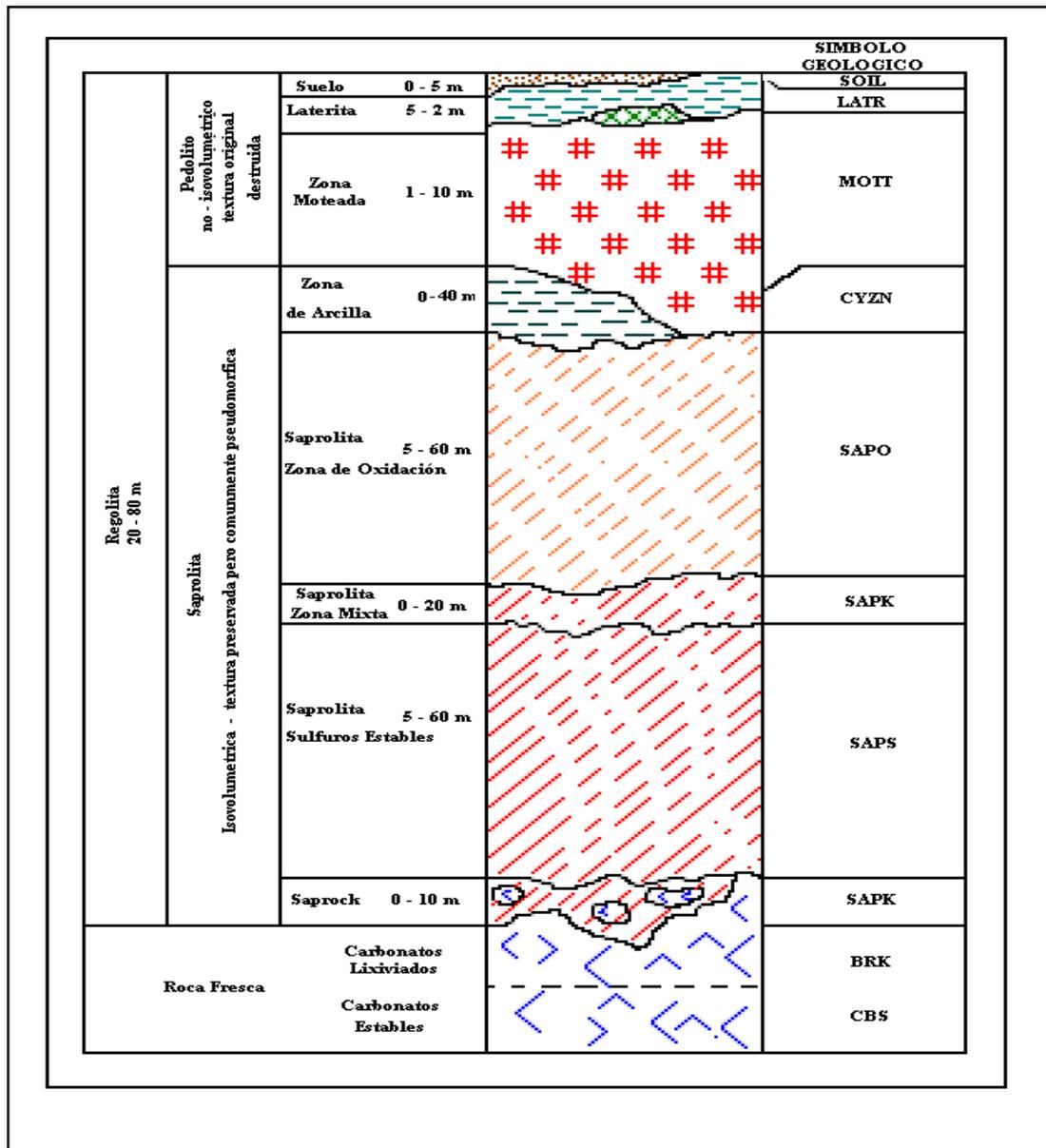


Figura 2.4 Perfil de meteorización (SNC - LAVALIN, 1999).

## 2.9 Secuencia de proceso de producción en la minería artesanal de oro en Bizkaitarra. Las Claritas

### 2.9.1 Extracción del mineral aurífero

El mineral suelto es extraído, por lo general, con monitores hidráulicos, y a través de bombas hidráulicas, es llevado y pasado a través de unas instalaciones artesanales conocidas como Tames (Sluices) para la recuperación del oro libre (Figura 2.5), donde se generan los depósitos arenas de relaves por tames (Figura 2.6), y otras veces con pico, mandarria y pala cuando se consiguen con una veta, bien sea en superficie o subterránea. Este último material es empaquetado en sacos, los cuales llegan a pesar entre 50 y 70 kg, para luego transportarlo hacia los sitios donde el material será molido y seguidamente pasarlo por un proceso de amalgamación con mercurio en planchas de cobre para la recuperación del oro (Figura 2.8), donde se genera otro tipo de residuos sólidos denominados arenas de relaves de molino.

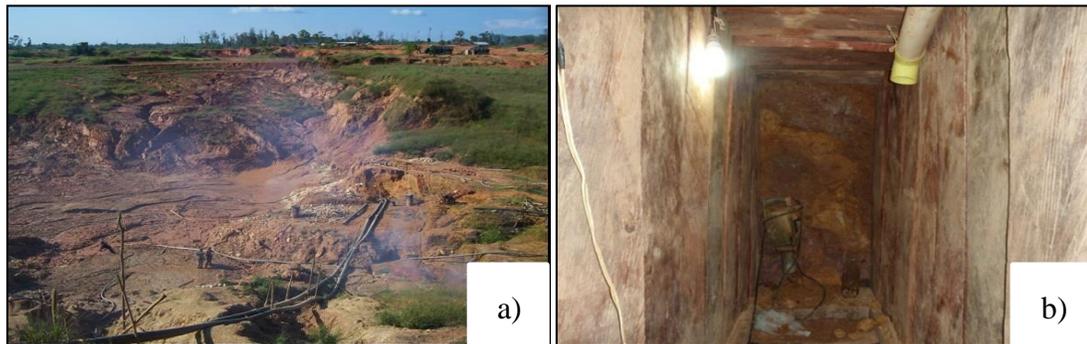


Figura 2.5 Extracción del mineral. a) Superficie con monitores hidráulicos; b) Subterránea mineral primario en Veta.

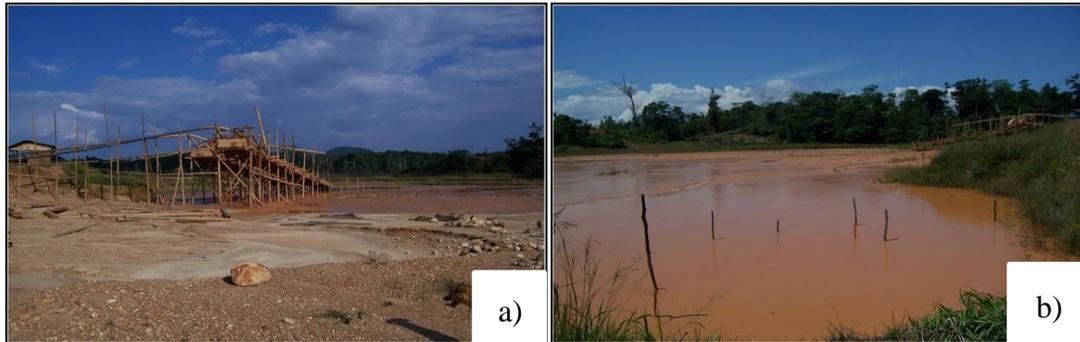


Figura 2.6 a) Recuperación con tames; b) Depósito de arenas de relaves por tames.

### 2.9.2 Proceso de molienda y amalgamación en planchas

El mineral obtenido de las vetas es pasado a través de molinos de martillo (Figura 2.7), el cual reduce el mineral hasta una granulometría donde no se logra la liberación óptima del oro, acarreando de esta manera una baja recuperación del metal, lo que conlleva, que las arenas de relaves producto de este proceso tengan un tenor de oro atractivo, pero que es difícil recuperarlo por la metodología que los mineros artesanales usan en la actualidad, que son las planchas amalgamadas (Figura 2.8).



Figura 2.7 Proceso de molienda con molino de martillo.



Figura 2.8 Proceso de amalgamación con plancha.

### 2.9.3 Proceso de recuperación de oro

Una vez molido el material y pasado por la plancha amalgamada, proceden a la recuperación del mismo removiendo la amalgama de la plancha con el uso de espátula, posteriormente la amalgama es lavada y exprimida mediante una tela para eliminar el exceso de mercurio no amalgamado. Luego, mediante el uso de soplete proceden a la quema de la amalgama para la obtención del oro. (Figura 2.9)



Figura 2.9 Proceso de recuperación del oro. a) remoción de la amalgama b y c) lavado y filtrado de la amalgama, d) obtención del oro por calentamiento de la amalgama.

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes**

En el trabajo intitulado “Caracterización geológica-minera para la recuperación de oro y minerales asociados de las arenas de relaves, ubicadas en los molinos del sector ciudad dorada, las claritas, municipio Sifontes estado bolívar (Manuel Brito, 2011), se recuperaron seis muestras de arenas y luego de los análisis se determinó el tenor promedio de oro (4,3 g/t), plata (1,02 g/t) y cobre (0,20 g/t) llegando a la conclusión que el material tiene un comportamiento tal que, el proceso de tratamiento más recomendado es el de cianuración convencional por agitación y los procesos para la recuperación del oro disuelto puede ser el proceso CIP.

En Empresas Propiedad Del Estado Un Modelo De Control Parte II, Martíz (2018), Realizo un estudio acerca de la situación del sector minero en Venezuela, desde sus inicios y hasta el presente de la publicación del mismo. Incluye una revisión de los decretos que se han hecho en pos del control de la minería en el país y un análisis de las compañías o empresas que se han formado o transformado desde la promulgación y puesta en marcha del Arco Minero Del Orinoco, y en el que sus diversas conclusiones vislumbran el deterioro de las distintas empresas que se dedican a la extracción de minerales metálicos y no metálicos por culpa de la mala administración y pésimo manejo de los equipos necesarios para la producción así como también el empleo por parte del estado de presencia militar en la gerencia o presidencia de las distintas empresas mineras dando como resultado el uso de los llamados favores que incurren en delitos y desvío de activos contribuyendo con la

presencia de la mano negra en los negocios sobre todo del oro, pero también de otros metales estratégicos para el desarrollo de la nación.

Rodríguez (2003), presentó un análisis de la situación en que viven las comunidades criollas e indígenas en la zona de las claritas comparando las diferencias existentes entre los estilos de vida de cada comunidad y la manera en que se organizan socialmente y abordan el trabajo minero el cual es el principal modo de ganarse el sustento y por el que se denota una marcada migración hacia esta zona minera. Hizo énfasis en la presentación y evaluación de indicadores del nivel de vida de la población indígena venezolana y estudió comparativamente ambos tipos de comunidades la criolla y la indígena a partir de la evaluación de los factores sociales y culturales concluyendo con que la comunidad criolla se emplea en esta comunidad minera para enviar remesas hacia sus lugares de origen y no intentan mejorar su calidad de vida en el poblado derivando en una menor cohesión entre individuos de la misma comunidad mientras que, las comunidades indígenas dependen en menor medida de la actividad minera ya que mantienen algunas prácticas autóctonas propias de su estilo de vida ancestral pero advirtiendo que poco a poco están comenzando a verse amenazadas por la adquisición si se quiere de nuevos valores sociales y culturales debido a su continuo contacto con los criollos.

Moreno (2012), Realizó una caracterización petrominerográfica de rocas del sector Bizkaitarra del Distrito Minero Las Claritas, se seleccionaron 18 secciones delgadas de rocas representativas del área de estudio y les realizaron los análisis respectivos utilizando los métodos de microscopia (petrografía y mimeografía). En general se obtuvo que las rocas que afloran en esa zona son: esquistos, diabasa, andesita anfibolitizada, roca alterada, anfibolita, andesita cloritizadas y mineral de goethita con granos de cuarzo. El sector las claritas es uno de los más prospectivos desde el punto de vista geológico para el hallazgo de mineralización endógena del tipo aurífera y de carácter industrial sobre todo, las rocas de la Formación Caballape

por su mayor potencialidad aurífera. En base a los resultados obtenidos a través de los análisis microscópicos, la composición mineralógica de las muestras analizadas fue la siguiente: cuarzo, feldespato, plagioclasas, biotita, como accesorios hornblenda, epidota, sericita y muscovita.

González (2013), realizó una caracterización de las arenas de relaves para el Aprovechamiento metalúrgico por parte de la minería artesanal de la Parcela IA-12, en el sector Bizkaitarra de Las Claritas. Esta zona minera ha sido explotada por más de 40 años por la pequeña minería en su mayoría, y ha sido presa del uso indiscriminado del mercurio como agente amalgamante para la recuperación del oro generando un enorme impacto en el medio ambiente debido a los residuos producto de esta práctica minera, además de que, estudios químicos previos realizados en las colas, y lagunas de deposición se observaron partes por millón (ppm) apreciables del preciado mineral (Au). Una vez obtenidas las muestras para su estudio (8 muestras recolectadas para un total de 325 kg de muestras) y realizados los ensayos y análisis correspondientes el estudio concluyo que, es viable para la pequeña minería el procesar las arenas de relaves en esta parcela ya que el contenido de oro supera los 4 ppm y como el material se encuentra suelto y semiprocesado por las labores de actividades anteriores (las que generaron los relaves), los costos de arranque casi se nulifican dejando nada más los de transporte hasta donde el material va a ser procesado. En el caso del oro el volumen de material a procesar es menor al 30% ya que para una granulometría inferior a las 150 micras, el mayor porcentaje metálico del mismo se encuentra en la granulometría fina. Para otros metales presentes (titanio, níquel y cromo), el volumen a procesar es mayor con granulometrías por arriba de las 150 micras requiriendo de un proceso de trituración para su aprovechamiento y en caso de ser muy costoso y poco rentable pudieran emplearse como agregados de construcción.

