



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
MOA**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



Tesis en opción al título de ingeniero geólogo

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y TEXTURAL
DE LAS PARTÍCULAS DE ORO DE LOS YACIMIENTOS
Y MANIFESTACIONES MINERALES DEL DISTRITO
HOLGUÍN, CUBA**

Diplomante: César Laurentino Samuel Sebastiao

Tutor: Dr. Roberto Díaz Martínez

2003

A mi Padre y a mi Madre, por enseñarme desde muy temprano el camino correcto para poder realizar satisfactoriamente los estudios durante 17 años en la República de Cuba, lo cual me ha permitido hoy en día convertirme en un profesional.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional durante todo el periodo de estancia en Cuba, lo cual me estimularon siempre para enfrentaron con sacrificios y paciencia los obstáculos de la vida.

A mi esposa Ing. Odayla Duvergel Pérez, por decidir unir su vida a la mía y enfrentar junto a mi los grandes momentos difíciles y felices durante la realización de nuestros estudios universitarios.

A mi tutor Dr. Roberto Díaz Martínez por su exigencia, eficiencia, paciencia y sacrificio para obtener los resultados deseados en esta investigación. Por ser más que un profesor un padre.

A los profesores y demás trabajadores de la Facultad de Geología y Minería, en especial a los del Departamento de Geología, por la entrega constante de conocimientos que contribuyó a nuestra formación profesional, a pesar de los escasos recursos.

A todos los trabajadores de este centro, que de una o otra forma contribuyen para que cada día existan las mínimas condiciones para seguir nuestra rutina diaria.

Al Gobierno y pueblo de Cuba, en especial al Comandante Fidel Castro Ruz, que han luchado por solidaridad y el bien de los pobres y por ayudar a formar a mas de 30500 becados extranjeros.

Al Gobierno de Angola en especial al ex presidente Dr. Agostinho Neto(fallecido) y al Presidente Ing. José Eduardo Santos, por depositar la confianza del futuro de Angola en nosotros y apoyarnos en todo este periodo de estancia en Cuba. .

A todos aquellos que sin darme cuenta siempre me han deseado mucha suerte, a todos los que considero mis verdaderos compañeros y amigos, cubanos y extranjeros que

*me dieron su apoyo en los momentos que los necesite sin
pedirme prácticamente nada a cambio.*

A todos muchas gracias

INDICE**RESUMEN****INTRODUCCIÓN**

		Pag.
CAP.I	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.....	
	1.1 Ubicación del área de estudio.....	
	1.2 Economía, clima, relieve, hidrografía.....	
	1.3 Reseña histórica sobre la minería del oro.....	
	1.4 Marco geológico regional.....	
	1.5 Antecedentes internacionales y precios del oro.....	
	1.6 Marco geológico regional.....	
CAP.II	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	
	2.1 Introducción.....	
	2.2 Trabajos preparatorios.....	
	2.3 Trabajos de campo.....	
	2.4 Trabajos de laboratorio.....	
	2.5 Procesamiento de información.....	
	2.6 Representación de los resultados.....	
CAP.III	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	
	3.1 Tamaño y morfometría del oro.....	
	3.2 Índice de aplastamiento.....	
	3.3 Textura superficial e interna del oro.....	
	3.4 Hipótesis sobre los mecanismos de formación del oro.....	
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	
	BIBLIOGRAFÍA.....	

RESUMEN

La necesidad de caracterizar las partículas de oro desde el punto de vista morfológico y textural asociada a diversos metalotectos del distrito Holguín parte de la poca disponibilidad de información existente en tal sentido, salvo la que está registrada en la Oficina Nacional de Recursos minerales y que nunca ha sido publicada. Esta información tiene especial interés para definir los mecanismos que han dado origen al oro y los posibles procesos de alteración a que han sido sometidos posterior a su depositación.

El trabajo realizado forma parte de las principales líneas de investigaciones que realiza el Departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería del ISMM de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez.

Como resultado de trascendental interés económico para la futura minería se destaca la presencia de dos formas principales de presentarse el oro: la discoidal y la laminar o mejor dicho discoidal-laminar; estas formas sugieren una relación espacial muy estrecha con zonas de cizallas en ultrabasitas. La detección de elevadas concentraciones de oro en las saprolitas originadas a partir de la meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas, silicificadas y carbonatizadas constituye un importante metalotecto digno de considerar en futuras campañas de prospección de yacimientos auríferos en el distrito Holguín.

INTRODUCCIÓN.

En Cuba no existen grandes yacimientos de oro; ellos se reducen a manifestaciones o yacimientos de pequeña escala cuyas leyes no sobrepasan las decenas de g/t. Sin embargo, existen muchas manifestaciones y yacimientos sulfurosos de metales base con contenidos relativamente altos de oro. Algunos investigadores consideran que el oro asociado a los depósitos vulcanogénicos de sulfuros masivos, skarn, brechas, sinter, entre otros, es de génesis hidrotermal, no tomando en consideración las ideas actuales acerca de los diferentes tipos y estilos de la mineralización aurífera, en particular la distribuida en el cinturón Circum-Pacífico. Es por ello que el presente trabajo propone una caracterización morfológica y textural del oro que permita esclarecer algunas particularidades geológicas sobre los tipos y estilos de mineralización aurífera predominantes en el distrito Holguín (Rodríguez Vega, A. y R. Díaz- Martínez, 2000)

La tesis se estructura en tres capítulos, mas las conclusiones y recomendaciones. En el primer capítulo se abordan los aspectos físico-geográficos y geológicos regionales, la tectónica y los principales rasgos geomorfológicos que caracterizan el bloque Maniabón. En el segundo capítulo se trata detalladamente la metodología empleada, tanto en los trabajos de campo como de laboratorio y gabinete. En el tercer y último capítulo se realiza la interpretación y análisis de los principales resultados obtenidos. Por último se insertan las principales conclusiones y recomendaciones las cuales dan respuestas a los objetivos planteados. La memoria escrita consta de 45 páginas, 15 figuras y 7 tablas y fue escrita en Microsoft Word 2000, a espacio simple, fuente Times New Roman, tamaño 12. Los Software profesionales empleados fueron Surfer, Excel, Telemap, Microsoft Word 2000.

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El objeto de la presente tesis de grado lo constituye las partículas de oro de varios depósitos y manifestaciones auríferas primarias y secundarias del distrito Holguín, Cuba.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de los rasgos morfológicos y texturales de las partículas de oro de varios depósitos y manifestaciones auríferas del distrito minero Holguín surge como una necesidad de esclarecer los mecanismos de formación de esta mineralización, su evolución espacio-temporal en ambientes tropicales relacionados con los procesos de erosión, transporte, deposición y transformaciones postdeposicionales en cuencas aluviales, así como los metalotectos de interés para futuros trabajos de exploración.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Determinar los principales rasgos morfológicos y texturales del oro de algunos depósitos y manifestaciones minerales del distrito minero Holguín empleando las técnicas analíticas tradicionales lo que permitirá esclarecer aspectos relacionados con la génesis y mecanismos de transformación en ambientes tropicales caracterizados por escasa precipitaciones.

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Si se conoce los rasgos morfológicos y texturales del oro en la región de estudio, entonces se podrán esclarecer el origen y los mecanismos de formación del oro en condiciones de un clima tropical.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Ningún otro metal ha influenciado tanto en la historia del hombre como el oro. Por su causa se han descubierto continentes, se han originado guerras y muchos pueblos han caído en esclavitud.

El 24 de Enero de 1841 James Marshal, al encontrar oro en el río Sacramento, desencadenó la fiebre del oro de San Francisco. En 1883, los hermanos Frededek y Henry Struben iniciaron la extracción de oro de las montañas de Witwatersrand en Sudáfrica y en Febrero de 1886 ya se habían obtenido dos Kilos de oro puro en esta región, siendo hoy este país el mayor productor de oro en el mundo.

Este metal tiene una gran importancia en diferentes ramas, un ejemplo de ello es que se utiliza el isótopo de oro ^{198}Au en el tratamiento del cáncer. En la cirugía cerebral se usa una sonda de oro en la operación de estereotaxia de cerebro, en la medicina dental por su poca oxidación, y también en los filtros solares cósmicos, como protección contra el calor en las naves espaciales y en los reactores nucleares que están revestidos de una capa de oro. Los circuitos microelectrónicos están hechos de oro y los cables que se utilizan en las profundidades submarinas están protegidos contra la corrosión con una capa aislante de oro. En algunos motores de acero se hacen soldaduras con oro, pues es el único material que aguanta las altas temperaturas. El oro se distingue también por su maleabilidad. Por ejemplo 10 gramos de oro pueden transformarse en una delgadísima lámina translúcida de $3,5\text{ m}^2$ o en un hilo tan fino como una telaraña y de cerca de 25 Km de longitud.

Todo esto trae consigo la necesidad de seguir perfeccionando el estudio de este metal; por tal motivo, la presente tesis titulada “Caracterización morfológica y textural de Las

partículas de oro de los yacimientos y manifestaciones minerales del distrito Holguín, Cuba” tiene como objetivo en primer lugar optar por el título de ingeniero geólogo, además de contribuir a la formación profesional como parte de mis estudios universitarios en la República de Cuba y en segundo lugar ayudar a desarrollar el marco de las investigaciones científicas geológicas que se realizan en el departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería de nuestro centro. La misma se realizó en las áreas siguientes: Yacimiento Reina Victoria, curso principal de los ríos Hicacos, Los Lirios y Naranjo, así como el sector Cuatro palmas, todos pertenecientes al distrito mineral Holguín.

CAP. I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1. Introducción.

El archipiélago Cubano esta situado en la porción más occidental del arco de isla del Caribe, región esta muy complejas desde el punto de vista geológico. Este archipiélago limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con el Mar Caribe, al este limita con el cinturón plegado del Caribe, que abarca las Antillas Menores y Mayores y al oeste con el Golfo de México (Figura 1).

En este capítulo se destacan algunos aspectos de interés fisiográficos y geológicos regionales, ellos son: ubicación del área de estudio; economía, clima, relieve e hidrografía; algunos datos históricos acerca de la minería del oro en el distrito Holguín; las principales características geológicas de la región de estudio, la tectónica, la geomorfología y los antecedentes nacionales e internacionales de la minería del oro. Durante la ejecución de la investigación se consultaron diferentes informes geológicos, tesis de grado, publicaciones en revistas científicas, libros y resúmenes de eventos científicos los cuales aparecen reflejados en las referencias bibliográficas. Se utilizó el Atlas de la República de Cuba (1989) y el mapa geológico de la República de Cuba, escala 1:500 000.

1.2. Ubicación del área de estudio.

El área de estudio abarca los municipio de Rafael Freire, Gibara, Banes y el municipio cabecera de Holguín. Posee una extensión territorial de aproximadamente 900 km²; limita al norte con el Océano Atlántico, al sur por el municipio de San Germán, al este con el municipio de Banes y al oeste por la línea divisoria entre los municipios Chaparra y Holguín.

Las coordenadas de Lambert son las siguientes:

$$X = 552\ 500; 610\ 000$$

$$Y = 245\ 000; 280\ 000$$

En la tabla 1 aparecen las hojas topográficas a escala 1:50 000 utilizadas durante la ejecución de los trabajos de campo.

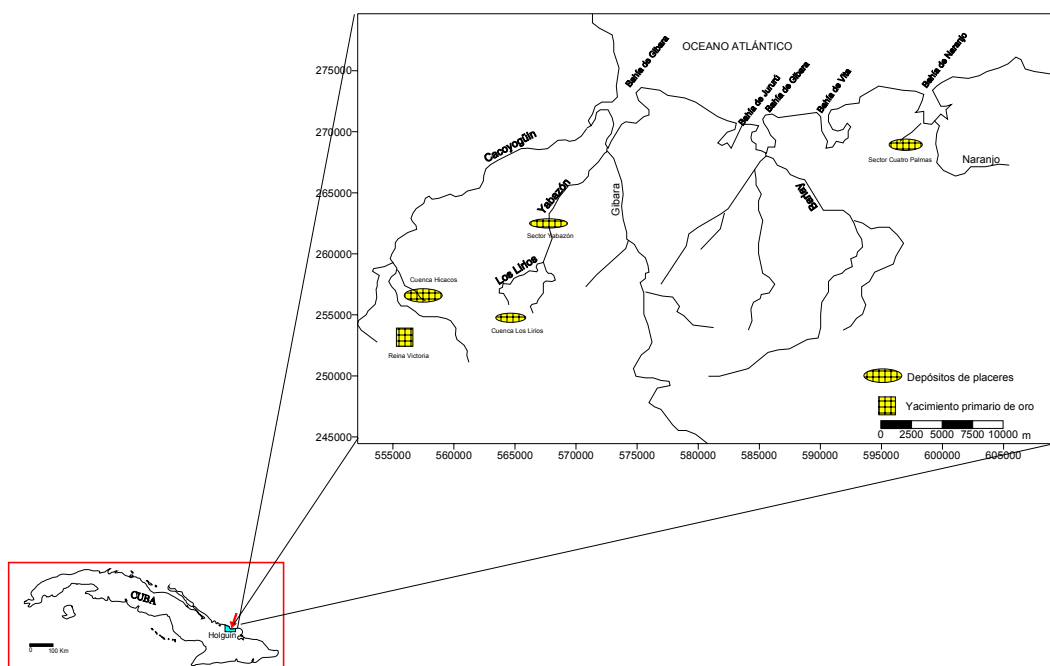


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Tabla 1. Mosaico de hojas topográficas utilizadas durante los trabajos de campo.

