Infomin, Vol. 15, enero-diciembre 2024, E-ISSN: 1992-4194, http://www.infomin.co.cu

Artículo Original

Particularidades mineralógicas, implicaciones geológicas y tecnológicas del yacimiento auro - telurídico Florencia. Cuba

https://cu-id.com/2144/v15e16

Mineralogical particularities, geologicals and tecnologicals implications on the auro-telluride deposit Florencia. Cuba

Jesus Manuel Lopez Kramer*

RESUMEN: La explotación de oro en las provincias de Camagüey y Las Tunas en el Distrito aurífero de Guaimaro- Jobabo (coto minero de Jobabo) se inició desde la época de la colonia y continuó en operaciones hasta mediados del siglo pasado. Son conocidos en sus alrededores prospectos y manifestaciones con oro de diferentes tipos genéticos que han sido estudiados en diferentes fases de investigación geológica. Las investigaciones detalladas sobre la composición sustancial de las menas y rocas del yacimiento Florencia, seleccionado como patrón permitieron argumentar los pronósticos metalogénicos en áreas análogas. El análisis de los resultados parciales de estudios interdisciplinarios desarrollados por los autores, las publicaciones en revistas especializadas y datos de otros autores, así como técnicas modernas de investigaciones de minerales realizadas en Cuba y en laboratorios de diferentes países permitieron aportar nuevos datos sobre la composición sustancial de las menas, las formas en la que se encuentran los minerales concentradores del oro y la plata, así como su influencia en los concentrados. Se confirma la clasificación mineralógica para este yacimiento propuesta con anterioridad. Los minerales que concentran los elementos valiosos: oro nativo, electrum y minerales del grupo de los telururos de Au y Ag, además de minerales de Te, Ag, Bi, Ni y Pb. Basado en su tipo mineralógico y sus parámetros físicos-químicos Florencia se clasifica como auro - telurídico, formado a profundidades someras y bajas temperaturas.

Palabras clave: Cuba, mineralogía, oro, génesis, telururos.

ABSTRACT: Guaimaro-Jobabo (Jobabo mining preserve) began since colonial times and continued in operations until the middle of the last century. Prospects and manifestations with gold of different genetic types that was been studied in different phases of geological research are known in its surroundings. Detailed investigations on the substantial composition of the ores and rocks of the Florencia deposit, selected as a pattern, allowed us to argue metallogenic forecasts in analogous areas. The analysis of the partial results of interdisciplinary studies developed by the authors, publications in specialized journals and data from other authors, as well as modern mineral research techniques carried out in Cuba and in laboratories in different countries allowed us to provide new data on the substantial composition of the ores, the forms in which the gold and silver concentrating minerals are found, as well as their influence on the concentrates. The previously proposed mineralogical classification for this deposit was confirmed. The minerals that concentrate valuable elements: native gold, electrum and minerals from the telluride group of Au and Ag, as well as minerals of Te, Ag, Bi, Ni and Pb. Based on its mineralogical type and its physical-chemical parameters, Florencia was classified as auro-telluridic, formed at shallow depths and low temperatures

Keywords: Cuba, mineralogy, gold, genesis, tellurides.

INTRODUCCIÓN

El yacimiento Florencia se ubica al SE de la provincia de Camagüey, a unos 2 km del municipio de Guaimaro se desarrolla en rocas de la Formación Guáimaro (K_1 Aptiano-Albiano- K_2 Coniaciano). A pesar de haber existido una intensa actividad minera y una planta de beneficio, la composición sustancial de las menas del yacimiento Florencia no fueron investigadas detalladamente antes de 1959. Las escasas informaciones técnicas de los trabajos que se

Recibido: 15/12/2023
Aprobado en su forma original: 21/01/2024

Instituto de Geología y Paleontología. Ave Vía Blanca No 1002 / Río Luyanó y Prolongación de Calzada de Güines, Reparto Los Ángeles, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. CP 11000.
* lidiahernandezfernandez667@gmail.com

Conflicto de Intereses: El autor de este trabajo declara que no existe conflicto de intereses.
Contribución del autor: Conceptualización: Jesus Manuel Lopez Kramer. **Análisis formal de datos**: Jesus Manuel Lopez Kramer. **Investigación:** Jesus Manuel Lopez Kramer. **Metodología:** Jesus Manuel Lopez Kramer. **Redacción-borrador original:** Jesus Manuel Lopez Kramer. **Redacción-revisión y edición**: Jesus Manuel Lopez Kramer.
Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

conservan son muy generales y consistían en datos dispersos sobre la explotación, lo atestiguan la existencia de dos pozos de mina antiguos, uno de 80 m de profundidad y otro de 30 m con galerías, así como numerosas excavaciones someras.

Existe una larga lista de trabajos desarrollados desde 1960 en Florencia, con la participación de geólogos de la Unión Soviética, a partir de 1993, la Asociación Económica Internacional (AEI) entre MacDonald Mines Ltd.- GeoMinera S.A. desarrolló un intenso programa de exploración en Florencia que permitieron profundizar en el estudio de las menas, confirmar los estimados de recursos de menas primarias de 5 t de metal y ley de 5 g/t de Au, conocidos con anterioridad y concluyen con el Estudio de Pre Factibilidad. Los trabajos fueron detenidos y no se continuaron debido a la caída de los precios del oro en el mercado internacional.

Las menas el yacimiento Florencia han sido estudiadas por Maslov Y.C. (1969), Santa Cruz y Krapiva. (1982), estos autores reportan por primera vez la presencia de telururos de bismuto, plomo, oro y plata utilizando fundamentalmente métodos mineragráficos para el diagnóstico de los minerales (constantes ópticas), más raramente la Microsonda Electrónica (Electron Microprobe Analisis (EMPA). Como resultados se caracterizó la composición mineral, pero quedaron algunas cuestiones no resueltas sobre la composición química en los cuales se concentran el oro y la plata, así, como la determinación de los minerales del grupo de los teluros de difícil diagnóstico que basados solamente en los métodos mineragráficos, es dudosa y la débil caracterización de la composición química de los elementos impurezas, además de los concentrados de las muestras tecnológicas MT-3 Y MT-4.