### 3.2 Espectroscopia de Absorción Atómica (Equipo AAS novAA 800)

A través de átomos en estado fundamental, se mide la absorción específica de un elemento de la radiación de una lámpara de cátodo hueco (HKL). En este caso, la señal de absorción representa una medida de la concentración del elemento correspondiente en la muestra analizada. La HKL envía un espectro lineal, partiendo del cual se extrae una línea de resonancia adecuada a través del monocromador.

La radiación continua de la lámpara D2-HKL se utiliza para la compensación de la absorción de fondo. La radiación de la fuente lineal (HKL primaria) con una línea base muy estrecha (línea de resonancia) se debilita de forma específica dependiendo de un elemento y de forma no específica mediante radiación. De este modo se registra la absorción total. La radiación de la lámpara D2HKL es atenuada principalmente por la absorción inespecífica del elemento de banda ancha; la mínima proporción específica del elemento se puede dejar de lado. La formación de diferencias de ambas señales proporciona la absorción específica de un elemento. En la figura 3.1 se puede observar un equipo característico.

Para los cálculos verdaderos en la matriz sólida se utiliza la fórmula siguiente:

$$C=(CAAS).V. Fd/m \quad (3.26)$$

Dónde:

C=Concentración verdadera de la muestra

CAAS=Concentración de la muestra (mg/l) medidos en el equipo de AAS

V = volumen aforado (ml)

m=masa de la muestra (g)

Fd=factor de dilución



Figura 3.1. Equipo de Espectrometría de Absorción de llama (ASS) novAA-800.

### 3.3 Difracción de rayos X

#### 3.3.1 Espectro electromagnético y Rayos X

Los Rayos X se descubrieron en 1895 por el físico alemán Röntgen y recibieron ese nombre porque se desconocía su naturaleza en ese momento.

En 1912 se estableció de manera precisa la naturaleza de los rayos X. En ese año se descubrió la difracción de rayos x en cristales y este descubrimiento probó la naturaleza de los rayos X y proporcionó un nuevo método para investigar la estructura de la materia de manera simultánea.

Los R-X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz pero de longitud de onda mucho más corta. La unidad de medida en la región de los r-x es el angstrom ( $\text{\AA}$ ), igual a  $10^{-10}$  m y los rayos x usados en difracción tienen longitudes

de onda en el rango 0.5-2.5 Å mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 Å.

El espectro continuo. Los rayos X se producen cuando una partícula cargada eléctricamente con suficiente energía cinética es frenada rápidamente. Los electrones son las partículas utilizadas habitualmente y la radiación se obtiene en un dispositivo conocido como tubo de rayos x.

Los rayos x emitidos consisten en una mezcla de diferentes longitudes de onda y la variación de intensidad con  $\lambda$  depende del voltaje del tubo. La figura 3.2 muestra el tipo de curvas obtenidas. La intensidad es cero hasta cierta longitud de onda, llamada  $\lambda_{lim}$ , aumenta rápidamente hasta un máximo y entonces decrece sin un límite abrupto en la parte de larga longitud de onda. Esta radiación se denomina radiación continua o blanca, pues está formada igual que ocurre con la luz blanca por muchas longitudes de onda.

### 3.3.2 Estado cristalino

Todos los materiales cristalinos adoptan una distribución regular de átomos o iones en el espacio. La porción más simple de la estructura que al repetirse mediante traslación reproduce todo el cristal se define como celda unidad. Un nivel creciente de simetría origina relaciones entre los diferentes parámetros de celda y da lugar a los 7 sistemas cristalinos.(Figura 3.3)

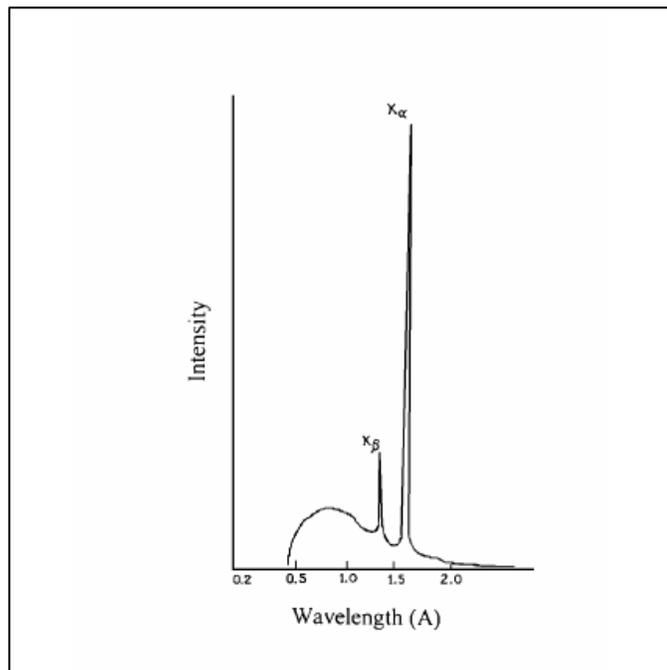


Figura 3.2 Longitudes de onda y la variación de intensidad con  $\lambda$ .

Parámetros de celda unidad	Sistema cristalino
$a \neq b \neq c \quad \alpha \neq \beta \neq \gamma$	Triclínico
$a \neq b \neq c \quad \alpha = \gamma = 90^{\circ} \quad \beta \neq 90^{\circ}$	Monoclínico
$a \neq b \neq c \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	Ortorrómico
$a = b \neq c \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	Tetragonal
$a = b = c \quad \alpha = \beta = \gamma \neq 90^{\circ}$	Trigonal
$a = b \neq c \quad \alpha = \beta = 90^{\circ} \quad \gamma = 120^{\circ}$	Hexagonal
$a = b = c \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	Cúbico

Figura 3.3 Parámetros de celda y sistemas cristalinos.

### 3.3.3 Interacción de los R-X con la materia. Difracción.

La interacción de los R-X con la materia esencialmente ocurre mediante dos procesos:

1.- Algunos fotones del haz incidente son desviados sin pérdida de energía, constituyen la radiación dispersada exactamente con la misma  $\lambda$  que la radiación incidente (es la que origina el fenómeno de la difracción).

2. Los fotones pueden sufrir una serie de choques inelásticos al incidir sobre un blanco y su energía incrementa la T de la muestra o da lugar al fenómeno de fluorescencia.

¿Bajo qué condiciones el haz de r-x será difractado? Un rayo difractado puede definirse como un rayo compuesto de un gran número de rayos dispersados que se refuerzan mutuamente. La difracción es, por tanto, esencialmente un fenómeno de dispersión. Los átomos dispersan la radiación incidente en todas direcciones, y en algunas direcciones los rayos dispersados estarán completamente en fase y por tanto se refuerzan mutuamente para formar rayos difractados. (Figura 3.4)

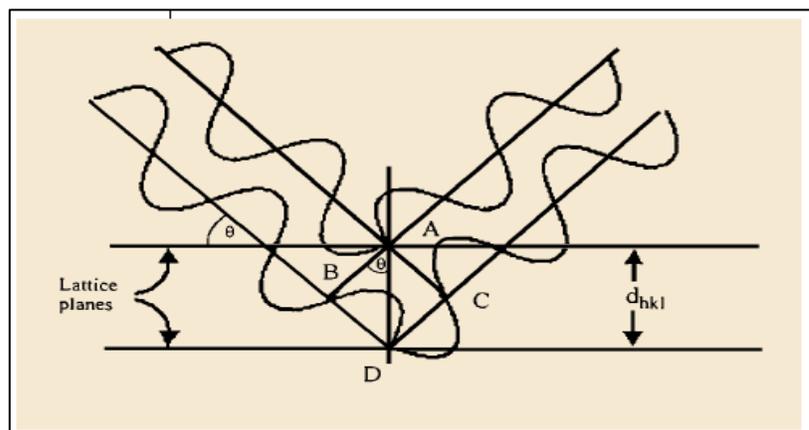


Figura 3.4 Dispersión de la radiación incidente.

Los rayos dispersados estarán completamente en fase si esa diferencia de fase es igual a un número entero  $n$  de longitudes de onda:  $n\lambda = 2d\sin\theta$

Esta relación se conoce como Ley de Bragg y establece la condición esencial que debe cumplirse para que ocurra la difracción;  $n$  se denomina orden de difracción y debe ser un  $n^{\circ}$  entero consistente con  $\sin\theta$  menor o igual que 1.

Aunque físicamente no es un proceso de reflexión los términos planos de reflexión y rayo reflejado se usan con frecuencia para referirse a los planos de difracción o rayos difractados respectivamente.

En resumen, la difracción es esencialmente un fenómeno de dispersión en el que cooperan un gran  $n^{\circ}$  de átomos. Puesto que los átomos están dispuestos periódicamente en una red los rayos dispersados por ellos tienen unas relaciones de fase definidas entre ellos; estas relaciones de fase son tales que en la mayoría de las direcciones se produce una interferencia destructiva pero en unas pocas direcciones se produce una interferencia constructiva y se forman rayos difractados.

La dispersión de  $r$ -x por un átomo es la resultante de la dispersión por cada electrón. El factor de dispersión atómico,  $f$ , de un átomo es por tanto proporcional al  $n^{\circ}$  de  $e^-$  que posee ese átomo. La diferencia de fase en la onda generada por 2  $e^-$  origina una interferencia parcialmente destructiva; el efecto neto de interferencia entre los rayos dispersados por todos los  $e^-$  en el átomo origina un descenso gradual en la intensidad dispersada al aumentar el ángulo  $2\theta$ .

La amplitud dispersada por una celda unidad se obtiene sumando la amplitud dispersada por todos los átomos en la celda unidad, de nuevo la suma debe tener en cuenta la diferencia de fase entre todas las ondas dispersadas.

### 3.3.4 Métodos experimentales de difracción

Todo experimento de difracción de r-x requiere una fuente de r-x, la muestra que se investiga y un detector para recoger los r-x difractados. Dentro de este marco de trabajo general las variables que caracterizan las diferentes técnicas de r-x son:

- 1.- radiación, monocromática o de  $\lambda$  variable.
- 2.- muestra: monocristal, polvo o pieza sólida.
- 3.- detector: contador o película fotográfica.

Las técnicas de difracción más importantes se presentan en la figura 3.5

<u>Longitud de onda</u>	<u>Muestra</u>	<u>Detector</u>	<u>Método</u>
Variable	Pieza sólida	Película	<b>Laue</b>
Fija	Monocristal	Película	<b>Rotación (Oscilación) Weissenberg Precesión</b>
		Contador	
	Polvo	Película	<b>Debye-Scherrer</b>
		Contador	<b>Guinier Difractométrico</b>

Figura 3.5 Técnicas de difracción.

Una muestra policristalina contiene una gran cantidad de pequeños cristales (de tamaño entre  $10^{-7}$  y  $10^{-4}$  m) que adoptan aleatoriamente todas las orientaciones posibles. Algunos planos hkl en algunos de los cristales estarán orientados, por casualidad, al ángulo de Bragg para la reflexión. Todos los planos de un espaciado dhkl dado difractan al mismo ángulo  $2\theta$  respecto al haz incidente de manera que todos los rayos difractados se sitúan en un cono de semiángulo  $2\theta$  respecto al haz

incidente. Para cada conjunto de planos se producirá la difracción a un ángulo de Bragg diferente dando lugar a una serie de conos de difracción.

El difractómetro de polvo usa un detector de r-x, típicamente un contador Geiger o un detector de centelleo. En la geometría Bragg-Brentano la fuente de r-x y el detector se colocan a igual distancia y ángulo de la superficie de la muestra. El ángulo  $2\theta$  se varía de forma continua.(Figura 3.6)

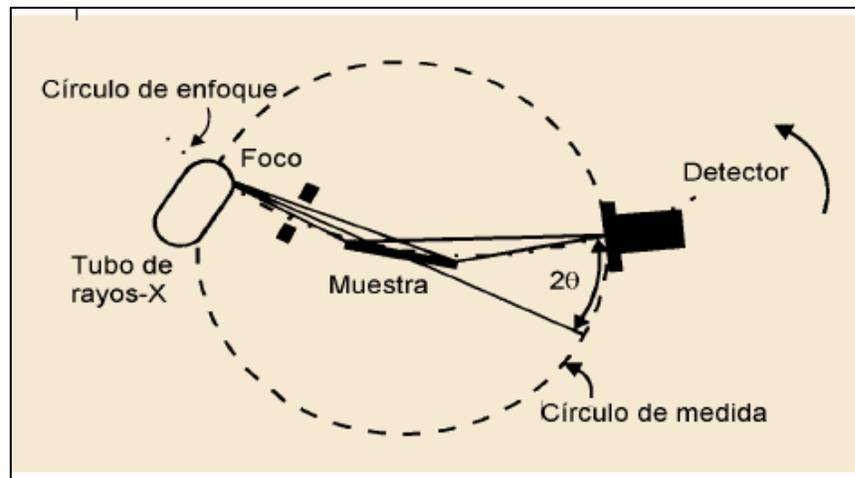


Figura 3.6 Esquema de un difractómetro.

En la figura 3.7 se observa un difractograma típico. Las intensidades se toman como alturas de los picos o para trabajos de más precisión las áreas. Al pico más intenso se le asigna un valor de 100 y el resto se reescala respecto a éste. En la figura 3.8 se muestra un equipo de difracción típico.

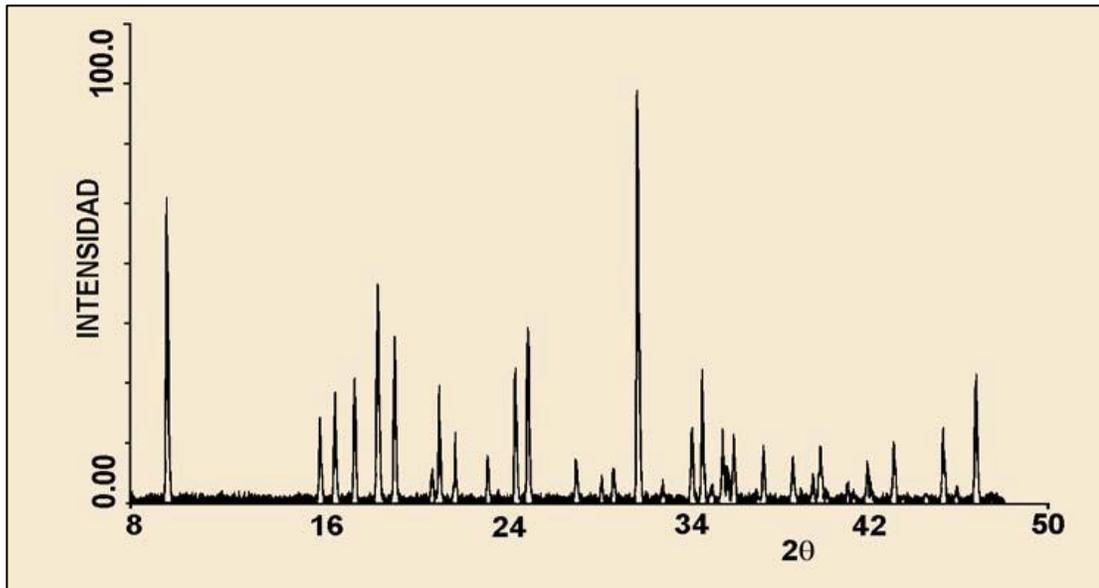


Figura 3.7 Diffractograma típico.