No. de hoja	Nombre de la hoja	Edición	Objeto muestreado
4978-I	Alcalá	1981	Río Los lirios
4978-IV	Holguín	1981	Reina Victoria, Arroyo Hicacos, Río Los Lirios
4979-II	Gibara	1981	Ríos Yabazoncito y Yabazón
5079-III	Santa Lucía	1981	Río Naranjo, Arroyo de Oro, listvaenitas y serpentinitas alteradas del poblado de Cuatro

			Palmas
--	--	--	--------

1.3. Economía, Clima, Relieve e Hidrografía.

Economía

La gestión económica de la región se realiza por cerca de un centenar de empresas. En la actualidad, Holguín puede mostrar logros palpables en todas las esferas socioeconómicas. Es una provincia de desarrollo agroindustrial y un polo de atracción turística, sustentada fundamentalmente en cuatro sectores priorizados: el turismo, la producción niquelífera, la agroindustria azucarera y el sector agropecuario. El turismo, es el sector más dinámico siguiendo la tendencia nacional.

La industria azucarera es la segunda de importancia en este sector, sobrecumple en 1.1%, que significan 2.2 millones de pesos, es decisiva en la dinámica del crecimiento. Del resto de los sectores, entre los de mayor peso en relación con el total provincial está el de la construcción que sobrecumple un 4.0% equivalente a 7.3 millones de pesos., con un crecimiento del 3.1% asciende a 5.8 millones de pesos, con resultados similares en las ramas de construcción y montaje y la elaboración de proyectos para la construcción.

En el sector agropecuario se sobrecumple y crece en un 4.8 y 1.4% respectivamente, alcanza una producción de 6.5 millones de quintales de viandas, granos y hortalizas y se incrementa la producción de leche.

La región de estudio posee excelentes vías de comunicación, siendo la más rápida y directa el aeropuerto internacional "*Frank País*", a 13 Kms de la Ciudad de Holguín. La terminal se encuentra a una hora 1/2 de vuelo de la Capital del país. Está situada en las afueras de la ciudad y cerca de la autopista que la une con el resto del territorio nacional. Existen además vuelos directos desde varias capitales importantes del mundo como las de Holanda, Moscú, Italia, Alemania y otras ciudades conocidas. Una extensa red de carreteras secundarias comunica todos los municipios y lugares de interés de la provincia, entre las que se destacan la carretera de primer orden que enlaza la capital provincial con la hermosa playa Guardalavaca en el municipio Banes. Esta carretera constituye la principal vía de comunicación con todos los sectores de estudio de la región.

<http://www.holguin.cu/categorias/economia/economia.htm>

Clima

El clima de región es subtropical húmedo (Atlas Nacional de Cuba 1992, Estudios Sobre la Geología de Cuba); se distinguen dos periodos bien marcados de distribución de las precipitaciones: un periodo seco que se extiende de Noviembre- Abril con precipitaciones de 200-400 mm y otro húmedo que se extiende de Mayo-Octubre 600-800 mm. Nacionalmente Febrero es el mes menos lluvioso y Junio el más lluvioso.

Según datos del pluviómetro situado en el correo central de Holguín, las mayores precipitaciones fueron el año 1985 con un total de 1610 mm anual. De forma general se puede decir que la ciudad de Holguín presenta un clima de seca.

Es singular el comportamiento de algunas regiones de Holguín (Holguín, Mayarí, Sagua y Baracoa) donde se producen una distribución regular con 50 % de la lámina para cada periodo, con la altitud se incrementan las lluvias y resulta así la ocurrencia de láminas superior a los 1800 mm, con registros máximos en la región de Sagua-Baracoa con 3400 mm. Las regiones costeras reciben lluvias entre 1000 y 1200 mm, con estaciones críticas de humedecimiento.

Según los datos de la estación “Manuel Díaz Calixto” de la ciudad de Holguín, el régimen de los vientos en la región está conformado por vientos de moderada intensidad (9.15 Km/h), y la dirección de los mismos es predominantemente de nordeste. Casi todo el año soplan los vientos alisios provenientes de la periferia del anticiclón subtropical oceánico de Los Azores-Bermudas, provocando que el mismo en superficie tenga una dirección Noreste-Este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que la Sur es la más notable, con un 37.41 %, seguido de los vientos de sentido Norte-Este con 32.52 %, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10 %, siendo la dirección Oeste la de menor ocurrencia, con un 0.41 %. La velocidad mínima posible del viento para un período de 50 años es igual a 43 m/seg para el sector marítimo mientras que para el costero se reduce y no alcanza los 20 m/seg.

La humedad relativa de la región es alta debido a la exposición marítima del territorio, influyendo en este aspecto las precipitaciones, las que son abundantes todo el año. Los meses que poseen los mayores valores se ubican de noviembre- abril, alcanzándose las máximas de diciembre a enero, lo cual se debe al ascenso orográfico o forzado del viento que favorece las altas precipitaciones al inicio y final del período de transición verano-invierno. Este factor climático tiene un promedio relativo de 81, 8 %.

La presión atmosférica durante el invierno se eleva, disminuyendo estas hasta alcanzar las mínimas en los meses de mayo a octubre. La presión media anual es de 1017.3 hP, siendo la media máxima mensual de 1 022.2 hP en el mes de septiembre.

Relieve

El relieve de la región de estudio presenta diferentes formas condicionado por la posición de Cuba en el arco insular de las antillas, en la zona de interacción de las placas de América del Norte y del Caribe, por la influencia de las oscilaciones paleoclimáticas del cuaternario, que determinaron la heterogeneidad y el desarrollo del relieve, entre estas heterogeneidades se encuentran: Llanuras, colinas y de mesetas estratificadas, en general las cotas mínimas de estos sistemas oscilan entre 50 a 100 m y en las colinas de 200 a 300 m sobre el nivel del mar; también aparecen sistemas de horst y bloques con cotas de 250 a 300m. La dirección predominante de estos sistemas es este-oeste. La disección vertical y horizontal alcanzan valores entre (50-100m) y (200- 3500m).

De forma general se puede dividir el relieve en:

Tipo de relieve	Cotas
Zonas premontañas	mayores de 200 m.
Relieve Coliso	150-200 m.
Relieve ligeramente ondulado	110-150 m.

Las zonas montañosas actuales son regiones en las que han predominado, durante un largo tiempo geológico, los movimientos de ascenso; en ellas se encuentran las rocas más antiguas. Las zonas llanas se caracterizan por el predominio de los movimientos de descenso.

Hidrografía

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido la formación de una densa red hidrográfica bastante desarrollada que corre de sur a norte.

Los ríos más importantes que se desarrolla en la región están: Cacoyogüin, Gibara, Bariay, Yabazón y Los Lirios; estos generalmente presentan una forma sinuosa y se alimentan por los afluentes existentes en la zona. Los caudales aumentan en los meses de lluvia (mayo-octubre) y disminuyen en los meses de seca (noviembre-abril) en ocasiones con manifestaciones intermitentes.

1.4. Reseña histórica acerca de la minería del oro en la región de estudio

De forma general el desarrollo del conocimiento geológico en Cuba, comienza en el siglo XVIII con las investigaciones ejecutadas por el barón Alejandro de Humbolt, considerado como padre de la Geología Cubana, por haber realizado las primeras observaciones de campo. Con la llegada de los colonizadores españoles a Cuba surge un nuevo auge de búsqueda del metal precioso, por lo que se puede afirmar que la zona aurífera de Holguín se conoce desde la época de la conquista, atravesando por varias fases de búsqueda y exploración.

En el siglo XX, comienzan a llegar los primeros geólogos americanos a Cuba, Los trabajos de la época pre-revolucionaria, no tienen documentaciones completas debido a ciertas razones sobre todo las firmas privadas, aunque contiene valiosos datos, eran escasos. Con posterioridad al triunfo de la revolución se efectuaron varios estudios de carácter regional con ayuda de científicos y técnicos de los países socialistas que ayudo a realizar estudios mas planificados y sistemáticos que presentan en la actualidad resultados importantes.

En 1955 ya se contaba con el trabajo de Kozary (geólogo de una compañía petrolera de los Estados Unidos de America) ” Geological Reconoissance in the Nipe-Basin. Entre los años 1960 y 1964 se realizaron varias exploraciones, dirigidas por Chaley y Dovbnia, ellos mapearon toda la zona de oro endógeno a escala 1: 10000 y las manifestaciones más importantes (Holguinera, Santiago, Milagro, Hugo y Maria), además de los tres yacimientos conocidos (Reina Victoria, Nuevo Potosí y Agrupada), realizando trabajos de perforaciones a 160m (Gómez Muñoz, J.N y otros, 1991; . Gómez Muñoz, J.N y otros 1977).

En 1956 M.T. Kozary, realizó una investigación en la antigua provincia de Oriente en el área de la silla de Gibara, haciendo hincapié en el estudio mas profundo de las ultramafitas de esta zona.

En esta época se publicaron libros “ geología de Cuba” por un colectivo de geólogos cubanos y soviéticos donde se plasman datos generales del desarrollo del territorio Cubano y se aportan rasgos de valor referente a cuba oriental(Furrazola y otros, 1964)

En el periodo 1972-1976, se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1: 250 000 por la Brigada Cubano - Húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. En este

trabajo también la región oriental se dividió en cinco unidades estructuro faciales y tres cuencas superpuestas, 1- Margen Norte; 2- Margen Sur; 3- Cuenca Guacanayabo - Guantánamo; 4- Sinclorium Central; 5- Cuenca de Guantánamo; 6- Zonas pre-cubanas; 7- Zona Caimán y 8- Zona Remedios, este trabajo ayudo a comprender mejor las zonas perspectivas para la prospección de los yacimientos de placer de región de Holguín.

Milnikov y Vega en 1970 ejecutaron exploraciones en los yacimientos Reina Victoria y Agrupada, para verificar la continuación de la mineralización indicada por Chaley y Dovbni, hacia las profundidades(160 m) con pozos inclinados y sin trabajos geofísicos ni geoquímicas, arribando a la conclusión de que la mineralización era empobrecida hacia la profundidad.

Se ocuparon también de la evaluación de placeres de los ríos Yabazón, los Lirios, su informe dejo cuestiones abiertas por la falta de datos de una parte de los análisis y del muestreo de control, así como por falta de los trabajos geofísicos y geoquímicas.

En 1974 Kazakov y Tabachkoz, dirigieron sus trabajos a la cercanía de Tranquera 1 y 2 y Aguas Claras, excluyendo los yacimientos ya minados. Este informe no sobrepasa los análisis geológicos hechos por Chaley y Dovbni.

Macholov e Izquierdo en 1977, profundizaron las perforaciones entre perfiles trazados por Chaley, densificando los pozos, poniendo los perfiles en distancia de 20-25m y las perforaciones con distancia de 8-10m lo que resultó una red bastante irregular, aunque amplio las reservas del bloque oriental hacia el este del yacimientos Nuevo Potosí.

En 1989 la Empresa Minera de Santiago de Cuba culmina el levantamiento geológico escala 1:50 000, con trabajos de búsqueda acompañantes bajo la dirección de J.L. Costafreda. Durante esta búsqueda se ubicaron dos sectores auríferos endógenos, con el objetivo de conectar los yacimientos Reina Victoria con Holguínera y Nuevo Potosí con Agrupada.

Como conclusiones de estos trabajos se indicaron anomalías geofísicas y geoquímicas en los yacimientos ya conocidos y en sus flancos. En estos grupos de anomalías se encuentran superpuestas anomalías radioactivas de K, con anomalías de Cu, Zn, Au, Ba, en coincidencia con el área de alteraciones y en los flancos de los yacimientos se calcularon reservas pronosticadas a 3125 Kg de oro.

1.5. Antecedentes internacionales y nacionales sobre la minería del oro.

Antecedentes internacionales.

El creciente interés por la explotación de oro de parte de muy diversas compañías mineras se origina tanto en los aumentos en los precios del oro (una onza se cotiza actualmente a un precio cercano a los 395 dólares), que brindan un alto margen de utilidad, como en la reciente creación de métodos rentables en función de los costos de producción, para la extracción de oro en yacimientos sumamente pobres, gracias a la tecnología de extracción de oro por lixiviación con cianuro.

Según la DuPont Corporation (citado por Alberswerth), es económicamente viable extraer minerales con solamente 0.01 onzas de oro por cada tonelada de mineral. Esta tecnología ha venido a sustituir a la recuperación de oro por amalgamación con mercurio, proceso ineficiente en términos de recuperación, ya que permite solo un 60% de recuperación del mineral, en comparación con más de un 97% en caso de extracción con cianuro. Sin embargo los cambios geográficos en la producción, los conflictos bélicos, ejemplo reciente el de Iraq y la adaptación a la nuevas tecnologías son los responsables de la variación de los precios del oro, otro ejemplo de ello es que Sudáfrica el mayor productor de oro del siglo XX empezó a reducir drásticamente su producción a principios de los 70 cuando producía casi al 80% del oro del mundo. Para fines del siglo XX su producción cayó a casi 20% (Revista Latinominería, 1996).

Por otro lado Australia, Estados Unidos y Latinoamérica, incrementaron su producción, esto afecto los altísimos costos de producción de Sudáfrica para sus minas subterráneas y profundas(336 \$/oz en 1990 y 236\$/oz en 1999) contra un promedio mundial de 277\$/oz en 1990 7 197\$/oz en 1999.

Los analistas también criticaron los bancos centrales que continúan efectuando prestamos en oro para cubrirse del alza futura, lo cual parece irónico, ya que de esa manera colocan en el mercado un volumen físico que baja el precio y por lo tanto baja también el valor de sus reservas.