En López - Kramer 1988, Bortnikov *et al*.,1989, en base al material recopilado en los niveles 1 y 2 de la mina y las observaciones en las galerías de exploración describen los estadíos de mineralización, las asociaciones parageneticas y las características de la composición química de los minerales meníferos. Las investigaciones de las inclusiones fluidas, la composición química e isotópica (S, O_2) de los minerales que coexisten en el cuarzo, permitieron argumentar sobre las condiciones de deposición de las menas. Con la utilización de los métodos de Microsonda Electrónica (Electron Microprobe Analisis (EMPA), logran incrementar la relación de telururos conocidos al reportar la presencia otros minerales de este grupo no conocidos con anterioridad.

En Toledo *et al*., 2017, describe un conjunto de telururos cuya existencia en Florencia no se habían reportado a partir de la microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos X y caracterizar las partículas de oro, el microanálisis Raman confocal, análisis térmico.

Los concentrados de las menas han sido investigados en los laboratorios del Centro para las Investigaciones Minero Metalúrgicas (CIPIMM), Instituto de los yacimientos minarles, Geología, Petrografía, Mineralogía y Geoquímica (IGEM) de la Academia de Ciencia de Rusia, AUTOKUMPUT de Finlandia y Chemex Lab de Canadá.

Los estudios realizados de las menas en las dos zonas minerales permitieron concluir que ambas tienen características diferentes, que en las menas primarias del yacimiento Florencia el principal mineral concentrados del Au, es el oro nativo de alta ley, la presencia mineral como el electrum y la plata nativa es limitada, además, la presencia de un amplio grupo de minerales del grupo de los telururos que aportan Au y Ag. Estos elementos evidenciaron la necesidad de Investigar un problema pendiente a resolver para las menas primarias del yacimiento Florencia que radicaba en la obtención de una tecnología para su procesamiento que permita elevar la recuperación del oro por los bajos resultados en la recuperación de oro en los concentrados. Por tal motivo, era necesario determinar las formas en la que se encuentran los minerales concentradores del oro y la plata, así como su influencia en los concentrados, para lograr establecer un balance equitativo entre la interrelación de estos dos grupos de minerales concentradores del oro y la plata en los concentrados. Basado en su tipo mineralógico el yacimiento se clasifica como auro-telurídico y por sus parámetros físicos-químicos formado a profundidades someras.

Marco Geológico

En el Arco Volcánico Cretácico (AVK), en las provincias de Ciego de Ávila - Camagüey - Las Tunas son conocidos prospectos con oro de diferentes tipos genéticos como se muestran en la figura 1, La Unión cobre porfídico, Golden Hill epitermal de alta sulfuración, estos han sido estudiados por Primelles *et al*., 1998; López - Kramer *et al*., 1990; Primelles *et al*., 2003; Simon *et al*. (1999; Capote, 2004), entre otros.

Entre los del tipo Epitermales de baja sulfuración, los yacimientos Florencia y Jacinto son los más estudiados. Florencia - Iron Hill ubicados al sur de los granitoides y Jacinto de baja sulfuración alcalina (adularia-sericita) al norte. Estos tienen como característica común: su ubicación en estructuras complejas de sistemas vetíticos en los que usualmente los contenidos de oro son altos con una distribución errática, por sus recursos de menas primarias son clasificados como pequeños, cotas bajas y relieves poco desmembrados, actividad Neotectónica, pequeños gossans inmaduros, la pirita como mineral principal, minerales de grupo de los telururos, siendo notable la casi ausencia de arsenopirita y de los minerales de arsénico, así como la baja relación

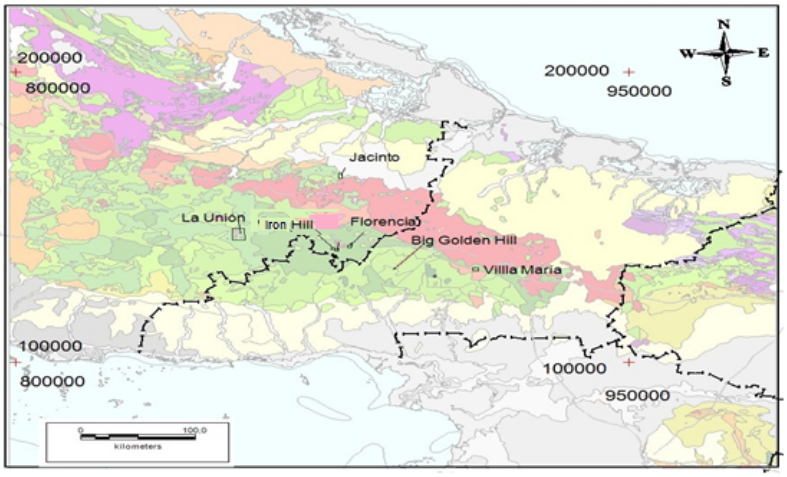


Figura 1. Ubicación de los principales proyectos en ejecución en Ciego - Camagüey - Las Tunas por la Empresa Geominera Camagüey. La base geológica se corresponde con el 1:100 000 digital del IGP. López - Kramer *et al*. 2017.

Au/Ag en las menas. Los representantes de los depósitos clasificados como de alta sulfuración: Golden Hill (al este) y El Pilar (al oeste).

El yacimiento Florencia, con reservas estimadas en 5 - 10 ton de oro recursos de menas primarias (Akberov *et al*., 1990), con un gossans con espesores de 10 - 15 m, con recursos evaluados por Eymil E. *et al*., (2022) en unos 125 kg de Au clasificados como inmaduros por López - Kramer et al. 2022.