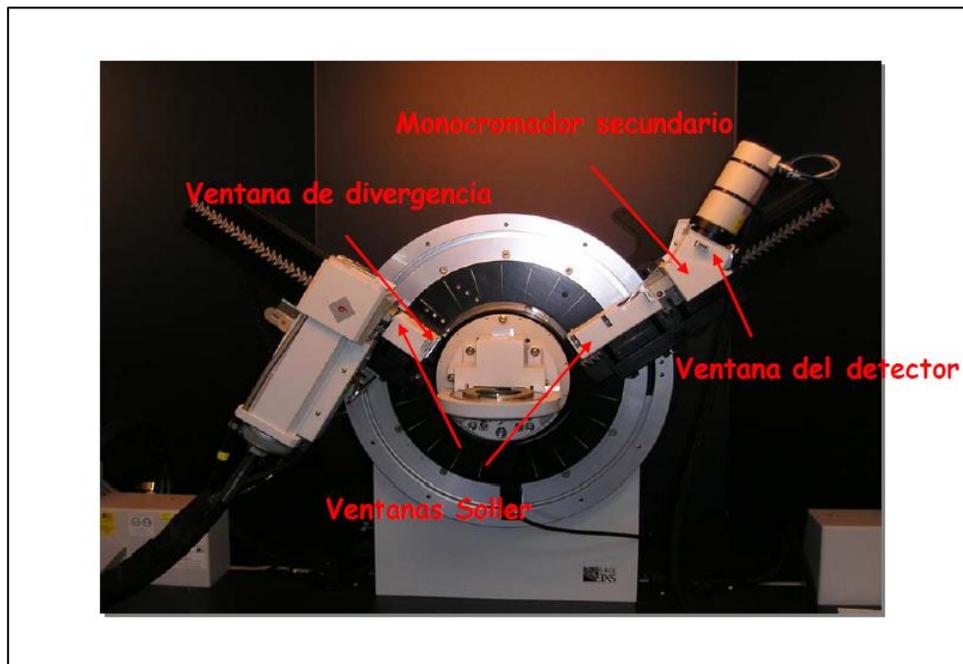


Figura 3.8 Equipo de difracción de rayos X típico.

### 3.4 Fluorescencia de rayos X

La fluorescencia de rayos X (XRF, sigla en inglés) consiste en emisión de rayos X secundarios (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al ser «bombardeado» con rayos X de alta energía o rayos gamma. Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales, vidrios, cerámicos y materiales de construcción, así como en la de geoquímica, ciencia forense y arqueología.

#### 3.4.1 Principios físicos

Al exponer un material a rayos X de longitudes de onda cortas o a rayos gamma, pueden ionizarse los átomos que constituyen el material. La ionización consiste en eyección de uno o más electrones desde el átomo. Puede ocurrir si a este se le expone a radiación cuya energía exceda la del potencial de ionización. (Figura 3.9)

Tanto los rayos X como los gamma pueden ser suficientemente energéticos para desprender electrones fuertemente ligados en los orbitales internos del átomo. Tal remoción electrónica deja en condición inestable a la estructura electrónica del átomo, y los electrones de orbitales más elevados «caen» hacia el orbital más bajo, que luego ocupan los huecos de los electrones internos desprendidos. En esta caída, o transición, se genera energía mediante emisión de un fotón. El valor de la energía de este corpúsculo es igual a la diferencia de energía entre los dos orbitales involucrados. Por lo tanto el material emite radiación cuya energía es característica de los átomos componentes del material. El término fluorescencia se usa para denominar el fenómeno por el cual la absorción de radiación de una energía específica genera reemisión de radiación de una energía diferente, generalmente menor.

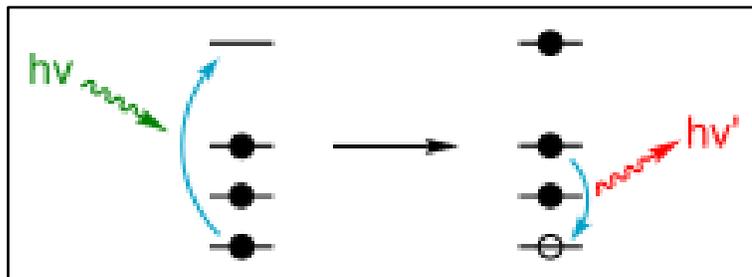


Figura 3.9 Representación esquemática de la física de fluorescencia de rayos X.

### 3.4.2 Radiación característica

Cada elemento posee orbitales electrónicos de energías características. Al producirse la remoción de un electrón de una capa interior por un fotón energético proveniente de una fuente primaria de radiación, un electrón de una capa exterior se desplaza y ocupa el hueco que se había formado.

Existe una cantidad finita de variantes de esta transición, tal como se muestra en la figura 1. A las transiciones principales se les han asignado nombres:

Transición  $L \rightarrow K$ :  $K\alpha$

Transición  $M \rightarrow K$ :  $K\beta$

Transición  $M \rightarrow L$ :  $L\alpha$ , y así sucesivamente.

Cada una de estas transiciones produce un fotón fluorescente dotado de una energía característica que es igual a la diferencia de energía entre los orbitales inicial y final. La longitud de onda de esta radiación fluorescente se puede calcular a partir del postulado de Planck: La radiación fluorescente se puede clasificar mediante análisis de las energías de los fotones (análisis dispersivo de energía) o por separación de las longitudes de onda de la radiación (análisis dispersivo de longitud de onda).

Una vez ordenadas, la intensidad de cada radiación característica se relaciona directamente con la cantidad de cada elemento químico del material de la muestra.

Esto aporta la base de una poderosa técnica utilizada en química analítica. En la figura 2 se muestra la forma típica de las agudas líneas espectrales fluorescentes obtenidas mediante el método dispersivo de energía.

### 3.4.3 Radiación primaria

Para excitar a los átomos es preciso disponer de una fuente de radiación de energía suficiente para eyectar electrones de las capas interiores de los átomos. Por lo general se utilizan generadores de rayos X convencionales, ya que es posible «ajustar» su producto según la necesidad de cada análisis, y porque generalmente su potencia es mayor que la de otros dispositivos o técnicas. (Figura 3.10)

Sin embargo, se pueden utilizar fuentes de rayos gamma que no requieren suministro eléctrico tan elaborado como el de los dispositivos de rayos X, lo cual permite su uso en instrumentos portátiles pequeños. Cuando la fuente de energía es un sincrotrón o los rayos X son enfocados mediante una óptica tal como la de policapilaridad, el haz de rayos X puede ser muy pequeño y muy intenso.

Por lo tanto, es posible obtener información atómica en el intervalo de «submicrómetros»: inferior a micrómetros. Se utilizan generadores de rayos X con un rango de diferencia de potencial de 20 a 60 kV, lo cual permite excitar un rango muy amplio de átomos. El espectro continuo consiste en radiación de frenado (Bremsstrahlung), producida cuando electrones de alta energía que pasan a través del tubo se desaceleran progresivamente por el material del ánodo del tubo (el «blanco» o «muestra»). En la figura 3.11 se muestra un espectro típico.

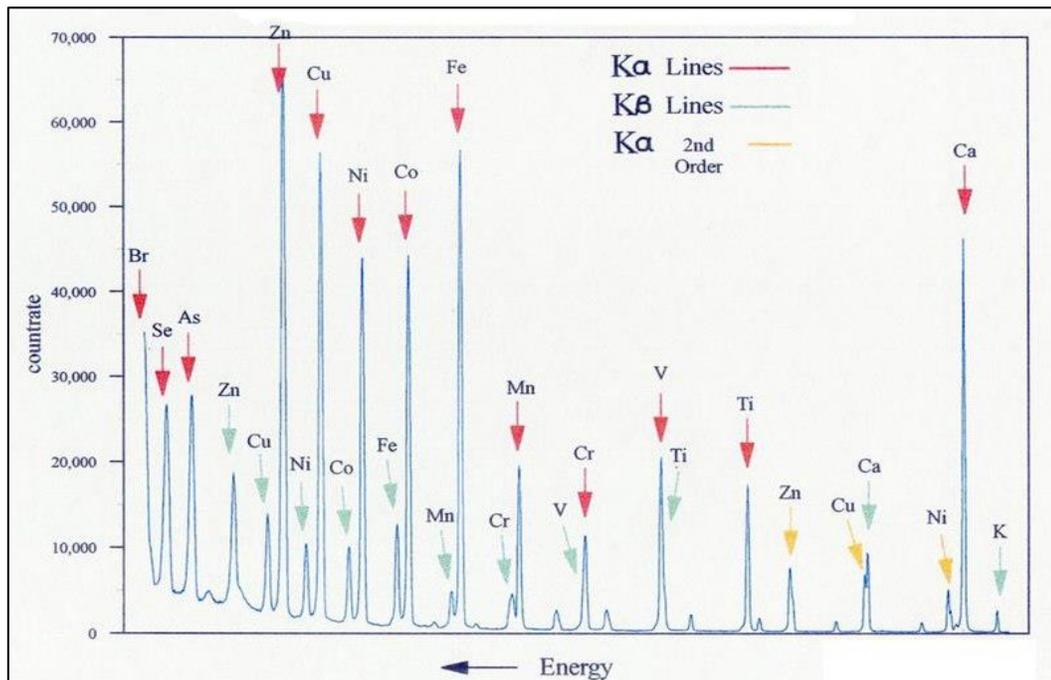


Figura 3.10. Típico espectro de energía dispersiva XRF.

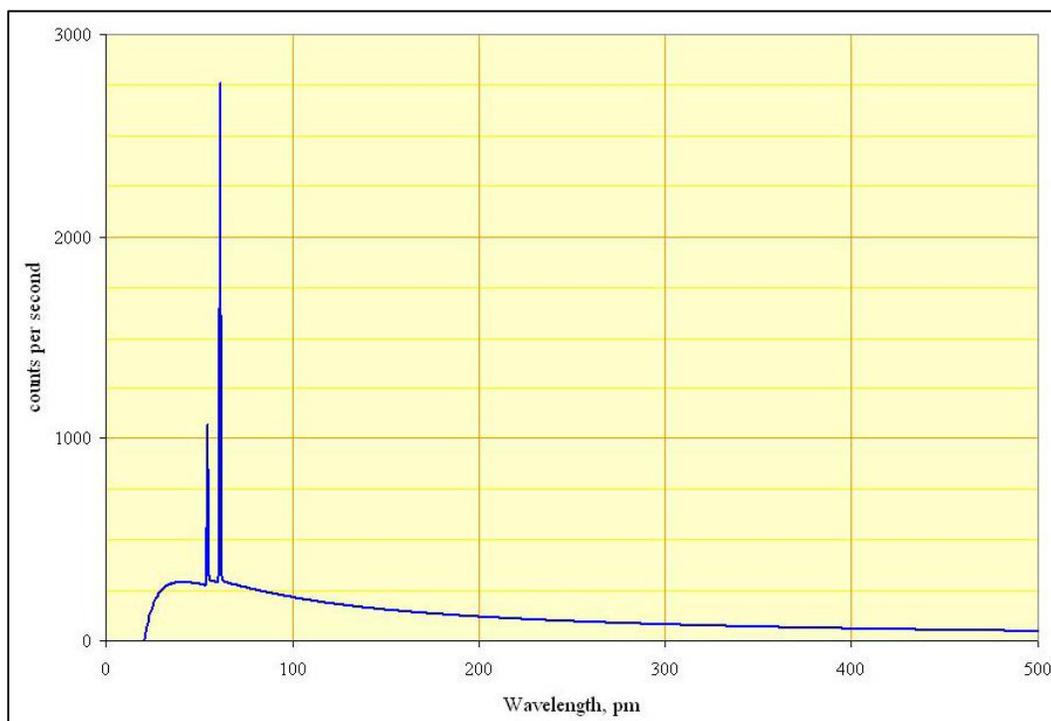


Figura 3.11. Espectro de un blanco de rodio operado a 60 kV, mostrando el espectro continuo y las líneas K.

### 3.4.4 Detección

En análisis por dispersión en energía, la dispersión y la detección se realizan en una sola operación. Se usan contadores proporcionales o varios tipos de detectores de estado sólido: diodos PIN, Si(Li), Ge(Li) y detectores de deriva de silicio (SDD).

Comparten el mismo principio de detección: un fotón de rayos X incidente ioniza cuantiosos átomos del detector. La cantidad de carga generada es proporcional a la energía del fotón incidente. Luego esta carga se colecta y el proceso se repite en el fotón siguiente. Obviamente, la velocidad del detector es crítica. Como todos los portadores de carga medidos, para cuantificar correctamente la energía del fotón debe provenir del mismo fotón (se usa discriminación de longitud pico para eliminar posibles eventos generados por dos fotones de rayos X de incidencia casi simultánea). Luego se construye el espectro dividiendo su energía en compartimientos discretos y contando los pulsos registrados dentro de cada compartimiento de energía.

Los tipos de detectores de espectroscopia de rayos X por dispersión en energía varían en resolución, velocidad y medios de enfriamiento (en los detectores de estado sólido es crítico un bajo número de portadores de carga): los contadores proporcionales con resoluciones de varios cientos de eV (electronvoltios) funcionan en el extremo bajo del desempeño del espectro. Los detectores de diodos PIN operan en el rango intermedio. Los de Si(Li), Ge(Li) y SDD ocupan el extremo alto de la escala de desempeño.