En el año 2000 el FMI anuncio la venta del 10% de sus reservas de oro según su plan irónico de ayudar a los pobres, al par que Reino Unido, también anuncio que vendería mas de la mitad de sus reservas, razón que dejo caer el precio del oro de US\$ 300 por onza a US\$ 250, ya que el 25% de todo el oro del mundo se encuentra en las reservas del FMI, motivando de esta forma crisis en muchos países en los cuales la minería aurífera es una industria vital.

La reacción de 15 bancos de la UE (Unión Europea), Japón, Sudáfrica, Perú, Australia y Estados Unidos ayudó a subir nuevamente el precio del oro, llegado a firmarse un acuerdo entre todos, exceptuando Estados Unidos que no firmó dicho acuerdo, siendo el

mismo país que después de los acuerdos de Breton Wood en el año 1944 (donde se estableció el dólar en moneda básica de cambio entre naciones, y su vez cada dólar se encontraba respaldado por una cantidad de oro), emitió una mayor cantidad de dólares que lo podía respaldar con el oro que tenía (2/3 partes del oro del mundo), trayendo consigo el comienzo de las crisis económicas para los productores del metal oro y el desorden económico internacional.

En el mercado actual existe una significativa escasez de oferta frente a una demanda expansiva, especialmente en el mundo oriental en desarrollo, se aprecia una caída en la producción de Sudáfrica y una mínima estabilización del crecimiento de Estados Unidos y Australia, luego de años de rápido crecimiento, los gastos de exploración de 21 productores de oro de los Estados Unidos disminuyeron, mientras que aumenta la inversión en exploración en Latinoamérica, un ejemplo de ello es la Mina Yanacocha que encabeza la producción en la región y es hoy la mayor productora de oro en Latinoamérica. En Australia la Anglogold la mayor productora actualmente del mundo, con 7,5 millones de onzas anuales producidas en las operaciones que desarrolla en los cuatro continentes, adquirió los recursos de la Australia Acacia Resources y compro nuevos yacimientos en Manilla y Tanzania, proponiéndose invertir US\$ 15 millones con el fin de proseguir con las investigaciones de mercados y la identificación de oportunidades que permitan posesionar adecuadamente el oro en el mercado.

Es de destacar finalmente la elevada demanda del oro en la India, desde 50 toneladas en 1980 a mas de 350 toneladas en 1999, Japón 100 toneladas en 1982 a 600 toneladas en 1994, Taiwan, Indonesia, Hong Kong, cada uno individualmente supero la demanda de oro para fabricación de toda Latinoamérica. Se cree que el movimiento hacia la economía de mercado en estas regiones, junto con su afinidad histórica por el oro, lleve a un incremento en su demanda futura.

Según analistas a pesar de las altas y bajas del precio del metal en el mercado, existe confianza en el futuro de la minería del oro, si la industria minera mundial produce 2.250 toneladas por año, la recuperación media es del 75%, entonces deberán encontrar al menos 3.000 toneladas por año para reemplazar reservas. Otros analices reportan que en el mundo se gastan US\$ 3.6 billones anuales en exploración, de los cuales US\$ 2 billones corresponden al oro. Con un agotamiento al ritmo de 3.000 toneladas por año, significa que solamente se esta gastando US\$ 20 por onza de oro producido, esto es la mitad del gasto que tiene las compañías de exploración por cada onza que encuentren.

Este nivel es insuficiente para equilibrar la expansiva demanda de oro mundial, lo que significa que el precio del oro tiene una fuerte presión para el alza y la experiencia demuestra que cada mineral/metal tiene su propia historia de éxitos y fracasos..

Antecedentes nacionales

En Cuba a lo largo de toda su historia , la minería del oro nunca ha ocupado un lugar importante en la economía del país. Sin embargo existe algunos momentos interesantes de la historia de Cuba, estrechamente relacionados con la febril persecución de este metal por parte de los colonizadores españoles en particular y europeos en general.

Los colonizadores no obtuvieron el más mínimo éxito en la minería del oro y la plata, debido a la poca abundancia de oro suficientemente grueso como para ser recuperado por los rudimentarios métodos de aquella época, aunque en algunas localidades se pudieron obtener pequeñas cantidades de ese metal, de acuerdo con indicaciones existentes acerca de la primitiva minería aborígen. Según Antonio Calvache, en su trabajo con la minería Taina los aborígenes obtenían oro en la localidad de Gibara, Holguín, Guaimaro, Trinidad y Cienfuegos.

Durante los primeros años de la conquista de Cuba (1511 y 1530) la principal actividad de los conquistadores se considera que era la minería del oro. En su exploración de la Isla, Pánfilo de Narváez encontró oro en Bayamo (1512) y la primera fundición del oro en Cuba se estableció en Bayamo en ese mismo año que luego fue trasladada para Santiago de Cuba según Ramón de Sagra en su historia física y política de Cuba. En el periodo de 1515-1538 la producción de oro ascendió a casi 3 millones de pesos (Soto Gonzáles, 1981).

En 1843 Richar Taylor leyó ante la América Philosophical Society un trabajo sobre la geología de la región de Gibara y la presencia de cobre y oro en sus alrededores, preferentemente asociados a serpentina. En este región se ha explotado pequeñas depósitos de oro en serpentinitas al igual que la región central de Cuba en la cual el oro suele encontrarse significativamente.

Dentro de las minas destacadas están las siguientes: Descanso y Melonera (región central), Isla de la Juventud, Agrupada , Reyna Victoria, Aguas Claras (Holguín).

Durante el periodo revolucionario se han dedicado cuantiosos recursos para la prospección de este metal obteniendo resultados satisfactorios aunque no influye en gran magnitud en la economía del país.

1.6. Marco geológico regional

La constitución geológica del territorio cubano es una de las más complejas de toda la región Caribe-Antillana, y quizás por esta misma razón y por sus riquezas naturales, ha sido objeto de investigaciones durante más de centenar de años, comenzando por Alejandro de Humboldt, a finales del siglo pasado (Iturralde-Vinent, 1998)

En Cuba se pueden reconocer dos niveles estructurales principales: el substrato plegado y el neoa autóctono (Figura 2). El substrato plegado está constituido por distintos tipos de terrenos que constituyen fragmentos de las placas de Norteamérica, del Caribe y, posiblemente del Pacífico. Estos terrenos son tanto de naturaleza continental como oceánica, incluyendo rocas que se datan desde el Neoproterozoico hasta el Eoceno Superior.

El origen y evolución de los componentes tuvo lugar fuera de los límites del espacio que ocupa el territorio cubano actual. Así, la geología del substrato plegado de Cuba representa la de territorios paleogeográficos diversos (distintas placas tectónicas), tanto del Caribe occidental como del Pacífico, hasta su acreción en el borde meridional de la placa norteamericana que tuvo lugar entre el Cretácico y finales del Eoceno. El neoa autóctono está representado por las rocas y estructuras originadas a partir del Eoceno Superior, que se desarrollaron básicamente en el mismo lugar que hoy ocupa el territorio de Cuba, ya formando parte del margen pasivo meridional de la placa norteamericana.

En el substrato plegado se distinguen unidades que por su naturaleza pueden ser puramente continentales u oceánicas, distinguiéndose también unidades en que ambos elementos se encuentran mezclados con distintos grados de aloctonía.

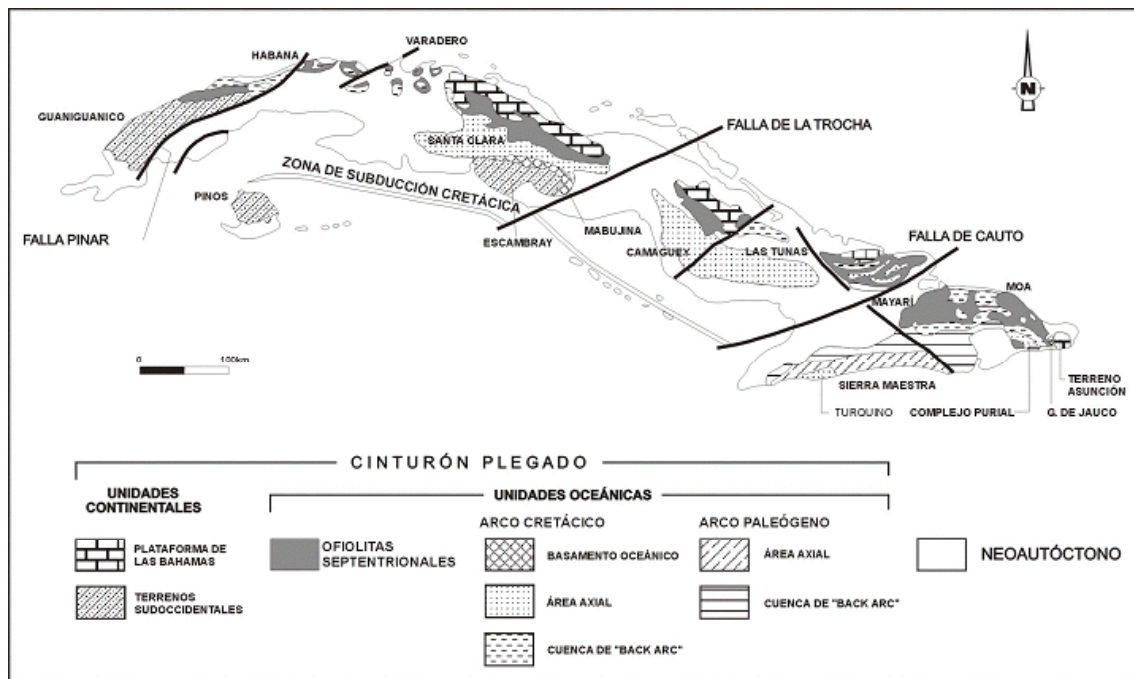


Figura 2. Mapa geológico esquemático de Cuba mostrando los afloramientos del Cinturón Plegado y del Neoautóctono (adaptado de Iturralde-Vinent, 1996).

En la región de estudio las unidades de naturaleza puramente continental están representadas por la Megaplataforma carbonatada Florida-Bahamas de edad kimmeridgiense-Aptiense la cual afloran en la Sierra de Gibara y están representadas por dolomías grises masivas de cristales gruesos, cubiertas por calizas lagunares y de rampa carbonatada con rudistas, que abarcan como mínimo del Hauteriviense al Aptiense Inferior.

Las unidades de naturaleza oceánica están representadas fundamentalmente por las ofiolitas septentrionales, la corteza oceánica que sirvió de basamento a los arcos volcánicos (infra-arcos volcánicos) y los sistemas de arcos volcánicos. En el substrato plegado también se distinguen una serie de cuencas postvolcánicas (Campaniano - Eoceno Superior) y de antepaís (Paleoceno - Eoceno Superior)

La asociación ofiolítica está ampliamente representada en toda la región de estudio, formando cuerpos alargados con dirección este-oeste. Ella está compuesta por rocas ultrabásicas con fábrica de tectonitas (harzburgitas), en mayor o menor grado serpentinizadas y representan, dentro de la litósfera oceánica, al complejo de tectonitas. Estos cuerpos se presentan en forma de escamas imbricadas dentro de las secuencias del arco cretácico, aunque también se considera la existencia de protusiones de cuerpos

serpentiníticos que en la mayoría de los casos se presentan como lentes cabalgados (Figura 3).

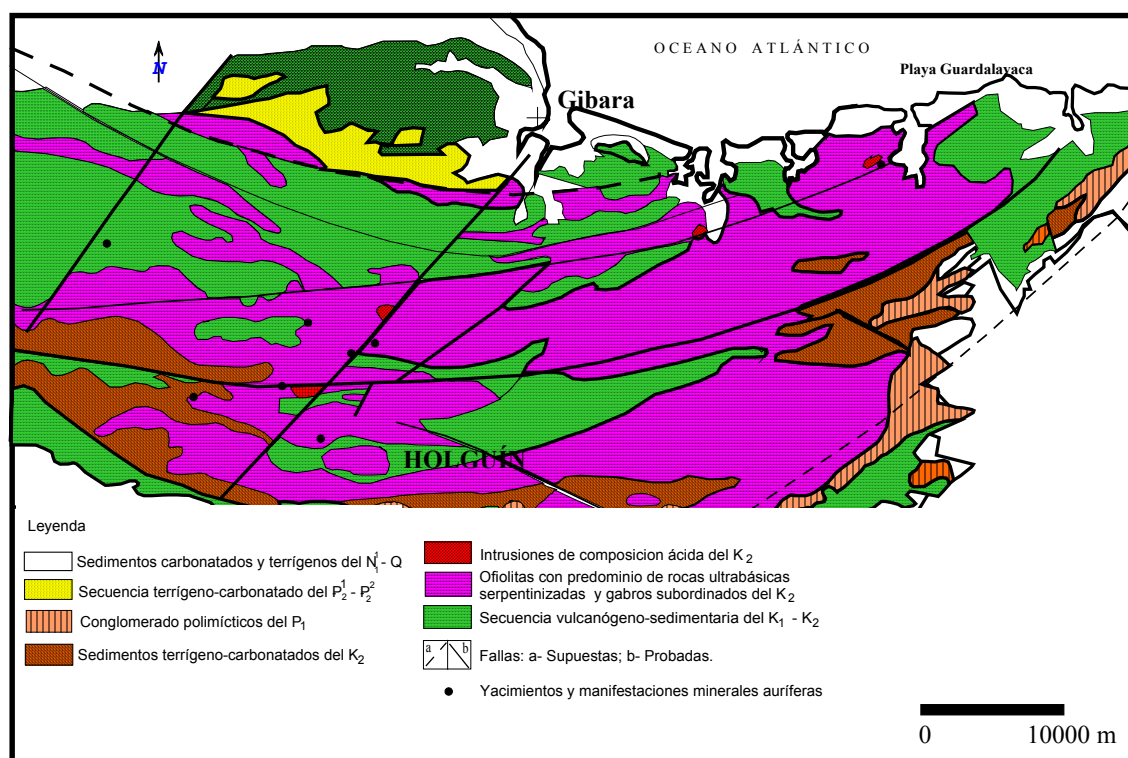


Figura 3. Mapa geológico regional de la zona de estudio (tomado del mapa geológico de la República de Cuba 1: 500 000).