Las rocas encajantes de la mineralización son traquibasaltos y andesito basaltos de edad Cr_2 (Albiano-Turoniano). Las principales alteraciones descritas son la silicificación, carbonatización, cloritización, epidotización, cornificación, piritización, propilitización y la hematitización. Las volcanitas son cortadas por rocas granodioríticas y cuarzo dioritas pertenecientes al stock Guaimaro y por diques más jóvenes de dioritas y granodioritas.

El yacimiento Florencia, se desarrolla en zonas de fallas con dirección NE - SW. La estructura que controla las zonas mineralizadas del yacimiento se extienden por su rumbo en 1 km. En esta los trabajos de exploración han permitido identificas dos zonas minerales denominadas Norte y Sur, que han sido explorados por pozos de perforacion hasta los 170 m de profundidad y 300 m por laboreos bajo mina. Ambas zonas mineralizadas afloran a la superficie y presentan diferencias en su composición y estructura. En la figura 2, se muestra el diagrama estructural de la Zona Norte del yacimiento Florencia, se conocen los cuerpos 1, 3 y 4. Por la disposición del sistema de vetas principales, de otros cuerpos minerales secundarios poco potentes y sus apófisis fue clasificada su estructura por Safonov et al., 1986 como de cola de caballo vetas poco potentes con ángulos de buzamiento de 70^0, potencias cercanas al metro, Presentan mineralización vetítico - diseminado de composición cupro-pirítica mineralógicamente sencilla, las partículas de oro nativo son más gruesas y predominan las de alta ley (López-Kramer, 1988). De los telururos, predominan los de oro. El cuerpo mineral principal es el 1, con una longitud de 30 m, estudiado hasta los 170 m de profundad y se ubica entre tobas piroclásticas de composición andesito - basálticas.

La Zona Sur, con el cuerpo número 2, tiene forma de lente más potente alcanzando los 10 m, con buzamiento cercano a los 65^o - 85^0. Por el rumbo se extiende por 675 m. Se caracteriza por ser más polimetálica, galena, esfalerita, calcopirita, que en ocasiones forman menas masivas, el oro nativo por lo general de más baja ley y electrum, además, son abundantes los teluros de plomo y los de plata (López-Kramer, 1988). Las menas oxidadas en la Zona Sur tienen mayor desarrollo y alcanzan una profundidad promedio de 11,5 m.

La estructura interna documentada bajo mina de los cuerpos minerales es compleja. En el lado colgante de las fallas tectónicas se observó arcilla tectónica de colores blanco y grises en su parte central la presencia de budinas de composición cuarzo - clorito - carbonatadas con sulfuros cementadas por minerales arcillosos, el lado yacente existe un amplio desarrollo de vetillas paralelas de composición cuarzo - clorito - carbonatadas con sulfuros. En el diagrama 2, se muestra la compleja estructura de la Zona Norte del yacimiento.

Las texturas observadas se describen como crustiformes, bandeadas, en ocasiones con cavidades abiertas típicas del relleno por cuarzo de diferentes colores, en ocasiones gris.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras tomadas de los pozos de perforacion, galerías y cortavetas de los laboreos subterráneos de exploración realizados durante las décadas de los 70-80 del siglo pasados en un inicio fueron estudiadas

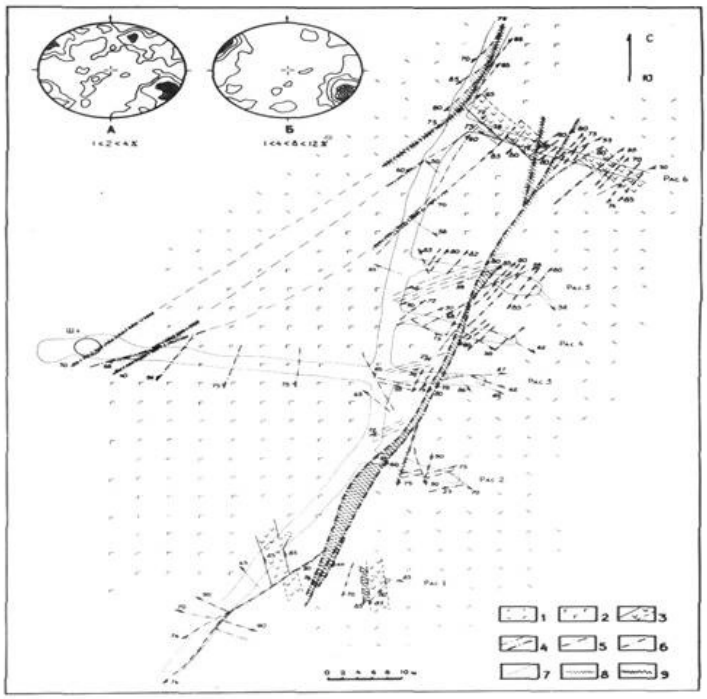


Figura 2. Diagrama estructural de la Zona Norte del yacimiento Florencia. 1.- Tobas, 2. - Andresito - basaltos, 3.- Diques de andesitas, 4, 5, 6, 7, 8, 9 Zonas de fallas rellenas con carbonatos y cuarzo, epidota, arcilla tectónica con fragmentos de la roca encajantes. Safonov *et al*., 1986

mediante microscopía con luz reflejada. Posteriormente el diagnóstico y la composición química de los minerales de difícil diagnóstico se obtuvo a partir de los resultados de los Análisis de Microsonda Electrónica (Electron Microprobe Analisis (EMPA) y de barrido, Scanning Electron Microscopy (SEM), en un equipo de la firma francesa CAMECA 40 en los laboratorios del Instituto de los Yacimientos Minerales, Geología, Petrografía, Mineralogía y Geoquímica (IGEM) de Moscú en 1988 y en Cuba con la utilización de la microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos x y microscopía Raman confocal.