En análisis dispersivo de longitud de onda, la radiación de la sola longitud de onda generada por el monocromador pasa al interior de un fotomultiplicador: detector similar a un contador Geiger, que cuenta fotones individuales a medida que lo atraviesan. El contador es una cámara que contiene un gas ionizado por fotones de rayos X. Un electrodo central se carga a (típicamente) +1 700 V con respecto a las

paredes de la cámara conductora, y cada fotón provoca una cascada semejante a pulsos de corriente a través del campo. La señal se amplifica y transforma dentro de una cuenta digital acumulativa. Luego estas cuentas se procesan para obtener datos analíticos.

### **3.4.5 Intensidad de rayos X**

El proceso de fluorescencia es ineficiente, y la radiación secundaria es mucho más débil que el haz primario. En elementos más ligeros la energía de esta radiación es relativamente baja (longitud de onda larga), de escaso poder de penetración. Si el haz atraviesa algo de aire se atenúa gravemente. Por estos motivos, para análisis de alto desempeño, la trayectoria tubo–muestra–detector se mantiene bajo alto vacío: a una presión residual aproximada de 10 Pa (pascales).

Esto implica que la mayoría de las partes operativas del instrumento se han de ubicar en una cámara de vacío grande. Los problemas de mantener partes móviles en vacío y de introducción y retiro rápidos de la muestra sin pérdida de esa propiedad plantean grandes retos de diseño del dispositivo.

Para aplicaciones menos demandantes o cuando la muestra se daña por el vacío (p. ej. una muestra volátil), se puede substituir una cámara de rayos X de barrido de helio, aunque con alguna pérdida de intensidades de Z bajo ( $Z =$  número atómico).

Un espectrómetro Philips PW1606 de fluorescencia por rayos X con un alimentador automático en el laboratorio de control de calidad de una fábrica de cemento (Figura 3.12)



Figura 3.12. Típico espectro de energía dispersiva XRF.

### 3.5 Caracterización de la muestra

Una muestra debe ser representativa si va a ser usada para estimar las características de la población. Los métodos para seleccionar una muestra representativa son numerosos, dependiendo del tiempo, y recursos disponibles para preparar dicha muestra y la naturaleza de los elementos individuales de la población. Se enumeran los siguientes pasos para la preparación de muestras:

- 1.-Identificación de la muestra tanto de mineral fino como del mineral grueso.
- 2.- Secar la muestra si es necesario, para descripción de la misma, disgregarla en el caso de mineral fino.
- 3.- Homogeneizar las muestras de 4 a 6 veces, para ello se debe verter las bandejas recolectoras en la parte superior del cuarteador y accionar la palanca,

realizando el trabajo en forma rápida y segura sin derramar mineral, para evitar pérdida de humedad.

4.- Vaciar la muestra que está contenida en los envases herméticos o bolsas plásticas resistentes sobre el cuarteador limpio de residuos de otras muestras. (En el caso de mineral fino de 10 a 15 Kg. en el caso de mineral grueso de 20 a 30 Kg).

5.- Dividir la muestra para análisis físico en dos porciones: una para análisis físico y la otra porción para testigo de la muestra.

6.- Identificar la muestra para análisis físico y químico según procedimiento 908-P-11 "Manejo de las Muestras de Ensayo".

7.- Guardar la muestra testigo en bolsas plásticas con la identificación y sellarla (para mantener condiciones originales), por un período establecido en el procedimiento 908-P-11.

8.- Pulverizar una vez seca la muestra para análisis químico en el pulverizador de Anillos o de Discos, hasta obtener una reducción de + 149 micrones (0,149 mm).

9.- Los métodos de selección de muestras pueden ser clasificados de acuerdo al número de muestras tomadas de una población dada para un estudio y la manera usada en seleccionar los elementos incluidos en la muestra.

10.- El muestreo consiste en establecer condiciones en tomar muestras de una población dada para el propósito de inferencia estadística. Puesto que solamente una muestra es tomada, el tamaño de muestra debe ser lo suficientemente grandes para extraer una conclusión.

### 3.5.1 Análisis granulométrico

Consiste en estudiar la composición granular de una mezcla de partículas, con el fin específico de describir su tamaño y superficie, las cuales juegan un papel importante en el área de mineralurgia, definiéndose como la distribución del tamaño de partículas sólidas en una serie de tamices normalizados de tamaño decreciente. El resultado de este proceso se da frecuentemente en base acumulativa, es decir, por cada malla se da el porcentaje total del material que atraviesa o queda retenido en dicha malla. Para la estimación del tamaño promedio de las partículas de una muestra mineral se emplean muchos métodos, entre los que destacan: tamaño lineal, diámetro equivalente, diámetro de stokes y diámetro de tamiz.

$$\%Retenido = \frac{W \text{ material retenido en tamiz}}{W \text{ total de la muestra}} * 100 \quad (3.41)$$

$$\%Pasante \text{ acumulado} = 100 - \%Retenido \quad (3.42)$$

Dónde:

W= peso

#### 3.5.1.1 Malla

Es el número de aberturas por unidad lineal, es decir, es la unidad de medida que representa el número de aberturas por pulgadas lineal, y se utiliza para la identificación de los tamices. En el rango de las partículas de tamaño entre de 1 a 80 micrones, la determinación de un tamaño se realiza mediante tamizaje, que es sometimiento de las partículas a la acción de una serie de tamices. Aquellas partículas que pasan por un tamiz X1 y quedan retenidas en un tamiz X2 se les denomina X1/X2 o simplemente X2 se define como el promedio geométrico entre las aberturas

de los tamices X1 y X2. Dependiendo de la relación entre mallas se estandarizan los tamices, por ejemplo la secuencia de tamices estandarizado.

### **3.5.1.2 Tamiz**

Es una hoja mallada con agujeros de tamaño uniforme para separar materiales granulentos. Un tamiz de laboratorio consiste en una superficie de tamizado, que es normalmente de alambre tejido, formando aberturas grandes con placas perforadas, y aberturas muy pequeñas (20 y 90  $\mu\text{m}$ , tolerancia de más o menos 2  $\mu\text{m}$ , utilizando metal electro formado. La superficie del tamizado (tela) va montada en un armazón cilíndrico que permite los tamices uno sobre otro, normalmente en serie con las aberturas sucesivamente más pequeñas de arriba hacia abajo. Se emplean además una tapa en la parte superior y un recipiente en el fondo para así completar la serie vertical de tamices conocidas como batería.

### **3.5.1.3 Serie de tamices**

Es un conjunto de tamices ensamblados de mayor a menor abertura, y se basan en las siguientes normas: Sistema Francés AFNOR, Sistema Alemán DIN-4188. Existen varias series de tamices estandarizados, entre las cuales se pueden citar las siguientes:

### **3.5.1.4 Serie Tyler**

Es una de las series de tamices de secuencia geométrica. Está basada en una abertura cuadrada de 0,0029 pulgadas y diámetro de alambre de 0,0021 pulgadas. El diámetro del alambre más la abertura es igual a 0,0050 pulgadas, de modo que la tela tiene tantas aberturas por pulgada lineal.

### **3.5.1.5 Tamizado**

Es la separación de partículas de acuerdo con su tamaño. Estas separaciones se logran utilizando tamices, que actúen como calibrador múltiple de pasa – no – pasa, esta es utilizada como técnica de medición a escala de laboratorio, para determinar las cantidades relativas de los distintos tamaños en la muestra.

### **3.5.1.6 Tamizado manual**

Consiste en cribado sencillo haciendo incidir el material por un tamiz o malla rudimentaria de abertura específica con ayuda de brochas, sin necesidad de agitadores mecánicos. Este proceso se realiza cuando se requiere de un mineral bajo cierta especificación de tamaño para una prueba determinada. Este proceso también es utilizado para eliminar residuos de mineral que poseen mayor tamaño que el mismo es recomendable realizarlo con pequeña porciones de mineral.

### **3.5.1.7 Tamizado mecánico**

Es el realizado con ayuda de sacudidores mecánicos, se realiza colocando una batería o serie de tamices en una maquina encargada de realizar movimientos que contribuyen a todas las partículas en análisis tengan la misma probabilidad de pasar por las mallas. Los Sacudidores Mecánicos son máquinas que transmiten un movimiento circular consistente y un movimiento vertical de oscilación a las partículas, dichos movimientos no solo exponen repetidamente a las partículas en las aberturas, sino también se minimiza la obstrucción de las aberturas por las partículas ligeramente más grandes que estas. Siendo uno de los más conocidos el Ro-tap. (Figura 3.13).

Los resultados de un análisis granulométrico también se pueden representar en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas.

Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

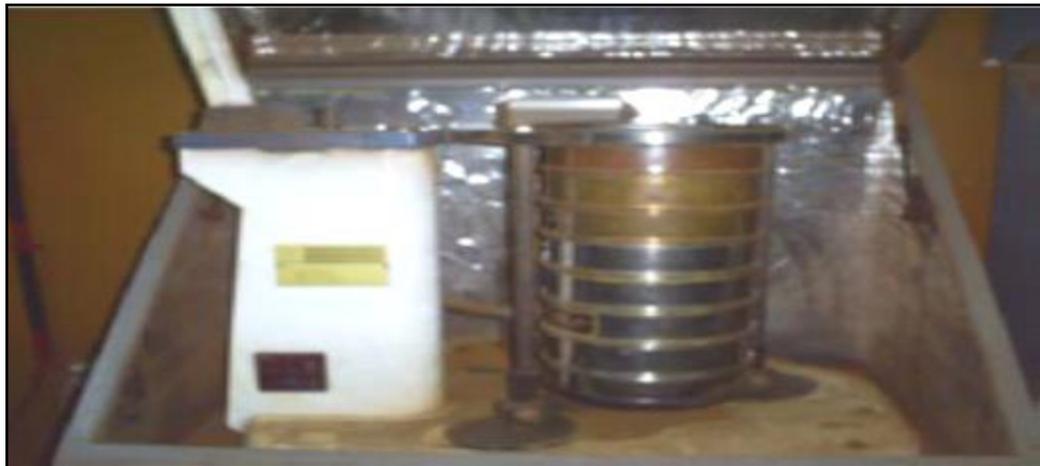


Figura 3.13. Equipo Ro-Tap. Laboratorio de procesos Ingeomin.

### 3.6 Análisis químico

La parte de la química tiene como finalidad el estudio de la composición química de un material o muestra, mediante diferentes métodos. Se divide en química analítica cuantitativa y química analítica cualitativa.

Los métodos que emplea el análisis químico pueden ser métodos químicos (se basan en reacciones químicas) o clásicos:

- 1.- Análisis volumétrico.
- 2.- Análisis gravimétrico.

### **3.7 Sedimentación de una partícula**

La sedimentación se aplica a las operaciones en las que una suspensión es desdoblada en un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

Describe el asentamiento gravitatorio de partículas sólidas a través de un líquido, usualmente agua. Los términos “clarificación” y “espesamiento” son aplicados a menudo a la misma operación. Sin embargo la clarificación implica un interés especial en la calidad del líquido clarificado y en el espesamiento el interés se centra en la lechada concentrada, en la parte inferior del flujo.

Las partículas se asentarán en una suspensión en una de cuatro formas diferentes, dependiendo de la concentración de la suspensión y las propiedades aglutinantes de las partículas.

La sedimentación de una partícula es ayudada por la presencia de otras partículas asentantes y es una función solo de las propiedades del fluido y las partículas en estudio.

La velocidad de asentamiento en un fluido en reposo tiende a acelerarse hasta tanto la resistencia fraccional o arrastre del fluido que actúa de inmediato, iguales a la fuerza de impulsión que actúa sobre la partícula. Ello provoca, un desplazamiento de esa partícula a velocidad uniforme.

Las etapas de sedimentación discontinua, a las fuerzas actuantes las partículas alcanzan su velocidad terminal bajo condiciones de sedimentación retardada y descienden a través del fluido envuelto por la capa límite cuyas características y dimensiones dependiendo del régimen de flujo a que están sometidas. (Figura 3.14).

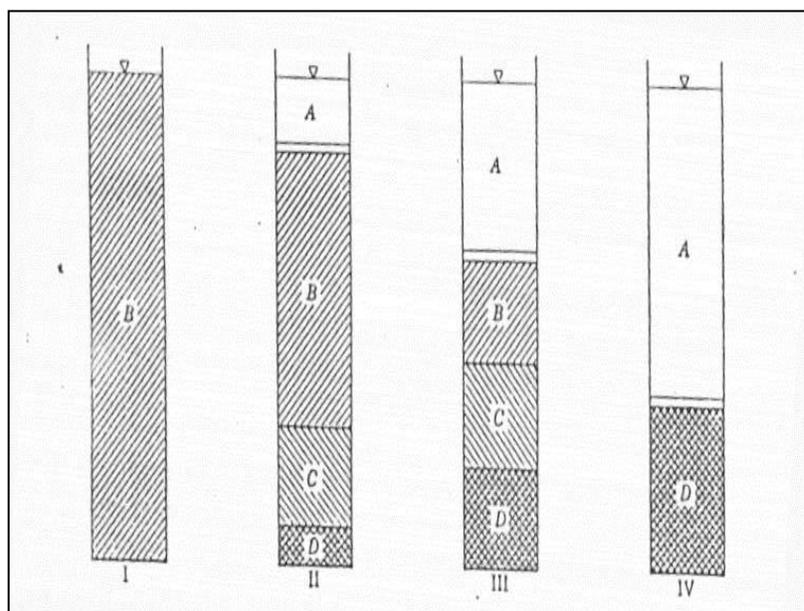


Figura 3.14 Etapas de Sedimentación. ([www.frm.utn.edu.ar/trat](http://www.frm.utn.edu.ar/trat))

A: zona clarificada, B: zona de “concentración uniforme” en donde la concentración es uniforme y es aproximadamente igual a la inicial, C: zona de transición parte inferior se forman unos canales longitudinales por donde pasa el líquido expulsado en la zona de compresión, la velocidad de sedimentación resulta doblemente retardada, D: zona de compresión: donde se compactan las partículas y su posición se modificará algo con el tiempo como resultado de la expulsión del líquido, aquí el proceso de sedimentación ha terminado. E: zona comprimida: su concentración es uniforme, las partículas han tomado una ubicación definitiva que no se modifica con el tiempo, no existe proceso de sedimentación.