El complejo cumulativo está compuesto por cuerpos de medianas y pequeñas dimensiones de gabros. El complejo de diques paralelos, al igual que en el resto de Cuba está muy mal representado o está ausente. Las rocas volcánicas de la asociación ofiolítica están compuestas por lavas en almohadillas, andesitas y basaltos de edad Cretácico Inferior. No se tiene datos de geoquímica de elementos trazas que confirmen que estas vulcanitas pertenezcan o bien a la asociación ofiolítica o bien al arco volcánico del Cretácico.

Las rocas que componen el complejo vulcanógeno-sedimentario del arco Cretácico están ampliamente distribuidas en toda la región de estudio y se extienden formando franjas con dirección este-oeste; su mayor distribución superficial ocurre en los municipios Calixto García y Rafael Freyre. Este complejo es muy variado, representado litológicamente por lavas y diques, que forman cuerpos lenticulares de diversos tamaños.

Los cuerpos de lavas tienen espesores entre 3 y 40m y son andesíticos, andesito-diabásicos y basálticos, mientras que los diques generalmente están formados por diabasas

y basaltos. Formado parte del componente vulcanógeno se encuentran rocas piroclásticas, representadas por tobas y aglomerados básicos y medios de color gris verdoso, así como lavas y brechas andesítico-basálticas. También se presentan conglomerados, areniscas, calizas y margas. Los conglomerados son de tonos grises y gris verdoso, con fragmentos subangulares y redondeados de tamaños entre 1mm y 7cm y cemento carbonatado. Las areniscas generalmente son tobáceas, de colores gris y gris verdoso, de grano medio a grueso y bien estratificadas por lo general, formando con los conglomerados intercalaciones entre 10 y 20 cm.

Las calizas tobáceas son aporcelanadas y compactas, de colores gris clara y verdoso, en parte violáceos, formando intercalaciones lenticulares, generalmente bien estratificadas, que forman paquetes de estratos entre 5 y 10 m de espesor. La parte vulcanógena representa un 95% de la secuencia, mientras que el restante 5% está formado por las calizas, conglomerados, areniscas y margas. Según las dataciones realizadas se le atribuye a este complejo una edad Albiano-Cenomaniano-Turoniano. Estas rocas contactan tectónicamente con las ofiolitas, y forman un conjunto alóctono abduciendo al margen continental de la plataforma de Bahamas (Brezsnyanszky et al., 1992).

En la estratigrafía de la región desempeñan un rol importante las formaciones que a continuación se describen.

Formación Iberia

Está asociada a la zona estructurofacial Auras, representa parcialmente a la zona Zaza de Cuba Occidental y Central. Sus rocas se presentan en la provincia de Holguín. Esta representa un complejo vulcanógeno-sedimentario muy variado; litológicamente se compone de lavas y diques, que forman cuerpos lenticulares de diversos tamaños. Los cuerpos de lavas tienen espesores entre 3 y 40m y son andesíticas, andesito-diabásicos y basálticos, mientras que los diques generalmente están formados por diabasas y basaltos. También dentro de la parte vulcanógena se encuentran rocas piroclásticas, representadas tobas y aglomerados básicos y medios de color gris verdoso, así como lavas y brechas andesítico-basálticas. También se presentan conglomerados, areniscas, calizas y margas. Los conglomerados son de tonos grises y gris verdoso, con fragmentos subangulares y redondeados de tamaños entre 1mm y 7cm y cemento carbonatado. Las areniscas generalmente son tobáceas, de colores gris y gris verdoso, de grano medio a grueso y bien estratificadas por lo general, formando con los conglomerados intercalaciones entre 10 y

20 cm. Las calizas tobáceas son aporcelanadas y compactas, de colores gris clara y verdoso, en parte violáceos, formando intercalaciones lenticulares, generalmente bien estratificadas, que forman paquetes de estratos entre 5 y 10 m de espesor. La parte vulcanógena representa un 95% de la secuencia, mientras que el restante 5% está formado por las calizas, conglomerados, areniscas y margas.

Esta formación está muy tectonizada y no presenta perfiles continuos. Está cubierta muy probablemente por la Fm. Recreo en contacto discordante, mientras que el subyacente es desconocido. Sus contactos con las rocas encajantes siempre son tectónicos.

Formación Yaguajay

La formación aflora en la zona estructuro-facial de Auras. En la superficie aparece en los alrededores de Aguas Claras y Velazco. Forma franjas con una anchura de 500m a 2000m. Estas franjas continúan hacia el este con rumbo WE y SW-NE, hasta Bariay y Guardalavaca.

La Fm. Yaguajay está constituida por serpentinitas, gabros gabrodiabasas, diabasas y por las rocas de la Fm. Iberia con sus miembros (lavas, aglomerados y lavas intermedias y basálticas, volciruditas, volcarenitas y calizas). Estas rocas están caóticamente mezcladas y plegadas, formando un melange. Los bloques de rocas que afloran en la formación tienen diámetro de 1m a 2m, hasta 15m a 20m, y su litología varía en dependencia de las rocas constituyentes. Predominan las serpentinitas, y el porcentaje de los otros tipos de rocas es casi igual que en la Fm. Iberia.

Tenemos que mencionar que en la formación se encuentran ocasionalmente inclusiones de rocas metamórficas. Por ejemplo afloran inclusiones de esquistos actinolíticos-talcosos, con un volumen de algunos metros cúbicos.

Sus contactos con las serpentinitas y con la Fm. Iberia siempre son tectónicos. Está cubierta discordantemente por la Fm. Vigía y Rancho Bravo y posiblemente por la formación Haticos, aunque se ha observado el afloramiento del contacto.

Formación Vigía

Esta Fm se compone de arenisca polimíctica, de diferentes granulometría limolita con intercalaciones de tobas riódacíticas, tufitas, margas y arcillas bentonitas de color claro. Entre estas capas en ocasiones aparecen diatomitas. Ese conjunto va desde el Paleoceno al Eoceno Medio y sus límites superior es erosivo o está cubierto transgresivamente por el Mioceno.

Formación Haticos

Ocupa una franja alargada de dirección oeste-este, al norte de Holguín, y yace sobre las formaciones Guaimaro, Crucero Contra maestre y la Jiquima. Comprende una potente secuencia olistrostrómica de brechas y conglomerados polimícticos con una matriz de areniscas y limolitas. El tamaño de los olistolitos es variable, van desde pocos metros hasta centenares y sus litologías son: ultramafitas serpentinizadas, garbos, gabro-diabasas, cuarcitas, calizas, areniscas, limolitas, basaltos, andesito-basaltos, tufitas y granodioritas.

La parte superior de la unidad está constituida por conglomerados y brechas tobáceas, con intercalaciones de tobas riolíticas o dacíticas. Contiene escasos fósiles como *Morozovella velascoensis*, Miliólidos, Radiolarios y Equinoideos, para una edad Paleoceno, lo que también se justifica en su posición por debajo de la Fm Vigía que la cubre transgresivamente y que ocupa el Paleoceno Superior y la parte baja del Eoceno Medio.

Formación Bariay

Esta formación se presenta de forma en la parte norte de la provincia de Holguín. Litológicamente esta unidad está representada por basaltos afíricos con intercalaciones de calizas y silicitas, limolitas, basaltos-doleritas y microgabros. Estos basaltos en muchas partes muestran el metamorfismo hidrotermal con desarrollo de facies zeolíticas y en partes esquistos verdes. Las alteraciones acompañantes de esta actividad hidrotermal muestran una zonación: silicificación con vetas de cuarzo, alteración compleja a illito-hidrómica-caolinita y en otras zonas esmectitas-cloritas.

En cuanto a las relaciones estratigráficas de la Fm. Bariay, es destacable que sus contactos con otras unidades siempre son de carácter tectónico.

Esta formación presenta espesores que oscilan entre los 800 y los 1000 m.

Su edad es del Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

1.7. Estilos de mineralización aurífera del distrito minero Holguín

Este distrito presenta una mineralización aurífera primaria muy particular, que en cierta medida se asemeja a la existente en el distrito de Santa Clara, caracterizada por una gran diversidad de estilos y situaciones geológicas. En general la mineralización aurífera guarda relación espacial con las rocas propias de la asociación ofiolítica destacándose los siguientes casos:

- Mineralización en zonas alteradas metasomáticamente (listvenitizadas y rodingitizadas), dentro de las serpentinitas, sin relación proximal (directa) con cuerpos intrusivos y otras rocas ígneas.
- Mineralización dentro de gabros y microgabros (doleritas) en contacto directo con cuerpos intrusivos de porfiritas andesíticas y dioritas, representadas por vetas cuarzo - carbonáticas muy ricas en sulfuros, principalmente arsenopirita y pirita con pequeñas cantidades de calcopirita. El oro se asocia fundamentalmente a la arsenopirita, aunque también se reporta algún oro nativo.
- Mineralización en el contacto de cuerpos subvolcánicos de porfiritas andesíticas con serpentinitas. El oro se encuentra asociado a sulfuros y en forma nativa diseminado dentro de los cuerpos de porfiritas andesíticas y sus contactos con las serpentinitas e incluso dentro de éstas (Tapia y Velázquez, 1994).
- Mineralización en el contacto de microgabros y serpentinitas relacionadas espacialmente con diques de andesitas porfíricas y dacíticas.
- Mineralización en el contacto tectónico entre las rocas efusivas propias del arco volcánico cretácico y serpentinitas, relacionadas espacialmente con cuerpos intrusivos de porfiritas dacíticas y dioritas cuarcíferas.
- Mineralización asociada a domos riolíticos en contacto con serpentinitas.
- Mineralización en zonas milonitizadas del contacto entre gabros y areniscas y aleurolitas molásicas.

Los casos señalados pueden ser considerados como diferentes estilos dentro del tipo de baja sulfuración relacionados con pórfidos, algunos de los cuales guardan relación espacial evidente con cuerpos de pequeñas intrusiones, mientras que en otros esta relación es distal.

Es conveniente señalar que dentro de los límites del distrito Holguín existen algunos sectores en que las rocas volcánicas se encuentran fuertemente zeolitizadas, constituyendo verdaderos yacimientos de tobas zeolitizadas. Estos sectores se relacionan espacialmente con anomalías de Cu, Zn, Ag y Au, sin embargo nunca se han considerado como un sistema epitermal. De hecho, la zeolitización es un tipo de alteración que acompaña a muchos de estos sistemas, algunos de los cuales están acompañados de yacimientos auríferos, como sucede en el distrito La Libertad, en Nicaragua. Estas evidencias permiten suponer que los sectores de rocas volcánicas fuertemente zeolitizadas del Cretácico y del Paleógeno de Cuba, constituyen indicios de la mineralización aurífera epitermal por lo que es necesaria su reevaluación desde este punto de vista.

Asociado a la mineralización primaria del distrito Holguín se conocen numerosos yacimientos de placeres aluviales de cierta importancia práctica, tales como el placer Los Lirios con recursos evaluados en 1,2 ton de oro.

CAP. II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Introducción

En el presente capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante el estudio de los principales rasgos morfológicos y texturales del oro de los sedimentos aluviales, los depósitos vetiformes de sulfuros con oro y las saprolitas y listvaenitas asociadas a rocas ultrabásicas de la región de estudio. Esta investigación tiene un carácter puramente científico, pues ella no pretende hacer valoraciones económicas, por tanto los procedimientos metodológicos de campo se corresponden plenamente con los trabajos de prospección para los cuales el método de muestreo de los concentrados pesados es el fundamental. La investigación contempló cuatro etapas principales: trabajos preparatorios, de campo, de laboratorio y de procesamiento y representación de la

información. En los epígrafes subsiguientes se detallan los procedimientos empleados en cada etapa.

2.2 Trabajos preparatorios

Para la realización de la tesis se consultaron numerosos trabajos de diploma existentes en el fondo geológico del departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería del I.S.M.M “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Además se consultaron varias tesis doctorales y de maestría elaboradas por profesores del ISMM que abordan la temática que nos compete, así como una extensa lista bibliográfica (revistas, libros, artículos, etc.) existente en el Centro de Información Científico Técnica del ISMM y que aparece reflejada en la referencia bibliográfico de este trabajo.

Es importante destacar la búsqueda bibliográfica realizada por el autor de este trabajo con relación a los trabajos ejecutados en otras regiones del país y que pudieran aportar nuevos elementos, que haciendo uso del principio de analogía nos acercaran a establecer ciertas regularidades geológicas y metalogenéticas relacionadas con nuestra área de estudio. En tal sentido cabe señalar los trabajos geológicos llevados a cabo por Geominera Camagüey en el distrito minero Golden Hill, Florencia, Esperanza, Deseada, Jacinto, Cabezada del Toro, etc., interpretados como depósitos epitermales de Alta Sulfuración; los trabajos realizados en Santa Clara, donde existen importantes yacimientos de VMS Tipo Kuroko, como son: San Fernando, Antonio, Los Mangos, Independencia, La Ceiba, Minas Ricas y Los Cerros, así como la mineralización aurífera asociada a listvaenitas del Descanso-Melonera.

En esta etapa se seleccionaron las hojas topográficas de los diferentes sectores a muestrear, los materiales de campo necesarios para la toma de muestras y se escanearon y georeferenciaron los diferentes mapas.