Se toman como referencia para este trabajo los materiales de la tesis de Dr.C, López-Kramer (1988), artículos publicados y de archivos relacionados con investigaciones geológicas y tecnológicas realizadas por diferentes autores y entidades. Se incluyen datos de las Asociaciones Económicas Internacionales (AEI) con GeoMinera SA y del Instituto de Geología y Paleontología/Servicio Geológico de Cuba (IGP/SGC), entre otros. Como apoyo al levantamiento bibliográfico fueron utilizados datos publicados en internet y consultados varios autores de los principales informes geológicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estadíos de mineralización de las menas y las paragénesis de los minerales del yacimiento han sido investigadas por Maslov Y.C. (1969), López -Kramer (1988) y Bortnikov N. *et al*. 1989.

Maslov separo tres estadíos de mineralización: Con el estadio I. anterior a la mineralización describe el amplio proceso de propilitización como resultado se formaron: esfena, rutilo, magnetita, clorita, albita, epidota, sericita, zeolita, actinolita, calcita, pirita y calcopirita. El segundo estadío II cuarzo - sulfuroso se depositaron: clorita, epidota, calcita, cuarzo, pirita, calcopirita, oro, y plata y En el III. Polimetálico: calcopirita, bornita, galenita, esfalerita y scheelita.

Las investigaciones realizadas en los laboreos mineros y en el laboratorio permitieron establecer al autor las interrelaciones entre las vetas y agregados minerales, llegando a establecer otro esquema con tres estadíos de formación de las menas. I. Cuarzo - pirítico, II cuarzo - carbonato - oro- esfalerita - telurídico y III. Carbonato - cuarzo- galenita-esfalerítico. Estableciendo que la cornificación descrita con anterioridad como propilitización no está relacionado con el proceso de mineralización, sino que es el resultado de la alteración regional de las rocas por la acción post magmática que antecedió a la mineralización. Estableciendo el proceso de formación de las menas como un único, pero con interrupciones, que ocurrieron en el contexto de la actividad tectónica, que originaron nuevas grietas en diferentes sectores, con diferentes magnitudes, estadios y composición mineral. Sufriendo la masa fundamental de la mineralización deformaciones

posterior a su deposición, que se manifiestan en las brechas y budinage.

Características de la mineralización

Se han identificados más de 30 minerales en las vetas del yacimiento, siendo los minerales principales en el aporte del oro en las menas el oro nativo generalmente de alta pureza y el electrum.

Oro nativo. Su deposición ocurrió en el segundo estadio. Se encuentra de diferentes formas dentro de los sulfuros con mayor frecuencia (70 %) se observó relacionado con pirita II, rara vez con la galenita I y la calcopirita. Entre los telururos con la petzita (15 %). Dentro de la pirita con formas de pequeños agregados redondeados, en ocasiones rellena grietas en la pirita cataclastizadas junto a la calcita, corroe a la galena y a la calcopirita y en ocasiones rellenando o cementando los agregados de estos. En ocasiones se encontró dentro de la pirita II en forma de pequeños agregados con la petzita. En base a las relaciones observadas del oro nativo con otros minerales se puede juzgas su deposición más tardía en los sulfuros.

Los granos de oro nativo con diferentes tamaños han sido medidos en 100 secciones pulidas. Los resultados obtenidos por el autor del conteo de los granos de oro determinan que sus tamaños varían desde 0,03 mm hasta mayores de 0,120 mm, con una media de 0,30 mm. En la tabla 1, se muestra la distribución por grupos de tamaños de los granos de oro.

Tabla 1. Distribución por grupos de tamaños de los granos de oro

I	desde 0,03	hasta 0,015	40
II	desde 0,016	hasta 0,030	16
III	desde 0,031	hasta 0,060	6
IV	desde 0,061	hasta 0,120	4
	-	0,120 - 0,250	3

En la tabla 2, se muestran los resultados de la composición química obtenida por EMPA del oro nativo. Este se caracteriza por ser de alta pureza, (863 - 958). Los contenidos de plata alcanzan desde 4,82 hasta 12,38. Además, en dos análisis se obtuvieron impurezas de Cu y en uno de Hg y Te.

Respecto al oro nativo, en López - Kramer. 1988, se determinó que los granos de oro son de alta pureza, predominando estos en la zona Norte, mientras que los granos determinados en la zona Sur resultaron de menor pureza.

Electrum. Todas las partículas de electrum que se detectaron correspondieron a la zona Sur.

Otros minerales portadores de oro. En la tabla 3, se muestra la relativa diversidad de los minerales del grupo de los telururos que contienen oro dentro del grupo de los telururos: calaverita $AuTe_2$, krennerita Au_3AgTe_8, muthmannita $AuAgTe_2$, petzita Ag_3AuTe_2, *stutzita, BiTe*rucklidgeita $PbBi_2Te$ y *sylvanita $AgAuTe_4$. Determinando que la petzita es entre los telururos el predominante, le siguen calaverita, krennerita, muthmannita y la sylvanita. Respecto a las dimensiones de las partículas portadoras de oro, de conjunto tuvieron una media de 6,4 um.

Tabla 2. Composición química obtenida por EMPA de las partículas del oro nativo expresada en %. López- Kramer (1988)

Nº análisis	Au	Ag	Cu	Hg	Te	Fe	S	Suma
1	86,37	12,38	-	-	-	-	-	98,75
2	91, 13	7,24	0,07	0,07	0,15	0,74	2,75	102,1
3	92,09	6,56	-	-	-	-	-	98,65
4	92,17	6,28	-	-	-	-	-	98,4
5	93,52	4,82	0,16	-	-	-	-	98,56
6	95,88	6,76	-	-	-	-	-	102,63

Minerales portadores de plata: en total fueron reportados por Toledo 2017, unas 306 partículas de interés mineralógico, que contenían plata entre ellos: querargirita, argentita, la plata nativa y empressita AgTe y la Kochcarita $PbBi_4Te_7$ portador de bismuto.