### 3.8 Lixiviación de oro

El tratamiento metalúrgico de las menas de oro está basado principalmente en las propiedades inusuales del oro nativo y sus posibles aleaciones con plata (electrum). Esto es por su alto peso específico comparado con los de la ganga asociada y por otro lado por su solubilidad en soluciones alcalinas diluidas de cianuro de sodio o potasio. La separación gravitacional y la cianuración de menas trituradas o molidas constituyen los métodos más comunes que se ve en el siguiente diagrama de flujo. (Figura 3.15).

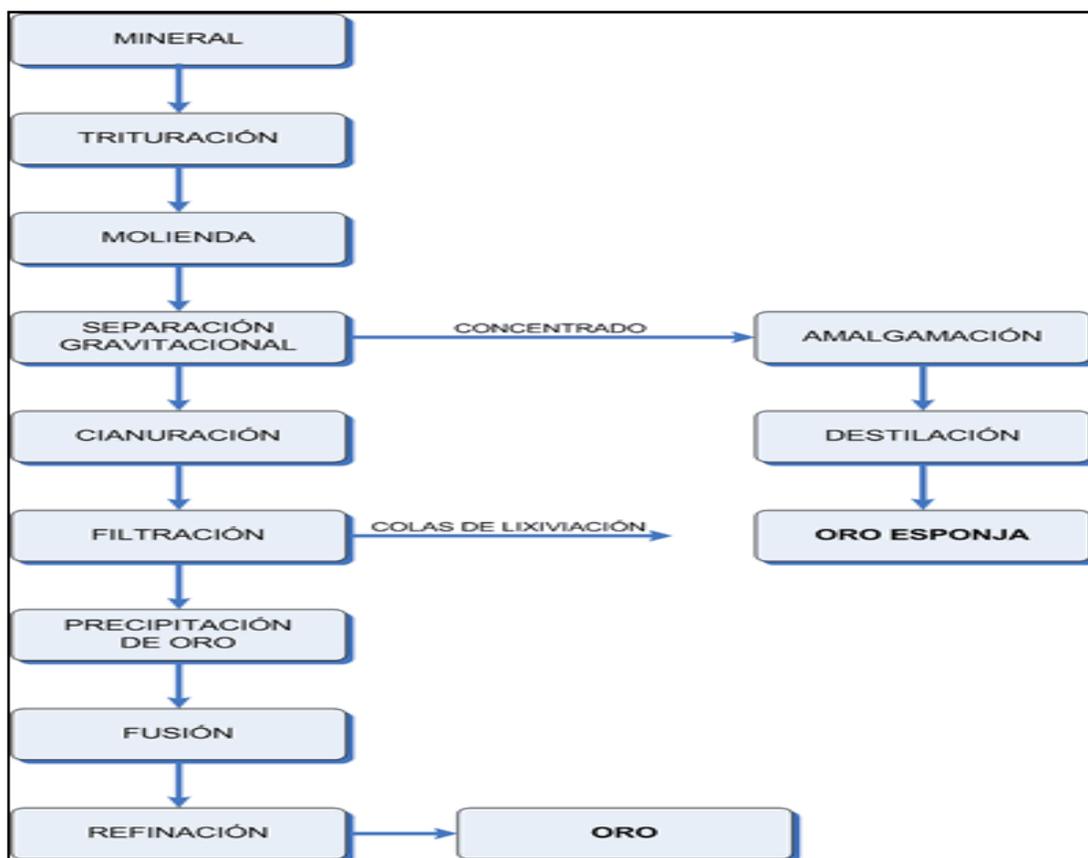
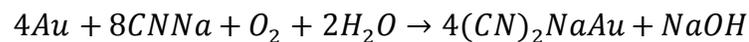


Figura 3.15 Separación gravitacional y cianuración de menas trituradas o molidas. (Cárdenas R, 1994)

### 3.8.1 Cianuración

La cianuración es un proceso que se aplica al tratamiento de las menas de oro, desde hace muchos años.

Se basa en que el oro nativo, plata o distintas aleaciones entre estos, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas diluidas, regidas por la siguiente ecuación:



Esta fórmula es conocida como la ecuación de ELSNER. Las principales variantes de lixiviación son:

- 1.- La lixiviación por agitación.
- 2.- La lixiviación por percolación.

### 3.8.2 Lixiviación por agitación

La mena molida a tamaños menores a las 150 mallas (aproximadamente tamaños menores a los 105 micrones), es agitada con solución cianurada por tiempos que van desde las 6 hasta las 72 horas. La concentración de la solución cianurada está en el rango de 200 a 800 ppm (partes por millón equivale a gr de cianuro por metro cubico de solución).

El pH debe ser alto, entre 10 y 11, para evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis (generación de gas cianhídrico, CNH, altamente venenoso) y para neutralizar los componentes ácidos de la mena.

Para evitarlo anterior se usa cal, para mantener el pH alcalino. Se adiciona lo necesario para mantener la concentración de Oca libre en la solución por encima 100 gr/m<sup>3</sup>.

La velocidad de disolución del oro nativo depende entre otros factores, del tamaño de la partícula, grado de liberación, contenido de plata.

Es la práctica común, remover el oro grueso (partículas de tamaño mayores a 150 mallas o 0,105 mm), tanto como sea posible, mediante concentración gravitacional antes de la cianuración, de manera de evitar la segregación y pérdida del mismo en varias partes del circuito.

Es de suma importancia, aparte de determinar la naturaleza de los minerales de oro, poder identificar la mineralogía de la ganga, ya que esta puede determinar la efectividad o no de la cianuración. Esto porque algunos minerales de la ganga pueden reaccionar con el cianuro o con el oxígeno, restando de esa manera la presencia de reactivos necesaria para llevar adelante la solubilización del oro.

Se realizan ensayos a escala laboratorio, con el objeto de determinar las condiciones óptimas para el tratamiento económico y eficiente de la MENA. Las variables a determinar son las siguientes:

- 1.- Consumo de cianuro por tonelada de mineral tratado.
- 2.- Consumo de cal por tonelada de mineral tratado.
- 3.- Optimo grado de molienda.
- 4.- Tiempo de contacto, ya sea en la lixiviación por agitación como en la lixiviación por percolación.
- 5.- Concentración más conveniente del cianuro en la solución.
- 6.- Dilución más adecuada de la pulpa.

### **3.8.3 Lixiviación por percolación Lixiviación en pilas**

La cianuración en pilas es un método que ya se está aplicando con regularidad en varios yacimientos a nivel mundial, para procesar minerales de oro y plata de baja ley, se aplica también en yacimientos del tipo hidrotermal en la zona oxidada, es decir vetas de alta pero de volumen pequeño, generalmente explotados por la pequeña minería.

La cianuración en pilas es una lixiviación por percolación del mineral acopiado sobre una superficie preparada para coleccionar las soluciones.

Este método es bastante antiguo y se lo utilizaba para lixiviar minerales de cobre y uranio. Si bien este método fue concebido para explotar grandes depósitos de oro de baja ley, se lo usa también para depósitos de pequeño volumen y de alta ley, debido a sus bajos costos de capital y operación.

Su flexibilidad operativa permite abarcar tratamientos que pueden durar semanas, meses y hasta años dependiendo del tamaño del mineral con que se este trabajando.

El mineral fracturado se coloca sobre un piso impermeable formando una pila de una cierta altura sobre la que se esparce una solución de cianuro diluida, la que percola a través del lecho disolviendo los metales preciosos finamente diseminados en la mena.

La solución enriquecida de oro y plata se colecta sobre el piso impermeable, dispuesto en forma ligeramente inclinada que hace que fluya hacia la pileta de almacenamiento, desde ahí se alimenta el circuito de recuperación.

Este circuito de recuperación de oro y plata, desde las soluciones cianuradas diluidas las que contienen los metales nobles en solución, puede ser de dos tipos preferentemente, a saber:

- 1.- Precipitación con Carbón activado.
- 2.- Cementación de oro con Zinc.

### **3.9 Técnicas de muestreo**

Una muestra debe ser representativa si va a ser usada para estimar las características de la población. Los métodos para seleccionar una muestra representativa son numerosos, dependiendo del tiempo, dinero y habilidad disponibles para tomar una muestra y la naturaleza de los elementos individuales de la población. Por lo tanto, se requiere un gran volumen para incluir todos los tipos de métodos de muestreo. Los métodos de selección de muestras pueden ser clasificados de acuerdo a:

- 1.- El número de muestras tomadas de una población dada para un estudio.
- 2.- La manera usada en seleccionar los elementos incluidos en la muestra.
- 3.- Los métodos de muestreo basados en los dos tipos de clasificaciones son expuestos en seguida.

#### **3.9.1 Métodos de muestreo clasificados de acuerdo con el número de muestras tomadas de una población**

Bajo esta clasificación, hay tres tipos comunes de métodos de muestreo. Estos son, muestreo simple, doble y múltiple.

1.- Muestreo simple. Este tipo de muestreo toma solamente una muestra de una población dada para el propósito de inferencia estadística. Puesto que solamente una muestra es tomada, el tamaño de muestra debe ser lo suficientemente grande para extraer una conclusión. Una muestra grande muchas veces cuesta demasiado dinero y tiempo.

2.- Muestreo doble. Bajo este tipo de muestreo, cuando el resultado del estudio de la primera muestra no es decisivo, una segunda muestra es extraída de la misma población. Las dos muestras son combinadas para analizar los resultados. Este método permite a una persona principiar con una muestra relativamente pequeña para ahorrar costos y tiempo. Si la primera muestra arroja un resultado definitivo, la segunda muestra puede no necesitarse. Por ejemplo, al probar la calidad de un lote de productos manufacturados, si la primera muestra arroja una calidad muy alta, el lote es aceptado; si arroja una calidad muy pobre, el lote es rechazado. Solamente si la primera muestra arroja una calidad intermedia, será requerirá la segunda muestra. Un plan típico de muestreo doble puede ser obtenido de la Military Standard Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes, publicada por el Departamento de Defensa y también usado por muchas industrias privadas. Al probar la calidad de un lote consistente de 3,000 unidades manufacturadas, cuando el número de defectos encontrados en la primera muestra de 80 unidades es de 5 o menos, el lote es considerado bueno y es aceptado; si el número de defectos es 9 o más, el lote es considerado pobre y es rechazado; si el número está entre 5 y 9, no puede llegarse a una decisión y una segunda muestra de 80 unidades es extraída del lote. Si el número de defectos en las dos muestras combinadas (incluyendo  $80 + 80 = 160$  unidades) es 12 o menos, el lote es aceptado si el número combinado es 13 o más, el lote es rechazado.

3.- Muestreo múltiple. El procedimiento bajo este método es similar al expuesto en el muestreo doble, excepto que el número de muestras sucesivas requerido para

llegar a una decisión es más de dos muestras. Métodos de muestreo clasificados de acuerdo con las maneras usadas en seleccionar los elementos de una muestra. Los elementos de una muestra pueden ser seleccionados de dos maneras diferentes: a) Basados en el juicio de una persona, b) Selección aleatoria (al azar).

4.- Muestreo de juicio. Una muestra es llamada muestra de juicio cuando sus elementos son seleccionados mediante juicio personal. La persona que selecciona los elementos de la muestra, usualmente es un experto en la medida dada. Una muestra de juicio es llamada una muestra probabilística, puesto que este método está basado en los puntos de vista subjetivos de una persona y la teoría de la probabilidad no puede ser empleada para medir el error de muestreo, Las principales ventajas de una muestra de juicio son la facilidad de obtenerla y que el costo usualmente es bajo.

5.- Muestreo Aleatorio. Una muestra se dice que es extraída al azar cuando la manera de selección es tal, que cada elemento de la población tiene igual oportunidad de ser seleccionado. Una muestra aleatoria es también llamada una muestra probabilística son generalmente preferidas por los estadísticos porque la selección de las muestras es objetiva y el error muestral puede ser medido en términos de probabilidad bajo la curva normal. Los tipos comunes de muestreo aleatorio son el muestreo aleatorio simple, muestreo sistemático, muestreo estratificado y muestreo de conglomerados.

6.- Muestreo aleatorio simple. Una muestra aleatoria simple es seleccionada de tal manera que cada muestra posible del mismo tamaño tiene igual probabilidad de ser seleccionada de la población. Para obtener una muestra aleatoria simple, cada elemento en la población tenga la misma probabilidad de ser seleccionado, el plan de muestreo puede no conducir a una muestra aleatoria simple. Por conveniencia, este método puede ser reemplazado por una tabla de números aleatorios. Cuando una población es infinita, es obvio que la tarea de numerar cada elemento de la población

es infinita, es obvio que la tarea de numerar cada elemento de la población es imposible. Por lo tanto, ciertas modificaciones del muestreo aleatorio simple son necesarias. Los tipos más comunes de muestreo aleatorio modificado son sistemáticos, estratificados y de conglomerados.

7.- Muestreo sistemático. Una muestra sistemática es obtenida cuando los elementos son seleccionados en una manera ordenada. La manera de la selección depende del número de elementos incluidos en la población y el tamaño de la muestra. El número de elementos en la población es, primero, dividido por el número deseado en la muestra. El cociente indicará si cada décimo, cada onceavo, o cada centésimo elemento en la población va a ser seleccionado. El primer elemento de la muestra es seleccionado al azar. Por lo tanto, una muestra sistemática puede dar la misma precisión de estimación acerca de la población, que una muestra aleatoria simple cuando los elementos en la población están ordenados al azar.

8.- Muestreo Estratificado. Para obtener una muestra aleatoria estratificada, primero se divide la población en grupos, llamados estratos, que son más homogéneos que la población como un todo. Los elementos de la muestra son entonces seleccionados al azar o por un método sistemático de cada estrato. Las estimaciones de la población, basadas en la muestra estratificada, usualmente tienen mayor precisión (o menor error muestral) que si la población entera muestreada mediante muestreo aleatorio simple. El número de elementos seleccionado de cada estrato puede ser proporcional o desproporcional al tamaño del estrato en relación con la población.