2.3 Trabajos de campo

Los trabajos de campo se basaron en el tradicionalmente conocido “Método de los Concentrados Pesados”, conocido en Cuba como "método de jagua" , muy ampliamente utilizado en la región oriental de Cuba por especialistas cubanos, el que satisface plenamente los objetivos propuestos en este trabajo.

Los trabajos de campo se realizaron durante la ejecución de la práctica laboral de Geoquímica aplicada en el bloque de yacimientos minerales de cuarto año de Geología, En esta etapa se muestrearon algunos ríos y arroyos importantes de la zona donde se tenía

conocimientos por parte de los pobladores de la existencia de oro u alguna actividad anterior relacionada con la minería del oro

2.3.1 Muestreo

El muestreo de los diferentes depósitos consideró dos aspectos fundamentales, ellos fueron:

- ✓ Selección y caracterización del punto de muestreo.
- ✓ Toma de las muestras.

Selección y caracterización del punto de muestreo

Esta subetapa fue realizada previamente a los trabajos de campo con la ayuda de las cartas topográficas y mapas geológicos. La selección de los puntos de toma de muestra consideró los accidentes geomorfológicos más influyentes en la acumulación de los sedimentos aluviales, la topografía del terreno, los metalotectos posibles, algunos yacimientos minerales y además datos de archivo. Posteriormente, durante los trabajos de campo se ubicaron adecuadamente los puntos de muestreos, tomando sus coordenadas espaciales de Lambert, lo cual permitió elaborar el mapa de datos reales (figura 3). Las muestras fueron tomadas en los lugares idóneos para la concentración de oro y otros minerales pesados; estos sitios coinciden, según la experiencia mundial con:

- ✓ Presencia de lenguas de tierras
- ✓ Meandros abandonados
- ✓ Obstáculos naturales en los cauces de los ríos
- ✓ Cambios de dirección en los cauces
- ✓ Terrazas jóvenes
- ✓ Bancos de arenas gruesas
- ✓ Vetas de cuarzo-carbonatos con sulfuros alterados
- ✓ Serpentinitas alteradas (saproilitas).
- ✓ Escombreras de antiguas calicatas de exploración

Antes de proceder a la toma de muestra se realizó una descripción o documentación del punto de muestreo en la libreta de campo, destacando las dimensiones de las acumulaciones detríticas, rocas aflorantes en el lecho y riberas de los ríos, dimensiones de

los fragmentos, bloques y cantos rodados, grado de selección de los materiales y su procedencia.

Toma de muestras

Antes de proceder a la toma de muestra se marcaba el punto en la hoja topográfica y se procedía a la documentación del punto de muestreo, señalando en la libreta de campo los aspectos más importantes del sitio de toma de muestra. En los depósitos aluviales el muestreo se realizó en los sectores de mayor potencia, la profundidad seleccionada para la toma de muestras por el método de los concentrados pesados osciló entre 0,2 m y 1,0 m, tratando siempre que las muestras fueran tomadas de los horizontes gravo-arenosos y gravosos, así como de las saprolitas y las listvaenitas ya que en estos materiales se dan condiciones propicias para la acumulación de oro.

El muestreo de los materiales alterados (saprolitas) y de las vetas cuarzo-carbonáticas se realizó en y desde la superficie y hasta una profundidad de aproximadamente 0,60 m.

En el caso del yacimiento Reina Victoria se tomaron muestras de las escombreras donde se depositó el material extraído de las calicatas de exploración del yacimiento mineral de igual nombre. El muestreo se realizó por surco continuo.

En todos los depósitos muestreados el volumen de material extraído fue de 5 litros aproximadamente, equivalente a unos 15 kg (material húmedo).

2.3.2 Obtención de los concentrados pesados

El beneficio del material friable se realizó en condiciones de campo y tuvo como objetivo obtener los concentrados pesados. Esta operación se realizó con la ayuda de un recipiente especial conocido en Cuba como "Batea de Jagua" de sección rectangular y con capacidad para lavar 0,07 m³ de sedimentos. Para la obtención de los concentrados pesados las muestras fueron vertidas en una batea plástica de sección rectangular y tamizadas inicialmente a 4 mm para eliminar los fragmentos gruesos, cantos rodados, restos de raíces y plantas, los cuales dificultan el proceso de obtención de los concentrados pesados. Posteriormente se procedió al lavado del material, el cual consistió en la ejecución de tres operaciones básicas:

- ✓ Levigación
- ✓ Lavado propiamente dicho
- ✓ Rectificación

Levigación

Una vez colocado el material en la batea de cedro se comienza a eliminar todo el material arcilloso presente en las muestras; para ello la batea se sumerge en el agua y se amasa, luego se decanta el agua enturbiada con las partículas arcillosas.

Lavado propiamente dicho

Se colocó la batea a 3 - 4 cm por debajo de la superficie del agua en zona de corriente suave y ejecutando movimientos de vaivén dentro del agua se logró un régimen de enturbamiento en los cuales las partículas más ligeras son eliminadas por decantación cada cierto tiempo y las más pesadas se concentran en el fondo de la batea..

Rectificación

Esta operación se realizó con sumo cuidado y su objetivo fundamental es la obtención del concentrado pesado, el cual nunca deberá ser inferior a los 50 gramos de material pesado. Durante esta operación se eliminan los minerales de color claros y gruesos y se concentran los minerales oscuros y finos. Así, el concentrado obtenido es colocado en bolsas de nylon de polietileno, enumeradas y enviadas al laboratorio para su posterior análisis. Un rasgo característico de los pesados es su color negro o gris oscuro típico de las mineralogías de las secuencias rocosas que afloran en la región.

Como resultado de los trabajos de campo se tomaron en total 19 muestras, 13 son de sedimentos aluviales y 6 de zonas de alteración (listvaenitas y saprolitas) (tabla 2) las cuales fueron ubicadas en el mapa de datos reales (figura 4)

Tabla 2 Ubicación y cantidad de muestras recolectadas en la región de estudio

Localidad	Objetos Muestreados	Mtras tomadas	Coordenadas	
			X	Y
Aguas Claras	Río Los Lirios	LCP-1	561 250	253 750
		LCP-2	560 300	252 650
		LCP-3	561 250	253 750
Aguas Claras	Arroyo Hicacos	ACP-1	557 550	256 450
		ACP-2	557 100	256 500
		AAG-1	556 600	256 400
		HCP-1	556 600	256 400

Floro Pérez	Río Yabacito	CCYAB-1	564 150	262 000
	Río Yabazón	CCYAB-2	567 600	261 550
		CCYAB-3	567 650	261 650
Santa Lucía	Río Bariay	CCB-1	588 750	265 300
Cuatro Palmas	Río Naranjo	CCN-1	599 250	268 300
		CCN-2	599 500	268 000
Cuatro Palmas	Listvaenitas (veta cuarzo-carbonática)	CCS-1	597 750	267 350
		CCS-2	597 750	267 350
		CN-1	597 570	267 350
	Serpentinita (sapolita)	MS-1	597 750	267 350
Aguas Claras	Yacimiento Reina Victoria	RV-1	553 500	253 150
		RV-2	553 500	253 150

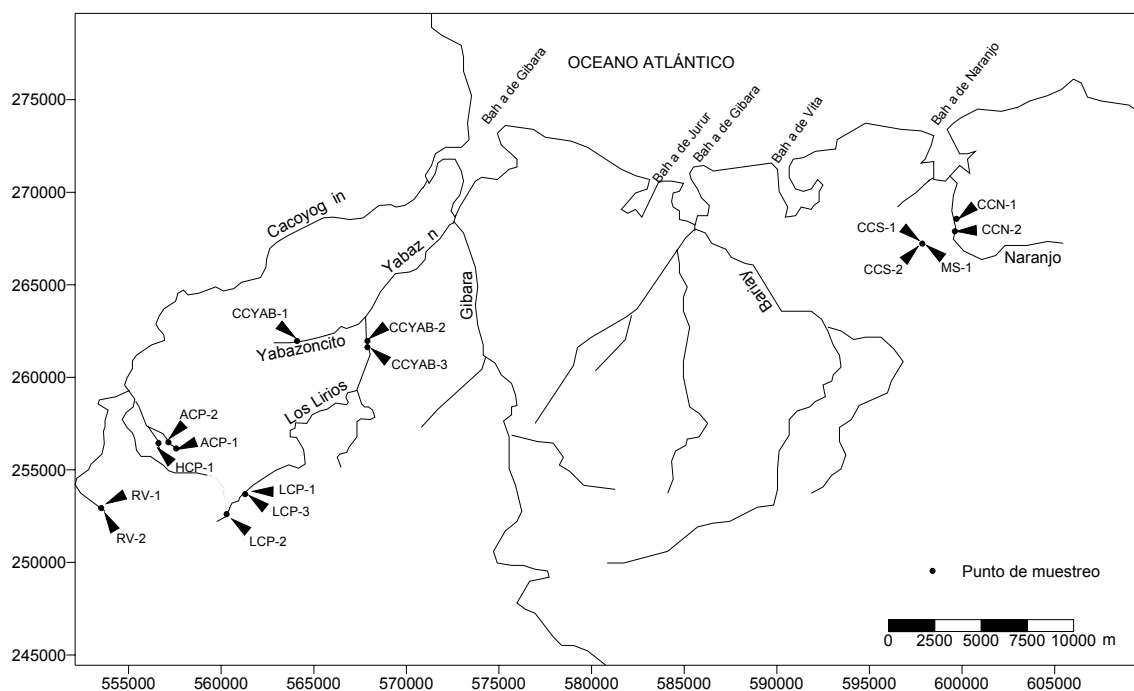


Figura 4. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo y muestras tomadas en la región de estudio.

2.4 Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio se dividieron en dos operaciones básicas:

- Preparación de las muestras para los análisis
- Análisis de laboratorio propiamente dicho

A continuación se procederá a describir cada una de las operaciones adoptadas durante los trabajos de laboratorio.

2.4.1 Preparación de las muestras para los análisis

Las muestras de concentrados pesados enviadas a los laboratorios de la Facultad de Geología del ISMM de Moa fueron sometidas a un proceso de preparación con el fin de obtener fracciones de diferentes tipos de minerales, que facilitarían la concentración de oro. Se siguió un método secuencial de secado, pesaje, separación granulométrica, separación magnética, electromagnética y densimétrica descrito en la figura 5.

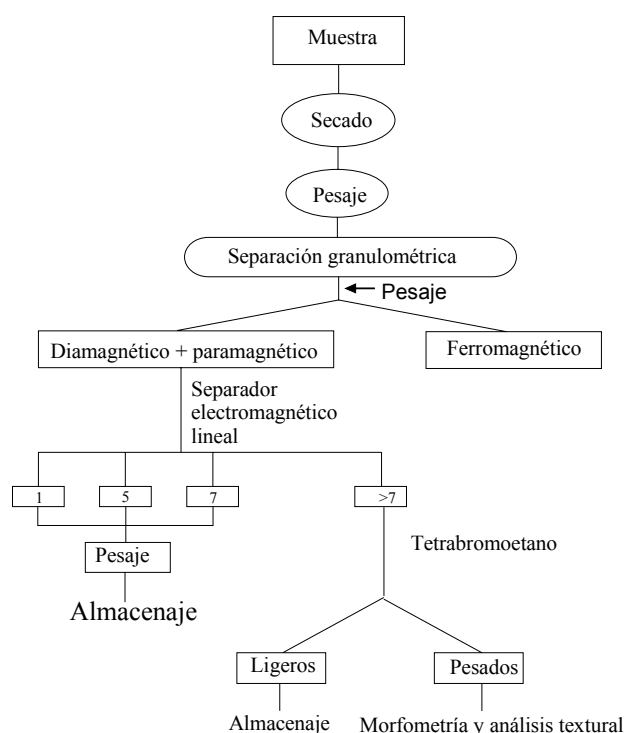


Figura 5. Secuencia de procesos utilizados en la separación de diferentes fases minerales.

El secado de las muestras se efectúa por medio de la estufa de fabricación alemana marca MEMMERT y el tiempo de exposición fue de dos horas a una temperatura de 60 °C. El pesaje inicial de las muestras se efectuó con la ayuda de la balanza analítica OWA LABOR de fabricación alemana, la cual realiza mediciones con un error de 0,1 g y tiene capacidad máxima de 1000g.

La separación granulométrica se realizó empleando un juego de tamices de fabricación inglesa con las aberturas (en mm) siguientes: 1,4, 0,71, 0,5, 0,21 y 0,1. Esta operación se

efectuó manualmente lo que permitió el control de las pérdidas. Como resultado final de esta separación se obtuvieron las siguientes clases o fracciones:

- ✓ Fracción $>1,4$ mm.
- ✓ Fracción 1,4-0,71 mm.
- ✓ Fracción 0,71-0,5 mm.
- ✓ Fracción 0,5-0,21 mm.
- ✓ Fracción 0,21-0,1 mm.
- ✓ Fracción $< 0,1$ mm.

Posteriormente las fracciones fueron sometidas a un proceso de separación magnética el cual consiste en someter cada fracción granulométrica a la acción de un campo magnético. Esta separación se le realizó a todas las clases granulométricas y para ello se empleó un imán de mano, marca Sochnev-5, de fabricación rusa. La metodología consistió en vertir la muestra sobre una hoja de papel logrando crear una superficie plana monogranular por encima de la cual se hace pasar uno de los polos del imán, los minerales atraídos son separados y colocados en un sobre de papel. Como resultado de esta operación en cada muestra de concentrado pesado se obtuvieron dos fracciones: una fracción ferromagnética (FM) y una fracción para y diamagnética.