Pirita. Es el mineral menífero más distribuido. Se encuentra formando agregados de múltiples formas y tamaños, en ocasiones como cristales bien formados en todos los cuerpos minerales y en las rocas encajantes. La pirita I se desarrolla en las rocas encajantes relaciona con el proceso de alteración regional.

La masa principal la pirita II se concentra en el primer estadio cuarzo - pirítico, en forma de agregados gruesos - medio en formas de nidos diseminados, en ocasiones vetillas en entrecrecimientos entre las bandas de relleno con el cuarzo de color blanco - gris. Esta se asocia con los minerales meníferos tardíos: calcopirita, oro, telururos, los cuales la atraviesan por las grietas o cementan los fragmentos cataclastizados. Los resultados de los análisis espectrales cuantitativos de 12 monofracciones de pirita II de las zonas Norte y Sur mostraron altos contenidos de oro y plata que varían desde 405 hasta 28,4 g/t y 180 - 73 g/t respectivamente. Altos contenidos de oro se determinaron en la pirita II del primer y segundo cuerpos minerales. Esta al parecer se relaciona con las inclusiones mecánicas de oro nativo determinados con frecuencia al microscopio y a los telururos de oro y plata. Entere los elementos trazas característicos de la pirita II se determinó el As (desde 0,045 hasta 0,015 %), cobalto (desde 0,12 hasta 0,41 %) y Ni (desde 0,005 hasta 0,0014 %). Ya que en las menas s muy rara la presencia de los minerales de estos elementos, se supone que estos elementos se encuentran como elementos isomórficos en la pirita. También se determinaron la presencia de Pb y Zn esto

Tabla 3. Composición química obtenida por EMPA de los telururos expresada en %. López- Kramer (1988)

No análisis	Mineral	Au	Ag	Pb	Bi	Te	Suma
1	*petzita	24,80	41,82	-	-	33,43	100, 05
2	petzita	25,95	40,36	-	-	32,61	98, 92
3	petzita	18,28	49,36	-	-	34,82	102,38
4	petzita	11,07	51,72	-	-	35,22	98, 1
5	petzita	10,01	54,12	-	-	36,66	100,79
6	hessita	1,43	59,10	0,45	0,27	39,40	100,38
7	hessita	0,60	59,70	0,44	0,10	39,16	100,17
8	hessita	0,12	59,81	1,41	-	38, 34	99,78
9	hessita	-	60,00	0,90	-	38,58	99,48
10	hessita	1,54	60,54	0,37	-	38,25	100,70
11	*stutzita	-	54,70	0,22	-	42.47	97,39
12	*calaverita	41,18	0,47	-	-	57,27	98,2
13	calaverita	43,1	-	-	-	58,88	102,09
14	volynskita	-	16,67	0,36	36,02	42,59	98,71
15	volynskita	-	13,39	0,10	37,57	45,57	98,79
16	volynskita	-	18,13	-	35,16	46,14	99,61
17	*tsumoita	-	-	-	61,65	37,31	98,96
18	*rucklidgeita	-	1,61	14,33	37,53	45,82	99,45
19	altaita	0,18	0,90	5765	1,23	39,25	98,21
20	altaita	-	0,60	58,36	1,15	38,92	98,93
21	altaita	0,24	1,09	58,66	0,32	37,03	97,34

*Minerales determinados por primea vez para el yacimiento por el autor

posiblemente por la contaminación de las muestras con pequeñas inclusiones de galena y esfalerita. Además de estos elementos en la pirita II se determinaron Bi y Sn.

La pirita III, se determinó en las formaciones del tercer estadio, carbonato- cuarzo- esfalerítico sus cantidades no son significativas, y forma diseminaciones y vetillas en el carbonato y no presenta signos de deformación. Los resultados de los análisis espectrales cuantitativos de las monofracciones de pirita III, muestran que en esta generación de pirita en comparación con la pirita II una menos cantidad de oro y plata, desde 14 - hasta 5 g/t, y desde 18 - hasta 10 g/t respectivamente. Sin embargo, los contenidos de As y Ni en esta generación tardía son significativamente mayores, estos varían desde 0, 5 hasta 0,12 % y desde 0, 0032 hasta 0,0029 % respectivamente. Estas variaciones en la composición química de las diferentes generaciones de piritas atestiguan sobre su separación en diferentes generaciones determinadas por las texturas y estructuras.

Esfalerita. Es uno de los minerales más distribuidos en las menas. Se determinaron 3 generaciones, predominando en lo fundamental en la zona sur, en la norte se observó raramente. Las generaciones de esfalerita I y II se depositaron en el segundo estadio diferenciándose por sus relaciones con la calcopirita (emulsión y corrosión). La esfalerita III se depositó en las vetas del estadio carbonato - cuarzo- galenita - esfalerítico. En la tabla 4, se muestra la composición química obtenida por EMPA de La esfalerita de las generaciones I y II.

Tabla 4. Composición química obtenida por EMPA de La esfalerita de las generaciones I y II expresada en %. López- Kramer (1988)

	Cu	Fe	S	Zn	Mn	Cd	Suma
Esfalerita I	0,15	0,90	32,48	66,12	0,12	0,64	100,41
Esfalerita III	-	0,73	32,73	65,52	-	0,28	99,25

Los resultados de la tabla 4, muestran pequeñas diferencias en la composición química entre la generación temprana y la tardía. La esfalerita I muestra mayores valores de Cu. Fe, Cd y Mn con respecto a la III.

Sin embargo, los análisis espectrales cuantitativos de las monofracciones de esfalerita I, muestran mayores contenidos de oro y plata que oscilan entre 3,8 hasta 34 g/t respectivamente, mientras que en la esfalerita III, los contenidos de oro son más bajos, variando desde o hasta 3,8 g/t. Los mayores contenidos de oro y plata en la esfalerita se explican por las impurezas mecánicas en el material analizado de oro nativo y telururos de A - Ag y el Cu por las impurezas de la calcopirita (emulsiones, estrellas, corrosión), además, en las menas se identificaron: calcopirita, galenita, pirrotina, cubanita, bornita, magnetita, marcasita, makinavita.