9.- Muestreo de conglomerados. Para obtener una muestra de conglomerados, primero dividir la población en grupos que son convenientes para el muestreo. En seguida, seleccionar una porción de los grupos al azar o por un método sistemático. Finalmente, tomar todos los elementos o parte de ellos al azar o por un método

sistemático de los grupos seleccionados para obtener una muestra. Bajo este método, aunque no todos los grupos son muestreados, cada grupo tiene una igual probabilidad de ser seleccionado. Por lo tanto la muestra es aleatoria. Una muestra de conglomerados, usualmente produce un mayor error muestral (por lo tanto, da menor precisión de las estimaciones acerca de la población) que una muestra aleatoria simple del mismo tamaño. Los elementos individuales dentro de cada "conglomerado" tienden usualmente a ser iguales. Por ejemplo la gente rica puede vivir en el mismo barrio, mientras que la gente pobre puede vivir en otra área. No todas las áreas son muestreadas en un muestreo de áreas. La variación entre los elementos obtenidos de las áreas seleccionadas es, por lo tanto, frecuentemente mayor que la obtenida si la población entera es muestreada mediante muestreo aleatorio simple. Esta debilidad puede ser reducida cuando se incrementa el tamaño de la muestra de área.

### **3.10 Recuperación metalúrgica**

Es el porcentaje de metal contenido en la MENA que es recuperado en el concentrado, también se habla de recuperación de metal en las colas o en otros.

### **3.11 Grado de un concentrado**

El grado de un concentrado es expresado en términos del contenido del mineral de valor. Por ejemplo en menas metálicas el grado es expresado como el porcentaje del elemento metal %Cu, %Fe, %Mn.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La investigación realizada, consistió en caracterizar física, química y mineralógicamente, las arenas de relaves a través de métodos de ensayos físicos y químicos; con el objetivo de establecer posibles parámetros de recuperación de oro y asociados.

#### **4.1 Nivel de investigación**

La investigación es de tipo descriptiva, la cual consiste en la caracterización de un hecho, o fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. El investigador describe situaciones y eventos. Los estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Arias, F. 2006). Para el desarrollo de la investigación se utilizó el tipo descriptivo ya que la muestra será sometida a ensayos de caracterización mineralógica, geoquímica y metalúrgica.

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

La Investigación Experimental consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que producen (variable dependiente). Se diferencia de la investigación de campo por la manipulación y control de variables. El diseño de la investigación que se realizará es de tipo experimental, ya que las muestras van a ser sometidas a ensayos de laboratorio.

### **. 4.3 Población**

Se trata de tres (03) depósitos de arenas de relave en la parcela IA-11, de extensión no conocida, se estima de unos 300 metros por 200 metros, y de profundidad desconocida.

### **4.4 Muestra**

De estos depósitos se extrajeron una cantidad de una (01) muestras de material de 30 kilogramos por cada depósito, clasificados de la siguiente manera: P1, P2 y P3, reportando un total de 90 Kg de muestra aproximadamente. El método aplicado fue el de muestreo de juicio. Las muestras P3 corresponden al primer proceso de extracción y las muestras P1 y P2 a los sedimentos de decantación del proceso anterior.

### **4.5 Flujograma de la metodología**

Para la caracterización de las arenas de relave, se establecieron una serie de actividades enfocadas a la consecución de los objetivos planteados. En la figura 4.1 se presenta el flujograma de trabajo.

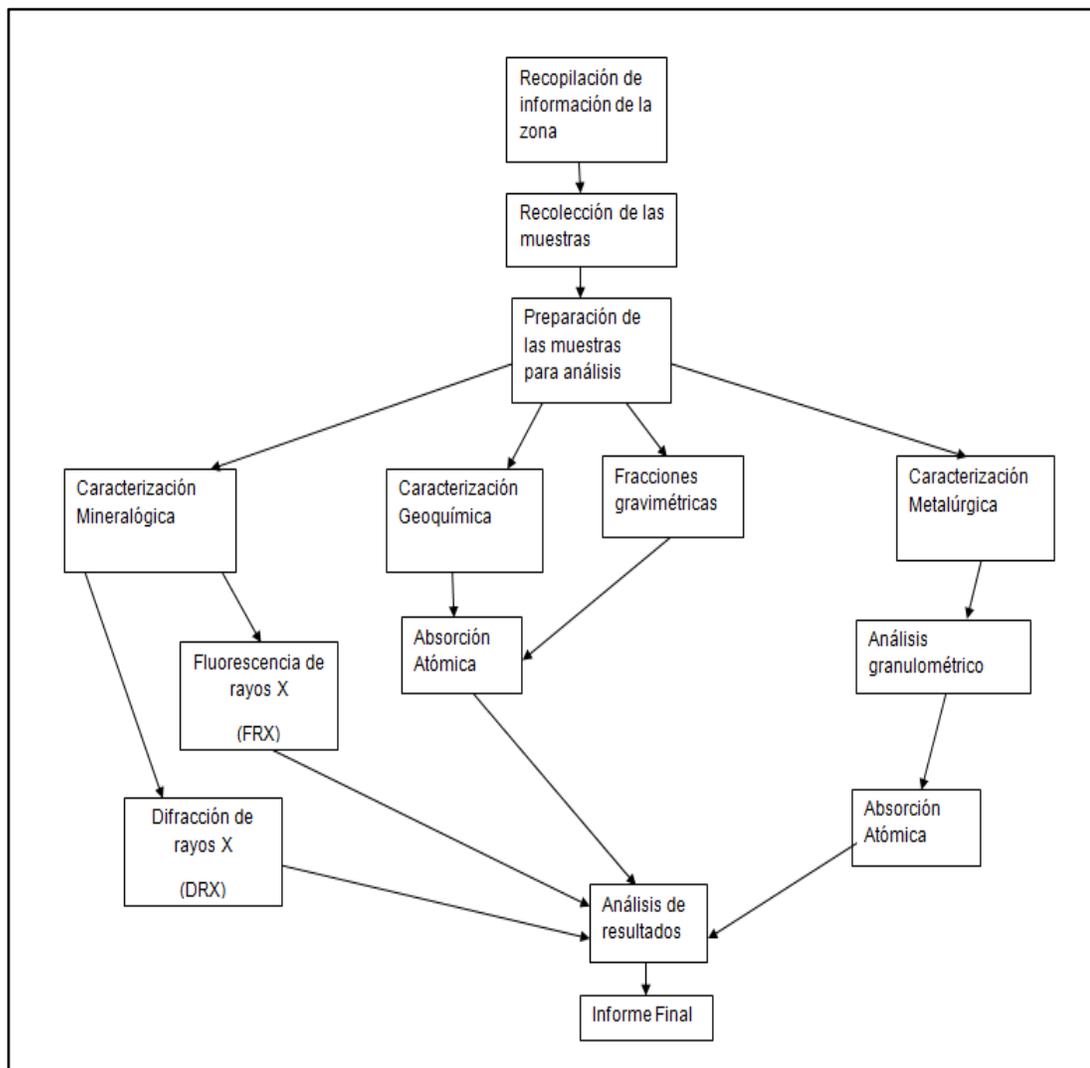


Figura 4.1 Flujograma de las actividades de la investigación.

#### 4.5.1 Recopilación de información de la zona

Se recopiló información del área de estudio, a través de mapas, informes de estudios anteriores. Posteriormente se trasladó a la zona de estudio en Las Clarita en el municipio Sifontes del Estado Bolívar. Al llegar obtuvimos información de los mineros, trabajadores y propietarios; mediante entrevista directa, proporcionándonos datos referentes al proceso de producción y recuperación del mineral aurífero, como

por ejemplo cantidad de material procesado, peso de los sacos, modelo de molinos y recuperación de oro con plancha amalgamada.

#### **4.5.2 Recolección de muestras**

Para la recolección de muestras se procedió a inspeccionar los depósitos de arenas, con el propósito de seleccionar las zonas que estuviesen más solidificadas para poder tomar la muestra con seguridad. Posteriormente se ubicaron los puntos de muestreo a una distancia aproximadamente 3 metros hacia adentro, desde la periferia del depósito y en dirección de la escorrentía de deposición de la arenas de relaves. Los puntos se codificaron como P1, P2 y P3. Luego se procedió a recolectar las muestras con la utilización de una toma muestras manual, hasta una profundidad aproximada de 2 metros. En cada depósito se recolectó una muestra (P1, P2 P3) con un peso aproximado de 30 kilogramos cada una las cuales fueron guardadas en bolsas plásticas con su respectiva identificación. De acuerdo con los propietario de la parcela, se estima que la profundidad de los depósitos honda los 5 metros aproximadamente.

El procedimiento de recolección consistió en hacer girar el toma muestra manual en el sentido de las agujas del reloj, aplicando una fuerza física vertical hacia abajo; para que cada 30 centímetros del hoyo se retire la muestra de arena de la capsula. (Figura 4.2)



Figura 4.2. Recolección de las muestras.

#### 4.5.3 Preparación de las muestras para análisis

Se procedió a preparar las muestras, de manera de trabajar con una muestra representativa de cada depósito. El procedimiento se describe a continuación:

1.- Primeramente se secaron las muestras colocándolas al sol.

2.- Se tomaron las muestras P1, P2 y P3, se procedió a mezclarla y homogeneizarla. Luego se cuartearon, hasta obtener dos (2) muestras representativas de aproximadamente 2 Kg cada una de cada depósito.

3.- De estas tres muestras, se tomaron por incremento submuestras las cuales totalizaron 50gr cada una destinada para el análisis químico de muestra cabeza con AAS y 50gr para análisis mineralógico con DRX y FRX cada una.

4.- Se tomó una muestra adicional de 47gr para realizar el análisis de separación de fracciones gravimétricas. Para ello se utilizó un cilindro graduado de 1000 ml.

#### **4.5.4 Caracterización mineralógica**

En esta actividad se analizaron tres muestras (P1, P2, P3) con el objeto de determinar los minerales presentes y sus fases, así como también el porcentaje composicional en las muestras.

Se utilizó un equipo Difractómetro de rayos X, marca Phillips, modelo PW3710 con la aplicación del software “Pert HighScore de Panalytical” bajo la norma de procedimiento Método RIR normalizado (F.H. CHUNG, Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns, I. Matrix-flushing method of quantitative multicomponent analysis, J.Appl.Cryst (1974a), 7, 513 – 519).

Por otro lado para la química composicional fue utilizado un equipo de fluorescencia de rayos X, marca Philips, modelo Minipal PW4025.

Estos ensayos se realizaron en SERVOLAB OVERSEAS INC, Puerto Ordaz, Edo. Bolívar. (Anexo 1)

#### **4.5.5 Caracterización geoquímica**

En esta etapa se procedió a determinar los tenores de las muestras cabeza, las fracciones del análisis granulométrico y las muestras de las fracciones gravimétricas. Los elementos determinados fueron los principales (Au, Ag, SiO<sub>2</sub>), y algunos elementos importantes que pudieran entorpecer los procesos de recuperación (Ti, Te, As, Sb, Pb). Estos ensayos se realizaron en SERVOLAB OVERSEAS INC, Puerto Ordaz, Edo. Bolívar. (Anexo 1)

El equipo usado fue un Espectrómetro de Absorción Atómica novAA 800 con corrección de fondo de deuterio y puede utilizarse para la determinación secuencial

de trazas de metales y semimetales en muestras líquidas o diluidas, tanto para la analítica de rutina como para fines de investigación. Según el modelo, está equipado con un atomizador de tubo de grafito de calentamiento transversal y/o un atomizador de llama.

#### **4.5.6 Caracterización metalúrgica**

En esta etapa se procedió a realizar el análisis granulométrico por vía húmeda de manera de determinar la distribución de los elementos valiosos, estableciendo así, el rango de granulometría en el cual se encuentran dichos elementos. Las muestras fueron tamizadas usando las mallas 60, 80, 100, 200, 270, PAN de la serie ASTM, solo para la muestra P1, ya que la muestra P1 y P2 son bastantes similares en cuanto a la química elementas y macroscópicamente. Se pesó y se determinó el tenor de los elementos valiosos en cada una de las fracciones granulométricas. Para la muestra P3 solo se usaron los tamices 200, 270 y PAN. El análisis granulométrico fue realizado en INGEOMIN seccional Bolívar. La determinación de los elementos químicos valiosos fue realizada en SERVOLAB OVERSEAS INC, Puerto Ordaz, Edo. Bolívar.

También se procedió a realizar el ensayo de las fracciones gravimétricas. La determinación de estas fracciones, es un parámetro importante para la selección de los procesos de extracción. Los ensayos de separación en fracciones másicas se realizaron al mineral pasante de la malla 100 de la serie ASTM, mediante un proceso de separación por medios densos. La fracción de finos, corresponden a aquellos minerales no sedimentables después de 5 minutos de sedimentación en una pulpa en agua destilada al 5 % peso de sólidos; los livianos, es la fracción de minerales no sedimentables en una solución cuya densidad sea 2,864 g/ml (Bromoformo) y los pesados es la fracción restante de las anteriores.

Al no contar con bromoformo y tetraboetano, las fracciones livianas y pesadas no se lograron separar, y se analizaron todo en uno (Livianos + pesados), solo para la muestra P1 donde se obtuvo material pasante malla 100.

#### **4.5.7 Análisis de resultados**

Teniendo en cuenta todos los resultados de las caracterizaciones mineralógicas, geoquímicas y metalúrgicas de las muestras, y con el apoyo de las mejores prácticas y experiencia existente en los procesos de lixiviación por cianuración, se procedió a establecer las posibles condiciones operacionales para el aprovechamiento de los minerales valiosos.

## **CAPITULO V**

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

#### **5.1 Caracterización química elemental**

En esta actividad se analizaron tres muestras cabeza (P1, P2, P3), con el objeto de determinar el tenor de oro y otros elementos valiosos asociados, donde las muestras P1 y P2 corresponden a las arcillas y la muestra P3 corresponde a un proceso inmediatamente anterior a la deposición de las arcillas.