La fracción para y diamagnética fue sometida a una separación electromagnética con la ayuda de un separador de inducción del tipo "Rodillo", de fabricación rusa, teniendo en cuenta la intensidad del campo y el ángulo de inclinación del canal vibrante. Esta separación se le practicó a las fracciones inferiores a 0,5 mm. El mismo consistió en hacer deslizar la muestra de forma continua a través de un campo electromagnético que opera al final de una canal vibratoria, el cual se divide en dos partes terminales. Los minerales paramagnéticos o electromagnéticos son atraídos por el campo, mientras que los diamagnéticos son rechazados y pasan a la parte inferior de la canal. La separación se realizó utilizando intensidades de 1, 5 y 7 A, obteniéndose cuatro fracciones, tres de ellas electromagnética (1,5 y 7 A) y una fracción no electromagnético (+ 7 A), al terminar la operación cada fracción fue pesada y colocada en un sobre de papel.

Las fracciones no atraídas con intensidad de campo de 7 Amperios (>7) fueron a un proceso de separación densimétrica, la cual se efectuó mediante la inmersión de las muestras en un líquido de densidad conocida, en nuestro caso se empleó el tetrabromoetano ($2,98 \text{ g/cm}^3$). Como resultado de esta operación los minerales de densidad mayor que el líquido se hunden, mientras que los de menor densidad permanecen flotando

obteniéndose la fracción ligera (FNEML) y la fracción pesada. Se sometieron a esta operación las fracciones 0,5 – 0,21 mm, 0,21 – 0,1 mm y la menor que 0,1 mm.

Los reactivos y materiales utilizados para la obtención de las fracciones densimétricas fueron los siguientes:

- ✓ Agitador.
- ✓ Alcohol etílico.
- ✓ Cápsula de porcelana.
- ✓ Embudo de cristal.
- ✓ Embudo separador.
- ✓ Erlenmeyer
- ✓ Papel de filtro.
- ✓ Tetrabromoetano ($d=2.8 - 2.9 \text{ g/cm}^3$).

La metodología seguida para la obtención de las fracciones no electromagnéticas pesada y ligera es la común y corriente utilizada para estos fines y aparece en numerosos manuales y normas (Pérez Mateos, L. 1965)

Todo este proceso de separación permitió obtener las fracciones siguientes:

Fracción magnética (FM).

Fracción electromagnética (FEM)

Fracción no electromagnética ligera (FNEML).

Fracción no electromagnética pesada (FNEMP)

Una vez obtenida la fracción no electromagnética pesada se procedió a la separación del oro del resto de los minerales pesados. Las muestras fueron colocadas en portaobjetos y observadas bajo el microscopio estereográfico marca Tehnival-2; posteriormente con la ayuda de agujas de cobre se extrajeron todos los granos de oro visibles y colocados en bolsas de papel. De esta forma se fueron conformando los monoconcentrados de oro necesarios para los análisis morfométricos y texturales.

Como resultado de la separación y conteo de los granos de oro se pudo cuantificar un total de 1318 partículas en los concentrados pesados obtenidos (tabla 3).

Tabla 3. Cantidad de granos de oro revelados en las muestras recolectadas.

Muestras	+1,4 mm	1,4+0,71mm	-0,71+0,5 mm	-0,5+0,21 mm	-0,21+0,1 mm	-0,1 mm	Total
LCP-3	0	0	0	0	3	3	6
ACP-1	0	0	1	9	15	1	26
ACP-2	1	0	2	4	635	309	951
HCP-1	0	0	0	2	0	0	2
AAG-1	0	0	0	8	21	11	40
CCN -1	0	0	0	1	0	0	1

CCS-1	2	0	2	4	2	32	42
CCS-2	0	0	0	0	8	7	15
CN-1	0	0	0	3	0	2	5
MS-1	0	0	0	4	51	29	84
RV-2	0	0	0	2	21	123	146
Total	3	0	5	37	756	517	1318

De un total de 1318 granos de oro encontrados en las muestras estudiadas se analizaron 153 para un 11.60 %. La cantidad de granos de oro analizados por muestra y fracciones granulométricas aparecen en la tabla 4.

Tabla 4. Cantidad de granos de oro analizados por muestras y fracciones granulométricas.

Muestras	+1,4 mm	-1,4+0,71 mm	-0,71+0,5 mm	-0,5+0,21 mm	-0,21+0,1 mm	-0,1 mm	Total
LCP-3	0	0	0	0	0	4	4
ACP-1	0	0	1	9	10	6	26
ACP-2	0	1	2	4	40	8	55
HCP-1	0	0	0	2	0	0	2
AAG-1	0	0	0	5	7	0	12
CCN -1	0	0	0	1	0	0	1
CCS-1	2	0	2	4	2	10	20
CCS-2	0	0	0	1	8	7	16
CN-1	0	0	0	3	0	0	3
MS-1	0	0	0	4	18	0	22
RV-2	0	0	0	2	0	0	2
Total	2	1	5	35	85	25	153

2.4.2 Análisis de laboratorio propiamente dicho

Esta etapa de análisis de laboratorio se realizó en el laboratorio de análisis mineralógico de la Facultad de Geología y Minería del ISMM, bajo la dirección y control del Dr. Roberto Díaz Martínez y tuvo dos objetivos principales: 1) realizar la descripción morfológica y textural de los granos de oro y 2) realizar la morfometría de los granos. Para dar cumplimiento al primer objetivo se empleó un microscopio estereográfico marca Tehcnival-2 de procedencia alemana, el cual permitió la realización de las descripciones de las formas y texturas superficiales. Para la realización de la morfometría se empleó un microscopio Jenapol de la firma alemana Carl Zeiss, instalándose al tubo del ocular 10^x un micrómetro ocular marca Mov-1-16 de fabricación rusa realizándose cuidadosamente todas las mediciones (largo, ancho y grosor) en los granos.

La medición del largo (a), ancho (b) y grosor (c) de cada grano permitió calcular tres parámetros morfométricos importantes, el diámetro equivalente (D_{eq}), el índice de aplastamiento (Iap) de los granos y el índice de esfericidad (S) la esfericidad que son parámetros que indican el grado de transporte aluvial sufrido por los granos minerales con respecto a la fuente primaria. En algunos casos brinda información adicional acerca de las formas primarias de los granos y de algunos mecanismos de redisolución en condiciones de meteorización. El diámetro equivalente se calculó mediante la expresión siguiente:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\left(\frac{6}{\pi}\right) a * b * c}$$

Donde: D_{eq} - Diámetro equivalente del grano de oro

a- largo c- grosor
b- ancho

En la siguiente tabla aparecen reflejados algunos datos de partículas esféricas en las que se ha tomado el valor del diámetro equivalente para conocer la cantidad de granos necesarios por números de partículas.

Tabla 5 Datos de partículas esféricas de oro.

Mesh (tyler)	Díametro (mm)	Peso de una partícula (g)	Número de partículas por gramo
8	2.362	0.131097	8
10	1.651	0.044771	22
20	0.841	$5.18 * 10^{-3}$	169
28	0.595	$2.476 * 10^{-3}$	477
35	0.420	$0.737 * 10^{-3}$	1357
48	0.297	$0.261 * 10^{-3}$	3837
65	0.208	$89.52 * 10^{-6}$	11170
150	0.104	$11.99 * 10^{-6}$	98361
200	0.074	$4.63 * 10^{-6}$	248058
300	0.050	$1.244 * 10^{-6}$	804151
400	0.037	$0.564 * 10^{-6}$	1984461

El índice de aplastamiento de los granos es un parámetro que se utiliza para clasificar morfológicamente los granos de oro; este se calculó la expresión siguiente:

$$Iap = a+b/2c$$

Donde: a, b y c son los mismos parámetros anteriores.

El índice de esfericidad se calcula mediante la expresión siguiente(Radulescu, D. Y Anastasiu, N., 19779)

$$S = \sqrt[3]{\frac{c^2}{a * b}}$$

Donde: a, b y c- son los mismos parámetros empleados en las expresiones anteriores

Estos parámetros han sido determinados también en trabajos similares realizados durante la exploración de oro realizada en las cuencas fluviales de los ríos Saskatchewan y el Athabasca en la región de Alberta, Canadá (Giusti, L.1986) para determinar el grado de aplastamiento o esfericidad de los granos de oro revelados en los depósitos investigados. Si el IA es pequeño indica un gran aplastamiento de los granos, mientras que valores elevados indican que las partículas prácticamente son esféricas.

2.4.3 Procesamiento de la información y representación de los resultados

El tratamiento de los datos se realizó utilizando fundamentalmente el Excel. Para georreferenciar algunos mapas empleados se utilizaron los módulos Ortho y Vectorial del programa cubano Telemap versión 2.1. El Surfer se utilizó para la elaboración del mapa geológico a escala 1: 500 000, previamente escaneado con una resolución de 200 dpi, así como para la obtención del mapa de datos reales.

Las imágenes de los granos de oro se obtuvieron con ayuda de un escáner HP Scan LTX-ScanJet 3400C. Se utilizó una resolución de 600 dpi. Los resultados han sido representados en forma de tablas y gráficos en Excel.

CAP. III. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se recogen los principales resultados de los análisis efectuados a las partículas de oro de los diferentes sectores estudiados en el distrito Holguín. La ausencia de resultados de quimismo no ha permitido completar toda la información necesaria que permita esclarecer algunos aspectos relacionados con los procesos de disolución química y el comportamiento de las aleaciones naturales en los diferentes medios: aluviales, vetas hidrotermales, listvaenitas, saprolita, etc. Es por ello que en la presente tesis de diploma se la ha prestado especial atención al estudio morfométrico y textural del oro del distrito Holguín

3.2. Tamaño, morfología y textura del oro

La interpretación de los resultados obtenidos se realizará por sectores de estudio por lo que es conveniente ofrecer una panorámica de los principales rasgos que caracterizan las cuencas fluviales y zonas de alteración muestreadas.

3.2.1 Cuenca del Río Hicacos

La cuenca del Río Hicacos posee dos pequeñas cañadas con caudales pequeños y pocos sedimentos aluviales con dirección noroeste-sureste. El sustrato rocoso está representado por las rocas de la asociación ofiolítica fundamentalmente harzburgitas serpentinizadas y gabros. El material muestreado es gravo-arenoso, compuesto fundamentalmente por clastos alargados y angulosos de harzburgitas serpentinizadas de color muy oscuro y gabros. El

material fino es arenoso y tiene la misma composición que las rocas del slecho del río. Este material se obtuvo haciendo pasar el material grueso por un tamiz de 4 mm. Estas rocas manifiestan una intensa fracturación y cizallamiento (Shear Zone) paralela a la dirección del curso de agua. La potencia de suelo es pequeña no sobrepasando los 50-60 cm. Debajo de este material aparecen guijarros y cantos rodados con poca arena que constituyó el material a muestrear.

3.2.1.1 Tamaño de las partículas de oro

En esta pequeña cuenca se encontraron 1025 granos de oro en las cuatro muestras analizadas lo que representa el 77,77 % del total del oro (1318 granos) revelado durante el presente estudio. Como se observa en la figura 6 el oro se concentra en las fracciones inferiores a 0,2 mm, alcanzando el 97,35 % su frecuencia porcentual, con un máximo del 65,75 % en la clase $-0.21+0.1$ mm, siendo esta la clase más representativa para el oro en esta cuenca. Esto significa que las partículas de oro de la cuenca Hicacos son de grano fino a muy fino, por lo que la recuperación del oro durante el lavado con bateas tradicionales, canaletas u otros equipos de concentración gravitacional es muy baja. Para la recuperación de oro de estas dimensiones se requiere de otros métodos de recuperación.

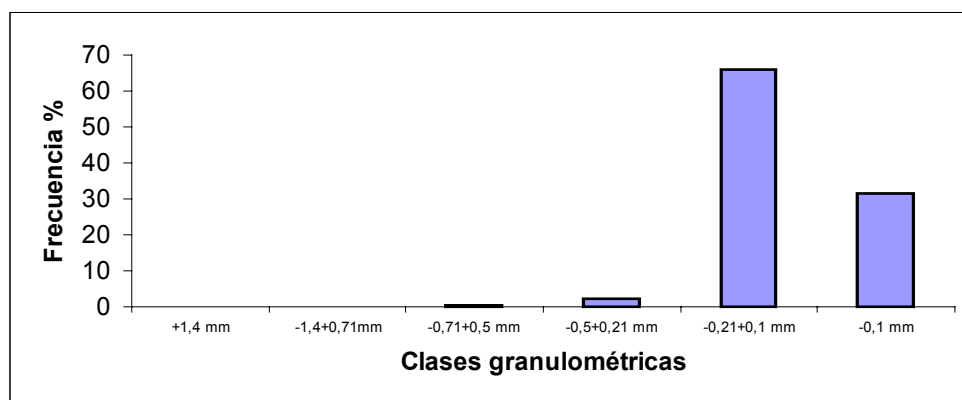


Figura 6. Distribución de las partículas de oro por clases granulométricas.

El oro de este arroyo se caracteriza por tener un tamaño medio de los granos de 0,425 mm, con un rango entre 1,6 y 0,11 mm (tabla 4). La anchura media es de 0,27 mm, mientras que el grosor medio alcanza valores muy pequeños, de 0,1 mm.

Tabla 6. Resultados del tratamiento estadístico de los datos morfométricos del oro.