Un grupo de minerales portadores de tierras raras reportados por Toledo (2017), de los cuales se detectaron 22 partículas provenientes tanto de la zona Norte como de la Sur. Las fases minerales de este tipo que se encontraron fueron la cerianita, la bastnasita, la monacita mineral portador de tierras raras y la xenotima, estando entre los elementos de las tierras raras detectados el cerio, el lantano, el praseodimio, el neodimio y el samario. Respecto a los minerales del grupo del platino, se detectó el platino en 4 oportunidades. También se detectó la presencia de casiterita, mineral portador de estaño. El arsénico solo apareció en dos partículas y el mercurio en una, no detectándose otros metales pesados como el cadmio y el talio.

Tabla 5. Resultados de los análisis químicos de las fases de los concentrados, soluciones y residuos sólidos insolubles de la disolución de los concentrados

Concentrados	Analisis	Elementos g/t			
		Au	Ag	Te	Bi
MT-4 Concentrado de gravitación	Concentrado	35	179	180	44
	Solución	4,0	172	102	42
	Sólido residual	32	7,2	18	5
MT-4 Concentrado de flotatación	Concentrado	39	172	178	44
	Solución	4,1	165	16	42
	Sólido residual	35	5,0	15	5
MT-3 Concentrado de flotación	Concentrado	140	190	220	26
	Solución	10	182	200	25
	Sólido residual	128	7,5	21	5

Investigaciones con los concentrados

Durante los trabajos de exploración de 1990, la Empresa de Geología de Camagüey preparó dos muestras tecnológicas de un ton cada una con tres concentrados. La muestra tecnológica MT -3 por los métodos de enriquecimiento por flotación y gravitación se corresponde con la zona Norte y la muestra tecnológica MT-4 con el método de enriquecimiento por flotación de la zona Sur. La asistencia Técnica, su conformación y análisis fueron desarrollados en el CIPIMM, así como las pruebas del beneficio por los métodos de enriquecimiento por flotación y gravitación de las que se lograron obtener un 80 % de recuperación de oro. Los resultados de los análisis químicos de las fases de los concentrados, las soluciones y los residíos insolubles se muestran en la tabla 5.

El estudio de estos tres concentrados por el autor y sus análisis se desarrollaron en el IGEM con el objetivo de conocer los contenidos de Au, Ag, Te y Bi en ellos y su influencia en la recuperación.

Las porciones de las muestras fueron disueltas en HNO_3 concentrado y calentadas durante una hora, el producto remanente solido fue disuelto en agua regia. La determinación de Au, Ag, Te, y Bi se realizó en estas muestras concentrados posterior a su separación por este tratamiento utilizando los métodos de espectroscopia por absorción atómica. Los Analisis fueron desarrollados con los contenidos de esos elementos en los niveles de 1-10 g/t posterior a su concentración.

Los resultados se muestran en la tabla 5, destacan las diferencias entre los contenidos de los elementos analizados en las muestras de la MT-3 y la MT4 respectivamente.

El contenido de oro en la MT-3 es cuatro veces superior al contenido de este metal en la MT-4, así como los contenidos de plata y telururos en ambos concentrados son similares pero el oro en mayores concentraciones. La relación Ag/Au, en el concentrado MT- 4 es 5.1 (gravitación) y 4.4 en el de flotación, y 1.35 en la MT-3.

La composición de los concentrados se estudió, además por los métodos espectrales cuantitativos en el laboratorio del IGEM que se muestran en la tabla 6. Las diferencias en los contenidos de Ag en los concentrados en comparación con los obtenidos en la tabla 6, por los métodos de absorción atómica se pueden explicar por lo pequeña de la muestra para los análisis espectrales.

Los resultados destacan las diferencian mineralógicas y químicas entre los productos de las muestras tecnológicas MT- 3 Y MT-4, obtenidos en las zonas Norte y la Sur respectivamente. Diferencias originadas por la variación de la pureza del oro y la presencia de los minerales del grupo de los telururos. La casi ausencia de minerales de arsénico en los concentrados y el papel de la pirita como mineral principal.

La evaluación cuantitativa más importante de los metales preciosos se obtuvo a partir de los resultados de los análisis de los minerales del grupo de los telururos en el concentrado obtenidos en la disolución posterior a tratamiento con HNO_3. La cantidad de oro que pasa a la solución en las muestras a partir de las formas de los telururos presentes en las menas es de 10.4 - 11.5 -% para la MT-4 y 7.1% para la MT-3.

Tabla 6. Resultados de los análisis por el método de análisis espectral cuantitativo

Concentrado	Elementos												
	Au	Ag	Zn	Cd	Mn	Pb	Bi	Cu	Co	Ni	Sb	As	Sn
Mt -4. Gravitacion Zona Norte	39,0	100	1,9	0,055	0,031	1,0	0,007	0,32	0,047	0,0043	0,090	0,056	-
Mt -4. flotacion Zona Norte	33,0	84,0	5	0,150	0,090	1,0	-	0,83	0,050	0,0050	0,040	0,050	0,0050
Mt -4. flotacion Zona Sur	122,0	90,0	1,2	0,012	0,027	0,058	-	1,50	0,110	0,0050	0,022	0,050	0,0026

La plata, a diferencian del oro, está en forma de telururos en un 95%, pasa a la solución en las muestras a partir de las formas de los telururos presentes en las menas es. Es importante destacar algunas diferencias en la composición de los concentrados obtenidos en las muestras tecnológicas MT-3 y MT-4 que se muestran en los análisis espectrales: 1. - Los mayores contenidos de Pb y Zn en el concentrado MT-4 refleja la relativa mayor cantidad de esfalerita y galena en las menas de la Zona Sur. 2. - La mayor cantidad de esfalerita está relacionada con los mayores contenidos de Cadmio (0.15%) en el concentrado de flotación MT-4. 3. - Es importante señalar que los altos contenidos de Cobalto en el concentrado en la tabla 6 y la alta relacion Co/Ni con valores (desde 10 hasta 20). El contenido de Cobalto se incrementa dos veces en el concentrado MT3 hasta en un 0.11%. Esto está condicionado por las cantidades de pirita en este concentrado, que también es confirmado por los resultados de las monofracciones de pitita en las que los contenidos de cobalto varían desde 0.15% hasta 0.40%.