Como se puede observar en la tabla 5.1, los tenores de oro en las muestras P1, P2 resultan muy atractivos para su aprovechamiento con 12 g/t. En relación a los demás elementos determinados se consideran en muy bajo tenor. Se estimó un porcentaje de sílice (SiO<sub>2</sub>) alrededor del 60%. Por otro lado, siendo la muestra P3 del proceso anterior de donde se generan las arcillas también reporta un tenor atractivo de 16,24 g/t. Con estos resultados se predice que parte del oro contenido en el depósito P3 se va en el agua decantada a los depósitos P1 y P2 como sólidos en suspensión.

Por otra parte, el antimonio, plomo y telurio reportan concentraciones bastante bajas lo cual es provechoso para la recuperación de oro si se pretende utilizar como método de recuperación la lixiviación con cianuro de sodio.

Tabla 5.1. Tenores de elementos preliminares contenidos en las arcillas Auríferas.

Longitud de onda	Muestra	P1 (ppm)	P2 (ppm)	P3 (ppm)
	Elemento			
267.595	Au	12,526	12,728	16,243
224.874	Ag	15,627	16,689	17,839
334.940	Ti	0,098	0,053	0,065
220.353	Pb	0,023	0,329	0,321
206.836	Sb	0,098	0,065	0,056
214.281	Te	0	0	0
251.611	SiO <sub>2</sub> (%)	66,923	64,344	54,403
Relacion Au/Ag		0,80	0,76	0,91

## 5.2 Caracterización mineralógica

En la tabla 5.2 se muestra la distribución porcentual de los minerales contenidos en las muestras. Aquí se observa la presencia de cuatro minerales de los cuales el más abundante es el cuarzo con un 53% en promedio. La poca presencia del elemento titanio en la química podría deberse a la presencia del mineral Dickita el cual posee dentro de su composición química algo de titanio. Esto es corroborado con el análisis con FRX donde reporta un promedio de TiO<sub>2</sub> de 0,7%, además de los demás elementos como el hierro, plomo y aluminio (Tabla 5.3).

Tabla 5.2. Análisis Mineralógico (DRX).

Muestra	P1	P2	P3	Unidad
Mineral				
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	58	48	66	%
Caolinita (Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> )	37	32	15	%
Dickita (Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> (HCONH <sub>2</sub> ))	5	3	19	%
Garronita (Ca <sub>2,8</sub> (Al <sub>5,66</sub> Si <sub>10,34</sub> O <sub>32</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>13,76</sub> )	-	17	-	%

Tabla 5.3. Análisis químico composicional (FRX).

Muestra	P1	P2	P3	Unidad
Compuesto				
SiO <sub>2</sub>	66,84	62,83	68,90	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,37	17,71	11,67	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	8,25	8,31	6,57	%
MnO	0,01	0,01	0,01	%
MgO	1,50	0,19	0,34	%
CaO	0,04	0,05	0,01	%
Na <sub>2</sub> O	0,41	0,40	0,40	%
K <sub>2</sub> O	0,81	0,81	0,40	%
TiO <sub>2</sub>	0,74	0,74	0,84	%
Pb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,02	0,25	%

### 5.3 Caracterización metalúrgica

En esta actividad se analizaron un total de nueve muestras (P1#60, P1#80, P1#100, P1#200, P1#270, P1PAN, P3#200, P3#270, P3PAN), con el objeto de conocer el comportamiento granulométrico y determinar la distribución porcentual de los elementos valiosos en cada fracción granulométrica. En la tabla 5.4 se presentan los resultados de los tenores de los elementos valiosos en cada fracción granulométrica.

Tabla 5.4 Tenores de elementos preliminares contenidos en las arcillas auríferas por fracción granulométrica.

Longitud de onda	Muestra	P1 (ppm)	P2 (ppm)	P1 #60	P1 #80	P1 #100	P1 #200	P1 #270	P1 PAN	P1 Finos	P1 Livianos + Pesado	P3 (ppm)	P3 #200	P3 #270	P3 PAN
	Elemento														
267.595	Au	12,526	12,728	2,534	6,733	10,67	11,56	11,459	13,892	13,573	18,928	16,243	6,721	7,428	11,76
224.874	Ag	15,627	16,689	7,251	11,723	6,456	7,782	5,342	15,984	16,638	21,987	17,839	8,427	10,53	14,74
334.940	Ti	0,098	0,053	0,099	0,067	0,086	0,052	0,078	0,063	0,054	0,078	0,065	0,076	0,065	0,087
220.353	Pb	0,023	0,329	0	0	0	0	0	0,231	0,057	0,539	0,321	0	0	0
206.836	Sb	0,098	0,065	0,059	0,452	0	0,097	0	0,526	0,082	0,069	0,056	0	0,082	0,078
214.281	Te	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
251.611	SiO <sub>2</sub> (%)	66,923	64,344	53,610	40,850	73,993	66,923	69,468	76,103	54,473	22,305	54,403	81,396	52,540	73,353
Relacion Au/Ag		0,80	0,76	0,35	0,57	1,65	1,49	2,15	0,87	0,82	0,86	0,91	0,80	0,71	0,80

En las tablas 5.5 y 5.6 se presentan el análisis granulométrico de la muestra P1 y P3 respectivamente. Como se puede observar la muestra P1 muestra un comportamiento granulométrico de arena fina con una distribución normal (Figura 5.1 y 5.2). Por otro lado, se puede observar que más del 88% de la muestra es de granulometría inferior a las 75 micras, un 82% de granulometría inferior a las 50 micras y se estima que alrededor de 10 al 11% representan partículas en suspensión (alrededor de 10micras). En el mismo orden de ideas, se observa que la distribución metalúrgica del oro es del 90% pasante la malla 200 (75  $\mu$ m) con un 7% de

distribución del metal contenido en los sólidos en suspensión, con lo cual se puede considerar que el 7% del oro contenido tenga cierta dificultad para su recuperación, por lo que la distribución metalúrgica efectiva estimada de oro sea del 83% partiendo de un tenor de 12 g/t. De acuerdo a estos resultados es viable aplicar un proceso de lixiviación con cianuro de sodio para la recuperación del oro sin necesidad de una molienda adicional.

Tabla 5.5. Análisis granulométrico de la muestra P1.

Tamiz #	Abertura Nominal $\mu\text{m}$	Peso Tamiz Vacío (g)	Peso Tamiz Lleno (g)	Peso (g)	% Peso	Ensayo Au (g/t)	Distribución (%)	% Pasante Acumulado
60	200,00	527,7	533,4	5,7	0,74	2,534	0,15	99,26
80	180,00	524,9	536,6	11,7	1,53	6,733	0,81	97,73
100	150,00	523,5	533,2	9,7	1,26	10,674	1,07	96,47
200	75,00	496,5	560,5	64	8,34	11,562	7,64	88,13
270	53,00	491,3	530,7	39,4	5,14	11,459	4,66	82,99
PAN	50,00	294,2	841,4	547,2	71,32	13,892	78,47	11,67
Sólidos en suspensión	10	NA	NA	89,51	11,67	7,79	7,20	0,00
			<b>Total</b>	<b>767,21</b>	<b>100,00</b>	<b>12,63</b>	<b>100</b>	
<b>Peso de la muestra sin finos (g)</b>			677,7					
<b>Peso inicial de la muestra (g)</b>			767,21					
<b>Tenor Cabeza (g/t)</b>			12,627					
<b>Sólidos en suspensión estimados (g)</b>			89,51					
<b>% de Humedad</b>			20,57					

Tabla 5.6. Análisis granulométrico de la muestra P3.

Tamiz #	Abertura Nominal $\mu\text{m}$	Peso Tamiz Vacio (g)	Peso Tamiz Lleno (g)	Peso (g)	% Peso	Ensayo Au (g/t)	% Distribucion	% Pasante Acumulado
200	75	496,5	632	135,5	45,12	6,721	18,67	54,88
270	53	491,3	515,2	23,9	7,96	7,428	3,64	46,92
PAN	50	447,3	527,3	80	26,64	11,762	19,29	20,28
Solidos en suspensión	10	NA	NA	60,9	20,28	46,77	58,40	0,00
			<b>Total</b>	<b>300,3</b>	<b>100,00</b>	<b>16,24</b>	<b>100</b>	
<b>Peso de la muestra sin finos (g)</b>				239,4				
<b>Peso inicial de la muestra (g)</b>				300,3				
<b>Tenor Cabeza (g/t)</b>				16,243				
<b>Solidos en suspensión estimados (g)</b>				60,9				
<b>% de Humedad</b>				39,69				

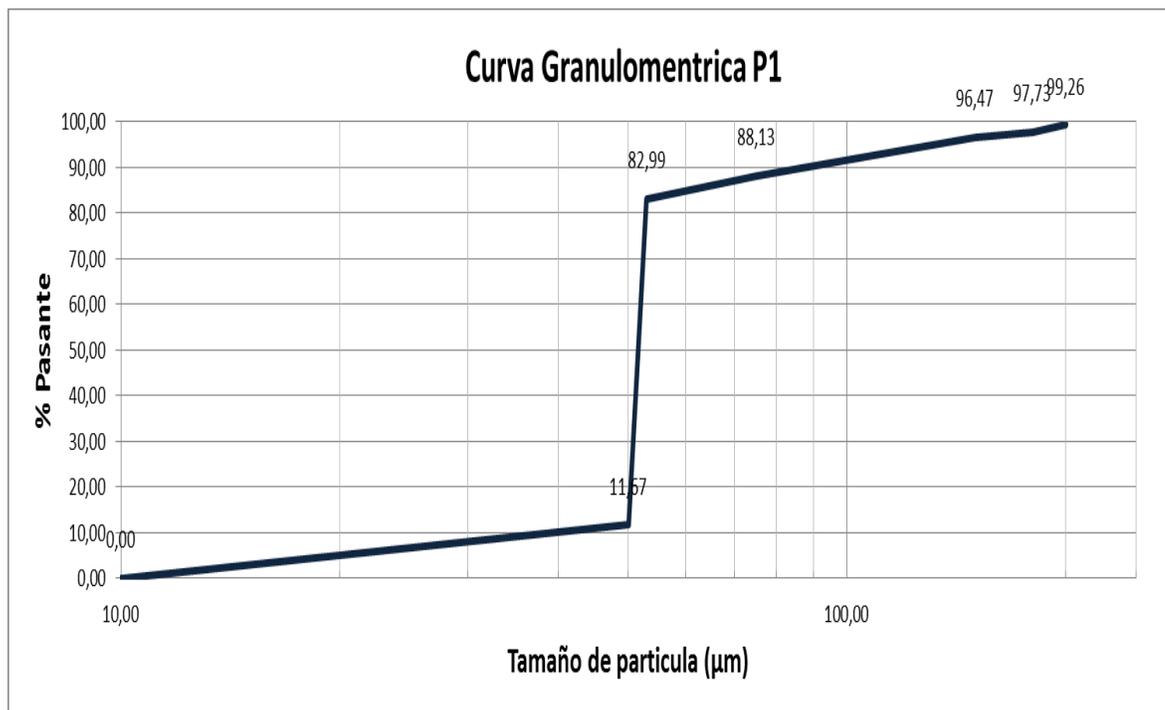


Figura 5.1. Curva granulométrica P1.

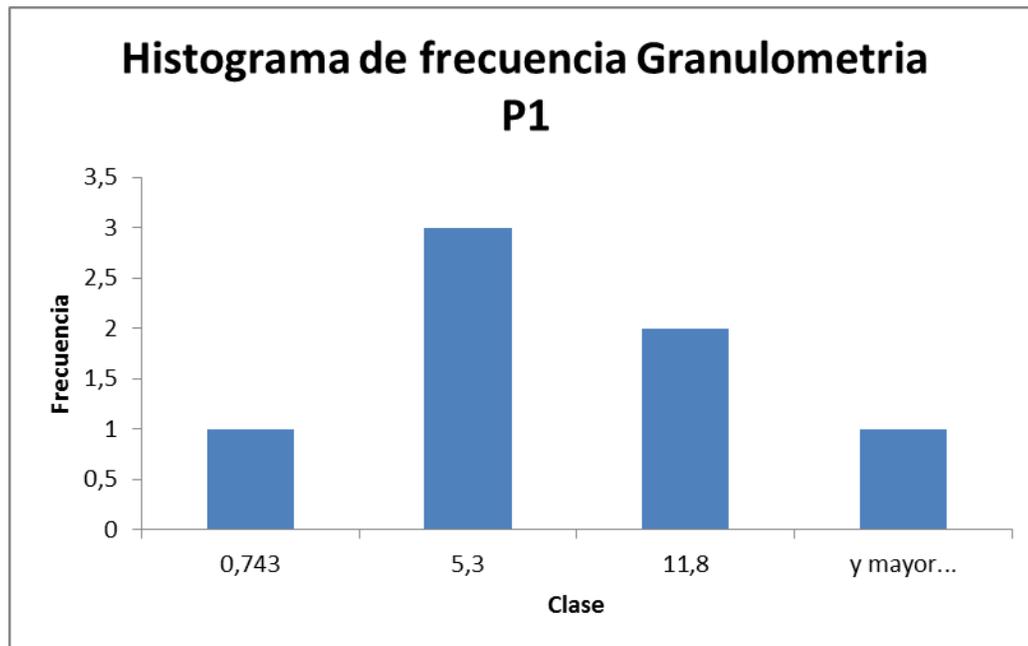


Figura 5.2. Histograma de frecuencia. Granulometría P1.

El análisis granulométrico de la muestra P3 muestra un comportamiento algo diferente a la muestra P1, debido a que, P1 es un subproducto de P3. En Relación a la Granulometría se observa, que por encima de la malla 200 (75  $\mu\text{m}$ ) retiene el 45% en peso, quedando el 55% restante con granulometría inferior, donde el 20% de los 55% corresponden a los sólidos en suspensión.