Parámetros	a	b	c
Media	0,425	0,276	0,106
Error típico	0,024	0,018	0,007

Mediana	0,390	0,250	0,090
Moda	0,470	0,200	0,050
Desviación estándar	0,238	0,172	0,069
Varianza de la muestra	0,056	0,030	0,005
Curtosis	7,776	7,604	0,918
Coefficiente de asimetría	2,173	2,413	1,001
Rango	1,490	0,981	0,300
Mínimo	0,110	0,069	0,010
Máximo	1,600	1,050	0,310
Suma	40,420	26,254	10,053
Cuenta	95,000	95,000	95,000

3.2.1.2 Morfología del oro

El índice de aplastamiento es un indicador del grado de aplastamiento de un grano; este se determinó para todos los granos de oro estudiados de la cuenca, por fracciones granulométricas (figura 7). Grande valores de este índice significa granos muy aplastado. El valor promedio para la cuenca es de 5,5, alcanzando valores máximos de 31,92 lo cual indica un elevado índice de aplastamiento. Al analizar este parámetro por clases granulométricas se observa una tendencia a su disminución con la reducción del tamaño de las clases. El oro de las clases $-0.71+0.5$ y $-0.21+0.1$ mm son las que presentan un mayor índice de aplastamiento por lo que pudieron haberse transportado a mayores distancia de las fuentes primarias y mediante un flujo laminar.

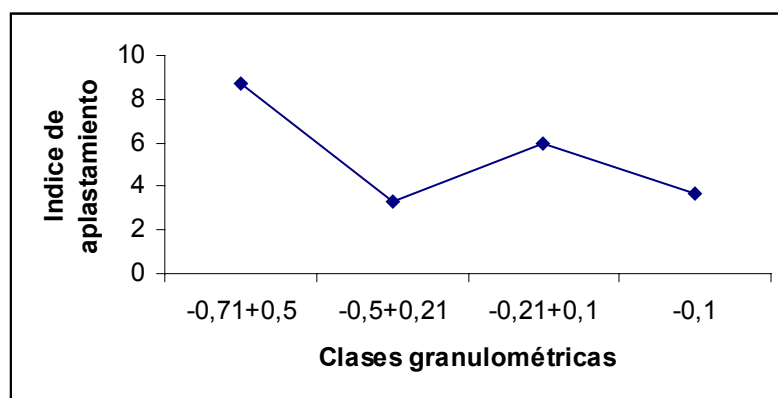


Figura 7. Relación entre las clases granulométricas y el índice de aplastamiento de las partículas de oro.

El diámetro equivalente es una medida del tamaño real del grano cuando se analizan sus tres ejes (a, b y c). Como se observa en la figura 8 el oro correspondiente a las clases granulométricas más pequeñas son las que poseen un menor diámetro equivalente.

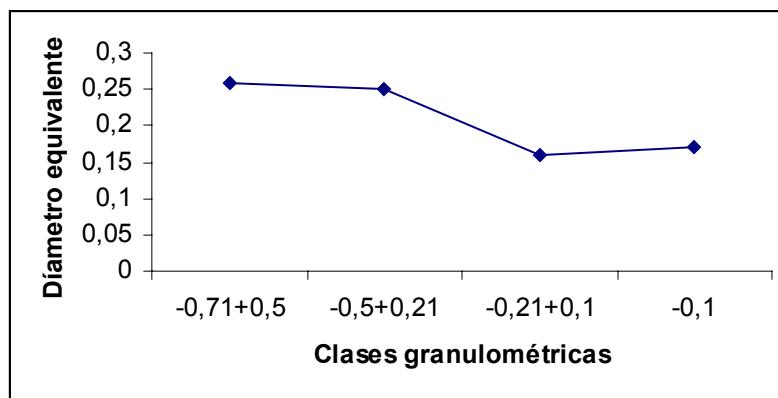


Figura 8. Relación del diámetro equivalente de las partículas de oro según las clases granulométricas analizadas.

El tercer parámetro que se consideró en este estudio fue la esfericidad. Este es un índice de la forma. Si consideramos al eje a (largo) como el diámetro máximo, el eje b (ancho) como el diámetro medio y al eje c (grosor) como el diámetro pequeño podemos calcular la esfericidad .

Comúnmente una esfera es un objeto con $a=b=c$ y, por tanto, con la forma más simple y regular, todas las formas se refieren a ella; por esfericidad se entiende la medida en que una forma cualquiera se aproxima a la forma esférica. La esfericidad refleja la calidad del medio en el momento de la acumulación; el predominio de partículas con índice de esfericidad idéntico indica una acción uniforme de los agentes de erosión (Fig. 9).

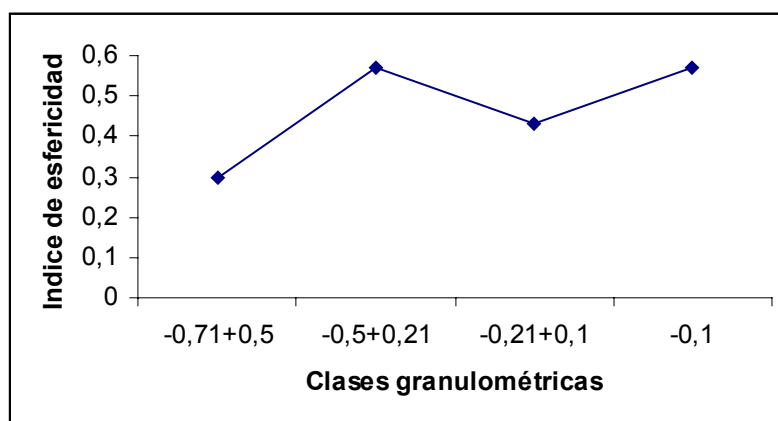


Figura 9. Relación del índice de esfericidad según las clases Granulométricas.

El estudio morfométrico de las partículas de oro de esta cuenca reveló dos formas principales, la discoidal y la laminar (figura 10). El oro presente en los sedimentos al parecer está asociado a zonas de cizallas dentro de las serpentinitas, siendo poco probable que su forma se deba a un intenso mecanismo de transporte. Este aspecto es importante ya

que en ocasiones durante el estudio morfométrico del oro las formas primarias pasan inadvertidas ante la vista de los investigadores.

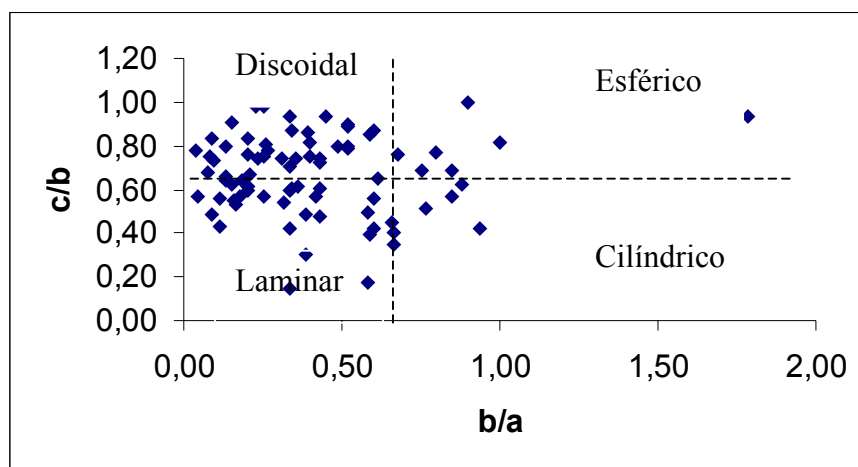


Figura 10. Morfometría del oro de la cuenca Hicacos.

3.2.1.3 Textura superficial del oro

La textura superficial observada en el oro de esta cuenca es muy irregular, en ocasiones con estriado superficial, porosa y contornos irregulares, ganchuda. El entrecrecimiento con cuarzo es muy frecuente, de ahí que el oro se asocie fundamentalmente a pequeñas vetillas de cuarzo hospedadas en las serpentinitas, con efectos de transporte prácticamente ausentes. En asociación paragenética se encuentran minerales tales como carbonatos, cuarzo, serpentinas, olivinos, cromita, magnetita, rutilo, circón. Estos minerales son propios de ambientes ofiolíticos en que las ultrabasitas han experimentado una intensa serpentinización.

Concluyendo podemos decir que el oro de la cuenca Hicacos es fino, poco transportado, su forma principal es la discoidal-laminar y se asocia a zonas de cizallas en peridotitas serpentinizadas.

3.2.2 Sector Cuatro Palmas

En el sector de Cuatro Palmas afloran harzburgitas muy serpentinizadas o serpentinitas que contactan tectónicamente con cuerpos de porfiritas andesíticas muy mineralizadas. Las serpentinitas han sufrido una meteorización posterior al proceso metasomático que han dado lugar a que estas sean remplazadas por listvaenitas. Ellas se presentan con elevado grado de cuarcificación y carbonatización, llegando a veces a formarse vetas de cuarzo-

carbonatos con sulfuros. La meteorización consiste en la destrucción del olivino y los piroxenos pero sin llegar a formarse abundante óxidos de hierro. Este proceso ha provocado la formación de un material de color verdoso-amarillento muy deleznable que se desmorona fácilmente al romperlo con la piqueta. Se trata de un material saprolítico muy enriquecido en oro, pero cuya distribución es muy irregular, pues en varios sitios cercanos donde se tomaron muestras los resultados fueron muy diferentes. Un hecho interesante es la presencia de augita aluminica muy poco alterada, indicando la presencia de cuerpos volcánicos, difíciles de detectar por el enmascaramiento producido por la meteorización.

3.2.2.1 Tamaño de las partículas de oro

En el sector de Cuatro Palmas se detectaron 147 granos de oro en las cinco muestras analizadas lo que representa el 11,15 % del total del oro (1318 granos) revelado durante esta investigación. Como se observa en la figura 11 el oro se concentra en las fracciones inferiores a 0,2 mm, alcanzando una frecuencia porcentual del 89 % en la clase $-0,21+0,1$ mm, siendo esta la clase más representativa para el oro en este sector.

No obstante, se puede observar que un 11 % del oro se presenta en las fracciones por encima de 0,21 mm. Este hecho tiene particular importancia ya que a diferencia de la zona anterior, el oro de Cuatro Palmas es mucho más grueso, siendo más rentable la explotación mediante métodos gravitacionales.

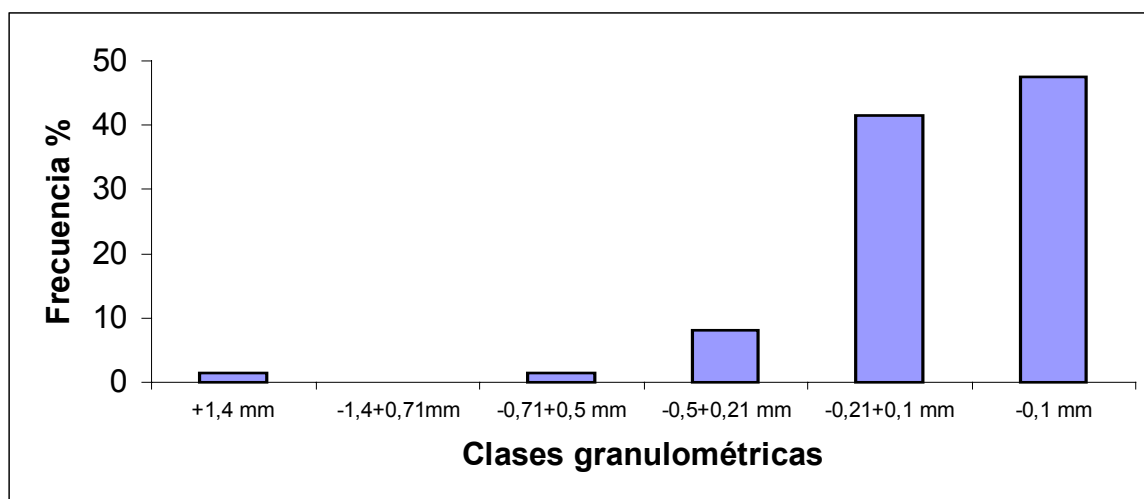


Figura 11. Distribución de las partículas de oro por clases granulométricas.

El oro de Cuatro Palmas se caracteriza por tener un tamaño medio de los granos de 0,413 mm, con un rango entre 3,5 y 0,06 mm (tabla 7), estos valores confirman que el oro

de este sector alcanza el rango de pepitas al sobrepasar los 3mm de longitudes. La anchura media es de 0,257 mm, con rango entre 2,00 y 0,04 mm, mientras que el grosor medio alcanza valores 0,129 mm, muy superiores a los de Hicacos.

Tabla 7. Resultados del tratamiento estadístico de los datos morfométricos del oro.

Parámetros	A	b	c
Media	0,413	0,257	0,129
Error típico	0,065	0,037	0,017
Mediana	0,300	0,180	0,080
Moda	0,130	0,100	0,060
Desviación estándar	0,520	0,297	0,138
Varianza de la muestra	0,270	0,088	0,019
Curtosis	22,202	19,545	11,889
Coefficiente de asimetría	4,317	3,952	3,154
Rango	3,440	1,960	0,800
Mínimo	0,060	0,040	0,020
Máximo	3,500	2,000	0,820
Suma	26,030	16,218	8,143
Cuenta	63,000	63,000	63,000

3.2.2.2 Morfología del oro

El índice de aplastamiento como ya se indicó en el epígrafe 3.2.1. indica el grado de aplastamiento de un granos. El valor promedio para es sector es 3,17, alcanzando valores máximos de 12,14, lo que indica un bajo grado de aplastamiento. Al observar el comportamiento de este parámetro según se observa en la figura 12, existe una ligera tendencia a la disminución del aplastamiento con respecto a la disminución de los valores granulométricos. Es de destacar que el oro de este sector no tuvo movimiento mecánico alguno excepto, sino más bien el experimentó un desgaste debido a la acción de los agentes de la meteorización, principalmente los ácidos. Este indicador permite identificar las formas primarias del oro y sus posibles mecanismos de disolución..