Los datos demuestran que para un futuro las Investigaciones tecnológicas deben tenerse en cuenta la presencia de los metales preciosos en los minerales del grupo de los telururos como puede observarse en la tabla 6, la presencia de pequeñas inclusiones de oro nativo y telururos de oro en las piritas.

Modelos genéticos propuestos para el yacimiento

Establecer una comparación entre las manifestaciones y depósitos de este tipo genético clasificados como Epitermales es difícil. Esta dificultad radica en los diferentes niveles de investigaciones existentes entre ellos, su ubicación geológica dentro de las rocas del AVC, con respecto a los granitoides (fuentes de calor) y diferencias estructurales.

Los depósitos epitermales con oro y plata se originan a varios kilómetros del emplazamiento de los batolitos y a su nivel de erosión. Esta relación se ha tratado de explicar por varios investigadores Kessler *et al*., 2004, Simon G, *et al*., 1998, Pérez - Peña et al., específicamente en la parte Centro oriental del AVC de Cuba, en la cual son conocidos más de 30 depósitos y manifestaciones epitermales con oro y plata (Tres Antenas, Carolina, Urabo, La Deseada, Cerro la Mina, Golden Hill, Dumañueco, San Nicolás, Gaspar, Urabo, Jacinto, El Pilar, San Nicolás). Todos ellos a unos pocos kilómetros de extenso batolito de Camagüey, destacándose las relaciones de estos depósitos con respecto a los cuerpos de diferentes tamaños y composición de las diferentes facies de rocas intrusivas.

Varios autores como (Primelles *et al*., 1998; Primelles *et al*., 2003; Simon *et al*., 1999), teniendo en cuenta la existencia de varios tipos de depósitos minerales en Ciego - Camagüey - Las Tunas incluyen a los de alta sulfuración (Golden Hill) y los sistemas de baja sulfuración (Beatriz, Florencia), de Cu-Mo-Au porfírico (Palo Seco, La Purísima, La Unión) y Skarn de Au-Ag-Zn (La Purísima) consideran que la mineralización aurífera de Cu-Mo-Au porfírico y Skarn adecuadas al modelo de relacion entre las rocas intrusivas y sus representantes del AVC, mientras que los depósitos epitermales no están relacionados genéticamente con los cuerpos plutónicos del Cretácico.

Por su parte Simon et al. (1999) sugieren para la mineralización aurífera y las riolitas de la Formación La Sierra del yacimiento Jacinto una relacion genética entre.

Las investigaciones realizadas para establecer las condiciones de formación del yacimiento Florencia se describen en López - Kramer 1988, Bortnikov *et al*., 1989. Estos autores evaluaron la composición isotópica del azufre en los sulfuros del yacimiento Florencia (pirita, esfalerita y galena). Los resultados muestran que estos varían desde -2.53 hasta 5.26 %. Esta diferencia puede estar condicionada a un origen diferente del azufre o por diferencias en las condiciones físico - químicas de los fluidos mineralizantes que formaron durante su deposición. Por su parte, la evaluación de la temperatura de deposición de los minerales realizada con la ayuda de diferentes geotermómetros y la homogenización de las inclusiones fluidas permitió suponer, que la asociación productiva se depositó bajo temperaturas 120 - 280 °C.

La presencia de texturas crustiformes, bandeadas, en ocasiones con cavidades abiertas, típicas del relleno de cavidades por cuarzo de diferentes colores, además de los resultados de los análisis termodinámicos de las asociaciones minerales del sistema Au-Ag-Te (Bortnikov *et al*., 1989), permiten concluir que el yacimiento se formó a temperaturas que variaron entre los 70 y 280 °C. Clasificando al yacimiento Florencia como del tipo auro-telurídicos formado a bajas profundidades.

CONCLUSIONES

Es una característica de las menas del yacimiento Florencia su diversidad mineralógica que incluye el oro nativo de alta y media pureza y el electrum, hasta una amplia variedad de minerales del grupo de los telururos de Au, Ag, Bi, Ni, la pirita como mineral principal y la casi ausencia de arsenopirita. Característica común para los yacimientos epitermales de baja sulfuración del AVC.

1. El oro nativo de alta pureza es el principal mineral que aporta el oro. Le siguen los minerales del grupo de los telururos que aportan hasta el 11 ,3 %

del total del oro. La plata, a diferencian del oro, está en forma de telururos en un 95%.

2. Las diferencias mineralógicas y químicas de las menas de las Zonas Norte y Sur se confirman en los resultados de las muestras tecnológicas MT-3 Y MT-4. Diferencias que para futuras investigaciones tecnológicas deben tenerse en cuenta.
3. La presencia de texturas crustiformes, bandeadas, en ocasiones con cavidades abiertas, típicas del relleno de cavidades, los resultados de los análisis termodinámicos de las asociaciones minerales del sistema Au-Ag-Te, permiten concluir que el yacimiento se formó a temperaturas que variaron entre los 70 y 280 °C. Clasificando al yacimiento Florencia como del tipo auro-telurídicos formado a profundidades someras.

BIBLIOGRAFÍA

Akberov, M., López Kramer, J., Balbis, E., Barroso, A., de la Torre, A. & Soler, J., 1990. Informe sobre la Exploración del yacimiento Oro Florencia. Informe inédito, Cuba.