Pasante la malla 200 se tiene una distribución metalúrgica de oro alrededor del 81% parecida a la muestra P1, pero con la salvedad que los sólidos en suspensión contienen el 58% de la distribución metalúrgica de oro, con un tenor de ensayo estimado en 46 g/t. El comportamiento granulométrico de P3 se refiere a una arena más gruesa con una distribución normal (Figura 5.3 y 5.4)

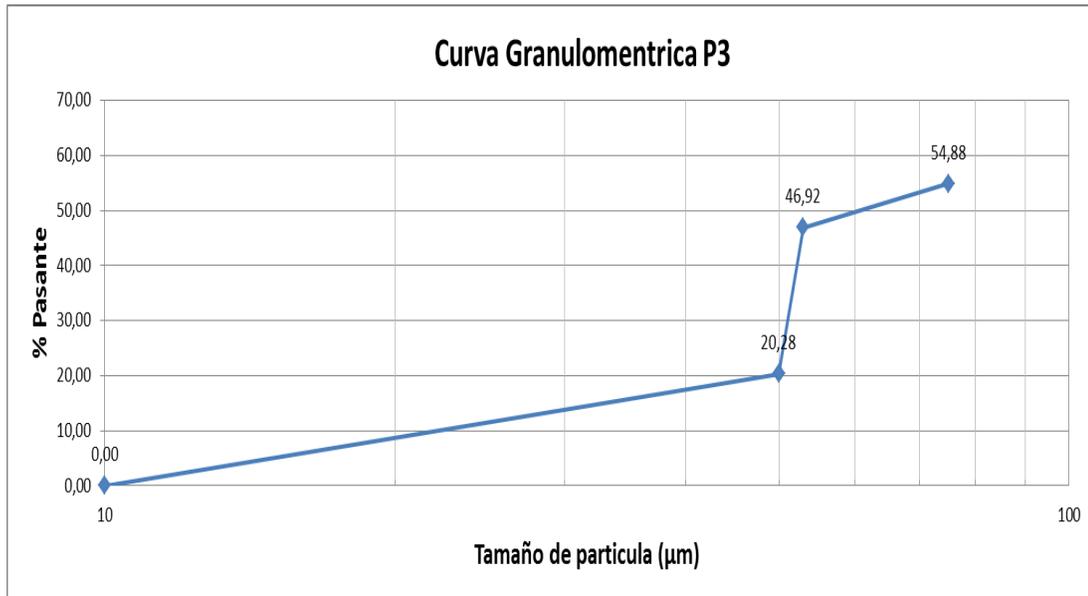


Figura 5.3. Curva granulométrica P3.

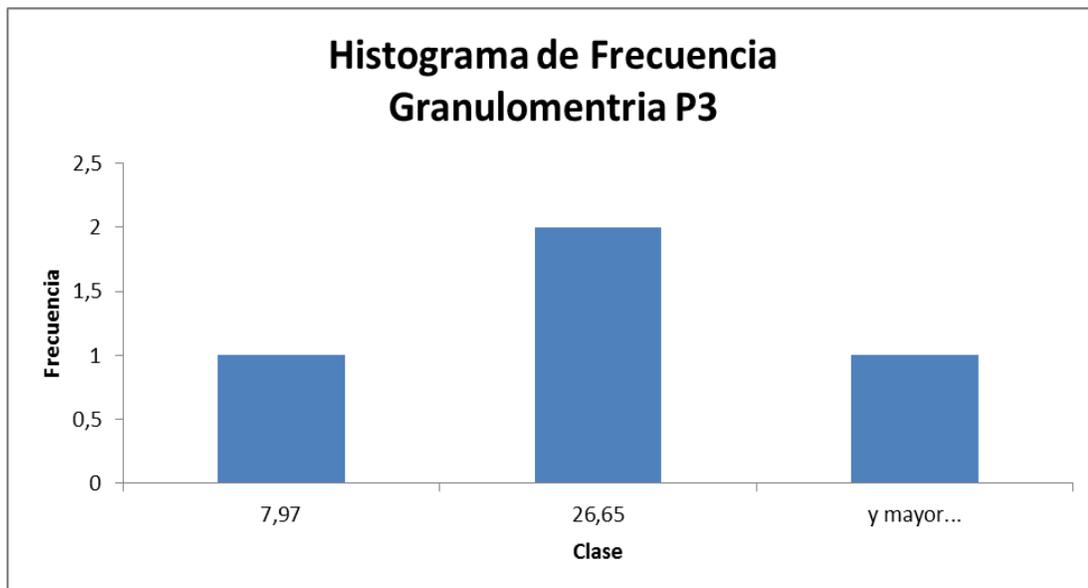


Figura 5.4. Histograma de frecuencia. Granulometría P3.

#### 5.4 Fracciones gravimétricas

En esta actividad se analizaron dos muestras (P1Finos, P1Livianos + Pesados) a partir de la muestra P1 cabeza, con el objeto de determinar la distribución porcentual de los metales valiosos en cada fracción.

En la tabla 5.7 se presentan los resultados de la prueba. Se puede observar que los finos (sólidos en suspensión) representan el 7% en concordancia con el 11% del análisis granulométrico P1, lo que promedia un 9% de sólidos en suspensión del material. Igualmente, el tenor de oro reportado en los finos de 13 g/t guarda relación con el tenor 7,7 g/t estimado de los finos del análisis granulométrico P1. Se puede observar también que alrededor del 94% de metal oro está contenido en las fracciones livianas y pesadas tal como se aprecia también en el análisis granulométrico P1 que se estima un 92%.

Tabla 5.7 Separación de fracciones gravimétricas muestra P1

Muestras	PesoBandeja g	Peso Bandeja con muestra g	Peso g	%Peso	Ensayo Au (g/t)	%Distribucion
Finos (Solidos en suspension)	444,6	447,9	3,3	7,02	13,573	5,14
Livianos +pesados	231,6	275,3	43,7	92,98	18,928	94,86
		<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>100</b>	<b>18,55</b>	<b>100</b>
<b>Tenor Cabeza</b>	12,627					

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

De acuerdo con el análisis químico elemental, el elemento con tenor más atractivo es el oro con alrededor de los 12 g/t. De acuerdo con los resultados estamos en presencia de un material con una granulometría media a fina con más del 80% pasante malla 270 (50µm). De acuerdo a la distribución granulométrica alrededor del 90% del oro contenido en las arcillas está por debajo de la malla 200 (75 µm), con un 7% en promedio que se queda en los sólidos en suspensión, lo cual es corroborado con el análisis de fracciones gravimétrica el cual reporta un 5% de distribución del metal oro en los finos. Los sólidos en suspensión representan en promedio un 10% en peso en masa de arcilla, y el 94% del oro está contenido en los minerales livianos y pesados. El material pasante malla 200 reporta en promedio un tenor de 12,94 g/t, lo que hace atractivo su aprovechamiento.

De acuerdo con los análisis mineralógicos y químico composicional se corrobora que el material es altamente arcilloso con un contenido de sílice de 53% en promedio, y minerales menores como la caolinita que reporta un 34% en promedio, segundo de la Garronita y de último la Dickita con un 4% en promedio. Así lo confirma el análisis de FRX donde se observa un 0,74% de óxido de titanio posiblemente contenido en la dickita, 8% de hierro y 0,2% de pentóxido de plomo.

En general, si se trata de recuperación de oro, el método que más se proyecta como adecuado es la Lixiviación con cianuro de sodio (NaCN) de acuerdo con las características granulométricas y químicas los cuales reportan un porcentaje pasante mayor al 80% por la malla 200, con el 90% de la distribución del metal en esa granulometría y los elementos que son perjudiciales en la lixiviación tales como

teluro, antimonio, plomo, tienen una concentración muy baja, algo que es satisfactorio para aplicar dicho método de concentración. Para la recuperación de oro metálico no se recomienda la utilización de carbón activado ya que la relación de Au/Ag es menor a uno y la plata tendera absorberse más en el carbón activado que el oro.

## **Recomendaciones**

Para afinar el proceso de toma de decisión y establecer con mejor asertividad los parámetros operacionales para la recuperación del oro se recomienda lo siguiente:

1.- Determinar la viscosidad en pulpa, a diferentes porcentajes de sólidos, con el fin de estimar el porcentaje de sólidos más adecuado para los procesos que involucre manejo de pulpas, especialmente en el proceso de agitación.

2.-Determinar los porcentajes de retención de líquidos, ya que este comportamiento predice la dificultad para la implementación de procesos de filtración.

3.- Determinar el grado de lixiviación, de manera de conocer si las menas son Alta, Mediana o Difícilmente lixiviable, determinando así la refractariedad a la cianuración debido a la presencia del elemento antimonio (Sb).

## REFERENCIAS

Aguerrevere, S. E.; López, Año: 1938-1939, “**BOLETÍN DE GEOLOGÍA Y MINAS (VENEZUELA), VOL. 2, N° 2-4**”, pp. 151-180 (edición en inglés del mismo boletín, pp 155-181. 1938), Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Vol. 5, N° 37, pp 137-172.

ASTM E 400-71 “**STANDART TEST METED FOR SPECTROGRAPHIC ANALYSIS OF ORES, MINERALS AND ROCKS**” by the Fire assay preconcentration technique. Reapproved 1988.

Bellizzia, Martín C., 1959. “**EDADES ISOTÓPICAS DE ROCAS VENEZOLANAS**”. Bol. Geol., Caracas, 9(19): 356-380.

Benaim, N., 1997. **FORMACIÓN VENAMO.**

Benaim, N., 1972. “**GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE BOTANAMO, ESTADO BOLÍVAR**”. IV Cong. Geol. Venez., Caracas, 3: 1291-1314.

Brooks, W. E. ; Guerra, A. ; Nunez, F. J. (1995) “**GOLD PROSPECTING IN THE CERROARRENDAJO STUDY AREA**”, Estado Bolívar, Venezuela. U. S. Geological Survey Bulletin, n. B 2124, p. G1-G8. C.V.G Tecmin.1989. Mapas de las provincias.

Cardenas, R. “**METALURGIA EXTRACTIVA DEL ORO**”. Bolivia. Imprenta FOCET “Imral”. 1994.

Cruz, Elmidio E. **APUNTES SOBRE ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS. (2001).** ([estevez@geo.upr.edu.cu](mailto:estevez@geo.upr.edu.cu)).

C.V.G. Técnica Minera. C.A. (1989). **INFORME TECNICO ANUAL 1990 DE GEOLOGÍA – GEOQUIMICA – GEOFÍSICA.** Ciudad Bolívar, Venezuela, P 312.

Dalton, L. V., 1912. **VENEZUELA,** London, 320 p.

**Difracción de rayos X** (15-08-2022). Disponible en: <https://es.wikipedia.org/>

Espejo, A., 1972. **“GEOLOGÍA DE LA REGIÓN EL MANTECO- GURÍ, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA”.** IX Conf. Geol. Interguayanas, Ciudad Guayana, estado Bolívar. 207-248.

**Fluorescencia de rayos X** (15-08-2022). Disponible en: <https://es.wikipedia.org/>

González de Juana Clemente; J.M. **“ITURRALDE DE ARAZENA YX. PICORD CADILLAT, 1980”.** Geología de Venezuela 2Tomos, Ed. Foninves, Caracas. 1031 Pp.

Hurlbut, C. **“MANUAL DE MINERALOGÍA DE DANA”.** España. Editorial Reverté. 1998.

Kalliokoski, J., 1965-c. **“GEOLOGÍA DE LA PARTE NORTE-CENTRAL DEL ESCUDO DE GUAYANA, VENEZUELA”.** Bol. Geol., Caracas, 7(13): 29-104.

Korol, B., 1965. **“ESTRATIGRAFÍA DE LA SERIE PASTORA EN LA REGIÓN GUASIPATI-EL DORADO”**. (Presentado Cong. Cent. Col. Ing. Venez., 1961). Bol. Geol., Caracas, 7(13): 3-17.

Lepin, O. V., y Ariosa, J. D., 1986. **“BÚSQUEDA, EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN GEÓLOGO ECONÓMICA DE YACIMIENTOS MINERALES SÓLIDOS”**. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Primera Parte, 348 p, Segunda Parte, 191 p.

Mendoza S. Vicente (2000). **“EVALUACIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAMERICANO)”**. Caracas: Mineral Hecla Venezuela, C.A.

Mendoza, V., 1974. **“EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA”**. II Cong. Latinoam. Geol., Caracas, 3: 2237-2270.

Menéndez, Alfredo, (1994) **CINTURONES DE ROCAS VERDES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA; REVISIÓN ESTRATIGRÁFICA**. III Simposio Internacional del Oro en Venezuela; libro de Memorias Asociación Venezolana del Oro. pp 123-139.

Menéndez, V. de V., A., 1968. **“REVISIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA DE LA PROVINCIA DE PASTORA SEGÚN EL ESTADO DE LA REGIÓN DE GUASIPATI, GUAYANA VENEZOLANA”**. Bol. Geol., Caracas, 9(19): 309-338.

MINCA C.A. (1999). **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL, PROYECTO DE PEQUEÑA MINERÍA EN EL SECTOR EL PIÑAL**. Las Claritas, Venezuela, Pp 21 – 24.

Newhouse, W. H y G. Zuloaga, 1929. **“GOLD DEPOSITS OF THE GUAYANA HIGHLANDS”**. Econ. Geol., 24(8): 797-810.

Popoff, C.C. **COMPUTING RESERVES OF MINERAL DEPOSITS: PRINCIPLES AND CONVENTIONAL METHODS**. Washinton , Bureau of Mines. 113p.1966.

Reid, A. R., 1974. **“STRATIGRAPHY OF THE TYPE AREA OF THE RORAIMA GROUP, VENEZUELA. CONF. GEOL. INTERGUAYANAS”**, Estado Bolívar p: 343-354.

Sidder, G. B.; Mendoza, V. S. (1995). **“GEOLOGY OF THE VENEZUELAN GUAYANA SHIELD AND ITS RELATION TO THE GEOLOGY OF THE ENTIRE GUAYANA SHIELD”**. U. S. Geological Survey Bulletin, n. 2124 B, p. 1-33.

Vásquez, C., Pardavé W. **“MANUAL DE PRÁCTICAS PROCESAMIENTO DE MATERIALES PRIMAS Y MANEJO DE SÓLIDOS PARTICULADOS”**. Universidad Industrial de Santander. 1996.

WOTRUBA, H. **“TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA”**. Seminario Taller. Pequeña Minería Aurífera: Hacia un manejo ambiental de mercurio y cianuro. Bucaramanga, Colombia. 2004.

Zuloaga, G. y M. Tello, 1939. **“EXPLORACIÓN PRELIMINAR DE LA SIERRA DE IMATACA”**. Rev. Fomento, Caracas, 3(19): 397-430.

## **ANEXOS**