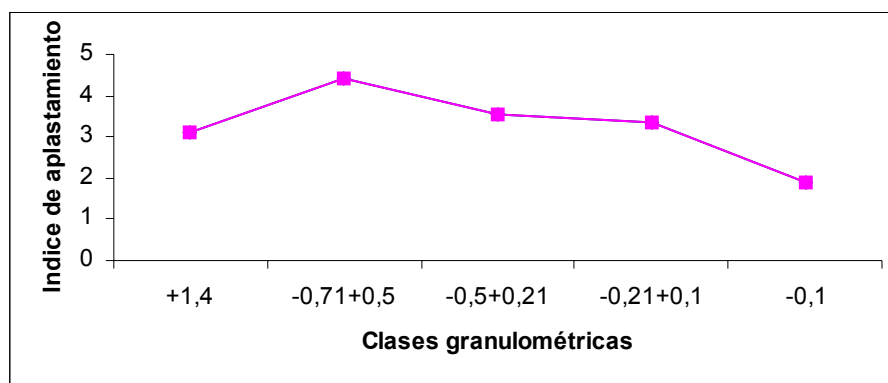


Figura 12. Relación entre las clases granulométricas y el índice de aplastamiento de las partículas de oro.

El diámetro equivalente medio de los granos de oro se determinó por clases granulométricas. Como se puede observar en la figura 13 este parámetro disminuye con la disminución del tamaño de las clases granulométricas. Las partículas muy pequeñas poseen pequeños diámetros equivalentes. Esto pudiera estar relacionado con los fenómenos de disolución a que son sometidos los granos de oro.

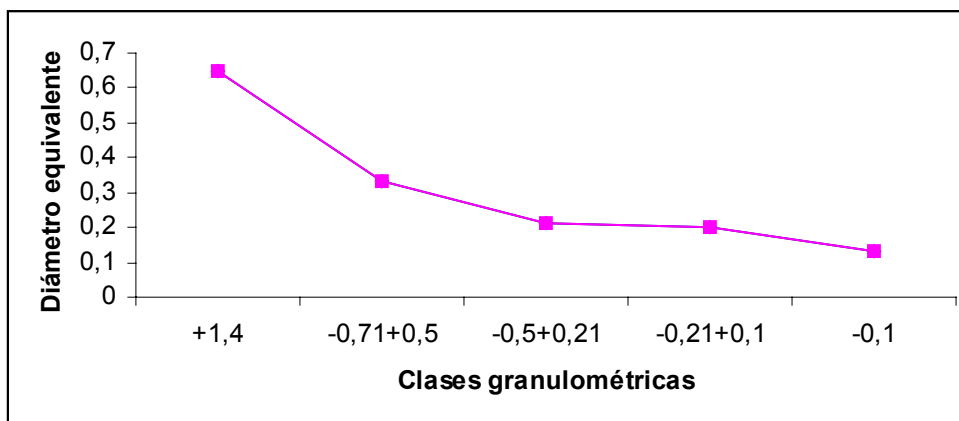


Figura 13. Relación del diámetro equivalente de las partículas de oro según las clases granulométricas analizadas.

El índice de esfericidad (figura 14) aumenta progresivamente a partir de la clase $-0.71+0.5$ mm alcanzando valores próximo a 0,8 en la fracción menor de 0,1 mm. Esto indica que las partículas muy pequeñas son mucho más isométricas que las mayores. Estas partículas al sufrir un mayor efecto de la corrosión y disolución por los agentes de la meteorización adquieren formas más esféricas en comparación con las partículas de mayores dimensiones. Es muy probable que ellas se muevan en un medio coloidal lo que le confiera mayor esfericidad una vez que vuelven a redepositarse.

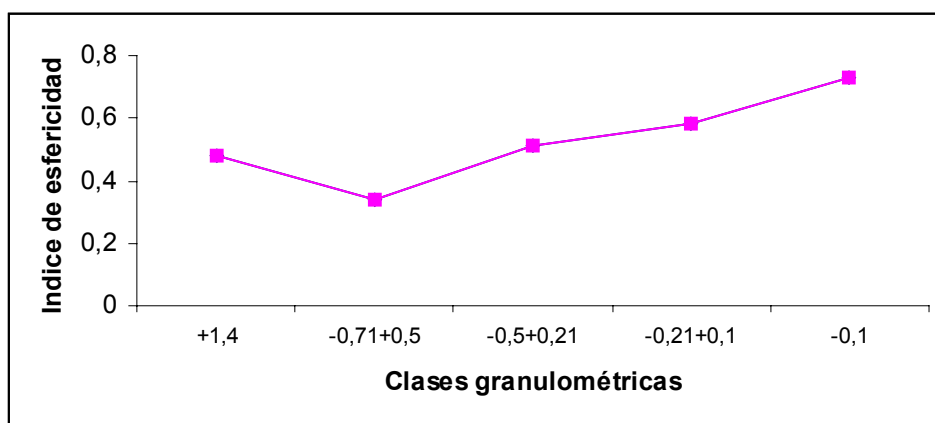


Figura 14. Relación del índice de esfericidad según las clases granulométricas.

El estudio morfométrico de las partículas de oro del sector Cuatro Palmas reveló, al igual que en el sector anterior dos formas principales: discoidal y laminar. Estos resultados están en plena correspondencia con la posible génesis del oro; este metal noble se originó

producto a procesos de listvaenitización, por lo que se hospeda fundamentalmente en los planos de cizalla de las serpentinitas, que son los conductos más favorables por donde circulan los fluidos mineralizan, provenientes de los focos calientes próximos a la zona de estudio (Figura 15).

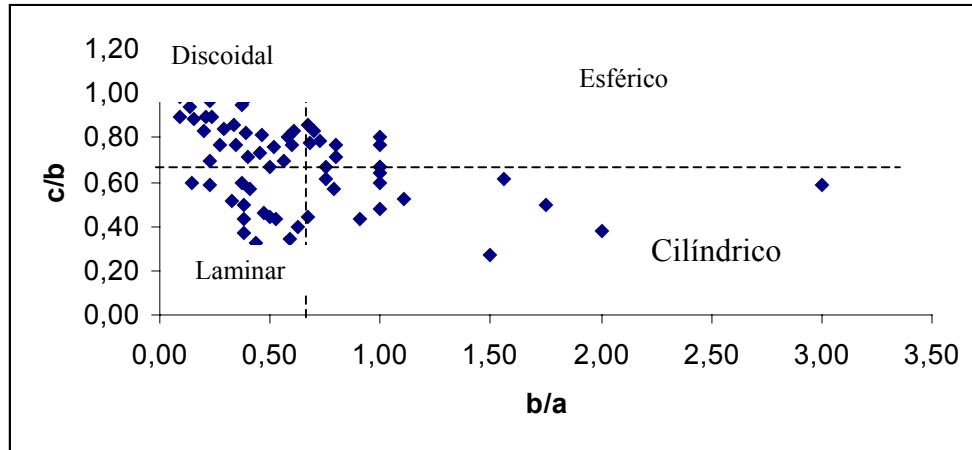


Figura 15. Morfometría del oro del sector Cuatro Palmas.

3.2.2.3 Textura superficial del oro

Los rasgos texturales de las partículas de oro fueron observados bajo la lupa binocular. La mayoría de los granos presentan formas tabulares, granos alargados, con superficies irregulares (figura 16). Algunos granos presentan entrecrecimientos con otros minerales, entre los que se destacan el cuarzo y los carbonatos. En la superficie de los granos se observa un materia muy fino de color blanco con tintes rosados. También fueron observados granos con textura típica primaria: estrellas, cubos, octaedros; también se observaron granos muy redondeados y corroidos por soluciones químicas, responsable de la disolución del oro primario. Los rasgos texturales que presenta el oro de Cuatro Palmas indica que han sufrido intenso proceso de lixiviación mediante ligandos que pudieran ser complejos clorurados.



Figura 16. Imagen de granos de oro de Cuatro Palmas

3.3. Consideraciones generales acerca del mecanismo de formación del oro

Atendiendo a los principales rasgos geológicos existentes en el distrito Holguín y las particularidades morfológicas y texturales del oro revelado durante esta investigación podemos concluir que la mayoría de los sectores mineralizados con oro del distrito se hospedan en típicas listvaenitas, con un control tectónico claro al estar confinado a zonas de cizallas de los mantos de cabalgamiento. Las formas laminar-discoidal así lo confirman. Este oro se caracteriza por ser de granulometría fina aunque en Cuatro Palmas suele ser algo mayor y además, por presentar claras evidencias de efectos secundarios postdeposicionales: corrosión y cariado de la superficie con numerosas cavidades y poros.

Considerando la elevada frecuencia de aparición del oro en este distrito consideramos se tenga en cuenta para la realización de futuros trabajos de exploración con vista a explotar dicho recurso empleando la pequeña minería como principal estrategia por parte del estado cubano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber realizado un enorme esfuerzo para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en este trabajo, con la ayuda incondicional del Dr. Díaz-Martínez, R., tutor del trabajo, quien dio las principales orientaciones metodológicas y además, realizó gran parte de los análisis morfométricos y texturales del oro revelado en el distrito Holguín concluimos esta tesis de grado arribamos a un grupo de conclusiones y recomendaciones que expresamos a continuación.

Conclusiones

1. El oro de los sectores estudiados del distrito Holguín, independientemente de su origen o génesis se caracteriza por su elevada frecuencia de aparición, pequeñas

dimensiones, más del 70 % de todo el oro se concentra en las clases granulométricas inferiores a 0,5 mm.

2. La principal forma de presentarse el oro es la discoidal-laminar lo que sugiere los siguientes metalotectos: zonas de listvaenitización, sobre todo en el contacto con los cuerpos subvolcánicas e intrusiones ácidas del paleógeno; vetas de cuarzo-carbonatos asociadas a las listvaenitas; zonas de intenso cizallamiento de las ultrabasitas. Este oro al ser fino es muy difícil de detectar mediante métodos visuales.
3. Las texturas más frecuentes observadas son las irregulares, porosas, angulosas, evidenciando poco transporte, cercanía de las fuentes primarias y fuertes efectos de corrosión por soluciones químicas que han atacado al oro primario.

Recomendaciones

1. Considerar la granulometría fina del oro en futuros métodos de beneficio durante la explotación de este importante recurso mineral.
2. Considerar al sector de Cuatro Palmas como uno de los sectores más importantes para la futura minería del oro en esta importante región del país.
3. Emplear litogeoquímica de roca y sedimentos de corrientes en zonas de elevada actividad tectónica debido al tamaño muy pequeño de los granos.
4. Realizar estudios en profundidad en las zonas de alteración metasomática y otros sectores con vista a descubrir mineralización primaria de elevado valor económico.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional de Cuba (1989). Nuevo Atlas Nacional de Cuba, et al; 1989. p. VI.1.1
- Academia Nacional de Cuba (1985). Mapa geológico de la República de Cuba, escala 1: 500 000.
- Bermúdez Furrázola, Gustavo F., Cambra Núñez, Kenya E.: Estudios Sobre la geología de Cuaba. 1997. p 36.
- Breznysnyanzky K., Korpas, L. Y Susin, O. (1992). Perfil transversal tectónico interpretativo de Cuba oriental. *Ciencias de la Tierra y el Espacio* (20): 49-56.
- Díaz-Martínez, R. (1996). Particularidades de la distribución del oro, platinoides y otros minerales pesados en el noreste de Cuba oriental. Tesis doctoral. ISMM. Moa. Departamento de Geología. 1996
- Giusti, L. (1985) The morphology, mineralogy, and behavior of "fine-grain" gold from placer deposit of Alberta: sampling and implications for mineral exploration. *Can. J. Earth Sci.* Vol. 23. p. 162-311.

- Gómez Muñoz, Jose Nicolas., Perez Renges, Carmen Rosa (1981): Estudio mineragrafico preliminar del campo aurífero Aguas Claras, Holguin. Cuba; G-344, CICT, p 4.
- Gómez Muñoz, J. N.; Melgar G, Orozco (1977): Estudio mineragrafico del Yacimiento Nuevo Potosi. Holguín. Cuba. Tesis de grado.G-79, CICT, p 4.
- Iturralde-Vinent, MA. (1996). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. Contribución Especial N¹, ICGP Proyect W364, Miami, USA, p. 265.
- Iturralde-Vinent, MA. (1998). Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta geológica Hispánica. Vol. 33, No. 1-4, p. 9-56.
- Martinez, C. : Prespectivas auríferas de los depositos aluviales en la region de Holguin. Cuba. Tesis de grado. No 48, Centro información Geologica, 1995. p 5.
- Revista Latinomineria(1996). Fuetes expectativas por el alza en el precio del oro. No. 19, Julio, p. 13-15.
- Radulescu, D. Y Anastasiu, N. (1979). Geneza sedimentelor. Partea I. Editura Didáctica si pedagogica, Bucuresti.
- Rodríguez vega, A., Díaz-Martínez, R.(2001). La mineralización aurífera en Cuba: clasificación y rasgos geológico-geoquímicos para la prospección. *Minería y Geología*, XVIII (1):3-20.
- Rodríguez vega, A., Díaz-Martínez, R.(2001)La mineralización aurífera en Cuba”. EN: José Antonio Espí: Libro de la minería del oro en Iberoamérica. Red XIII-B, CYTED. Amanuel 4, Madrid, España.: 249-264.
- Tapia, M. E. y M. J. Velásquez (1994): Sobre el grado de estudio de los recursos auríferos en la región de Holguín. Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba, Octubre.

Información de Internet

<http://www.holguin.cu/categorias/economia/economia.htm>
www.snmpe.org.pe