Bortnikov, N. S., López, J. M., Guenkin, A. D., Krapiva, L. Y. & Santa-Cruz, M. 1988. "Paragenesis of gold and silver tellurides in the Florencia deposit. Cuba". *International Geology Review*. 30:294-306.

Capote, C. M. 2004. 'Análisis Estructural Sin-Arco: Una herramienta imprescindible en la evaluación metalogénica de Cuba Centrooriental'. En: Estudios sobre los Arcos Volcánicos de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica. I.G.P. CD. Cuba. 3342.

Czhestakanova V. 1997. Informe de los trabajos de búsqueda y exploración realizados en los años 1964-65 en los yacimientos auríferos de la zona de Guaimaro en la provincia de Camagüey. C.N.F.G, Cuba

Escobar, E. 1994. "Mineralización de metales básicos y preciosos, asociados al arco volcánico cretácico de la región Ciego de Ávila -Camagüey -Las Tunas". In: *Congreso Cubano de Geología y Minería. II Congreso de Geología y Minería*. Programas y resúmenes. Santiago de Cuba, pp. 96.

Eymil Romero E. 2021.

López - Kramer, J. L. 1988. Composición sustancial y Asociaciones minerales de los yacimientos auríferos hidrotermales de Cuba. Referat. pp. 21. Moscú.

López -Kramer J.M, Pimentel Olivera H.G, Arce Blanco M, Pérez Aragón R.O, Gallardo Eupierre Emiliano, Peñalver Hernández L.L, Santa Cruz-Pacheco & Sarlabous M. 2022. Monografía. ¨Los Gossans con oro y plata del Archipiélago cubano". Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba La Habana, Cuba, Centro Nacional de Información Geológica, pp. 154, ISBN: 978-959-7271-00-0.

López -Kramer, J, M., Moreira, J., Pantaleón, G, J., Lavandero, R.M., Montano J. & Cruz -Martín, J. 1998. "Tipos mineralógicos de algunos yacimientos auríferos de Cuba". *III Congreso Cubano de Geología y Minería GEOMIN 98*. La Habana, pp. 371-374.

López -Kramer, J. M., Echeverría, B., Cata, A. & Alfaro, R. 1989. "Hallazgo de mineralización de telururos de oro y níquel en la manifestación aurífera Iron Hill. Implicaciones para el pronóstico". *Boletín Técnico de Geología*, 1. : 14-20.

López -Kramer, Jesús Manuel, Pimentel, Higinio, Moreira Martínez, Jesús & Gandarillas Hevia, José. 2007. "La mineralización Auro-Teluridica en el Arco Volcánico Cretácico. Cuba. Implicaciones regionales". *IX Congreso Venezolano de Geología*. Octubre.

López, J. M., Moreira, J., Pantaleón, G. J., Lavandero, R. M., Montano, J. & Cruz-Martín, J. 1998. "Tipos mineralógicos de algunos yacimientos auríferos de Cuba". *III Congreso Cubano de Geología y Minería GEOMIN 98*, La Habana, pp. 371-374.

López-Kramer, J., M. J. Moreira & J. Gandarillas 2006. "Geology of the Florencia gold-telluride deposit (Camagüey, Cuba) and some metallurgicas considerations". *Earth Sciences Research Journal*, Vol. 10 (No. 2):105-116, ISSN: 1794 - 6190.

López-Kramer, JM., Rodríguez-Romero M., Alonso JA, Capote-Marrero C. & González-Castellano D. 2017. *Proyección estratégica de las investigaciones geológicas para oro en el archipiélago cubano*. Informe Final, La Habana: Archivo IGP/SGC.

Lugo Primelles, Bienvenido, Palacios Alvarado, Mercedes & Torres La Rosa. 2003. Campo Mineral Maclama. Breve Caracterización Geológica y Mineralógica de la Mineralización Oro -Teluridica. Tipos esperados de Depósitos. En Estudios sobre los Arcos Volcánicos de Cuba. CD. Centro Nacional de Información Geológica. I.G.P. Cuba. pp.. 33-42.

Lugo-Primelles, Barroso, A., Lugo, R.& Escobar, E. 1998. Geología y Metalogenia del Campo Mineral Guáimaro. Enfoque actual. III Congreso Cubano de Geología y Minería (GEOMIN 98) La Habana. Pág. 390-393.

Lugo-Primelles, Palacios-Alvarado B, Torres-La Rosa M (2003). Campo Mineral Maclama. Breve Caracterización Geológica y Mineralógica de la Mineralización Oro -Teluridica. Tipos esperados de Depósitos. En Estudios sobre los Arcos Volcánicos de Cuba. CD. Centro Nacional de Información Geológica. I.G.P. Cuba. Pág. 33-42.

Primelles, L., Barroso, A., Lugo, R. and Escobar, E. (1998). "Geología y Metalogenia del Campo Mineral Guaimaro. Enfoque actual". *III Congreso Cubano de Geología y Minería GEOMIN 98,* La Habana, pp. 390-393.

Santa-Cruz M. & Krapiva LY 1982. Informe preliminar a cerca de las características mineralógicas del yacimiento Florencia. Instituto de Geología y Paleontología, Informe de Proyecto.

Simon, G., Kessler, S. E., Russell, N., Hall, C. M., Bell, D. & Piñero, E. 1999. "Epithermal gold mineralization in an old volcanic arc: The Jacinto deposit, Camagüey District. Cuba". *Economic Geology*, 94:487-506.

Stephen E. Kessler, Hall, Chris M., Russell, Norman, Piñero, Enrique, Sánchez, Roberto, Pérez, Mireya & Moreira Martínez, Jesús. 2004. "Age of the Camagüey Gold-Silver District, Cuba: Tectonic Evolution and Preservation of Epithermal Mineralization in Volcanic Arcs," *Economic Geology* Vol. 99: 869-886.

Toledo -Sánchez Carlos A., Capote Marrero C, López Kramer Jesús M., Santa Cruz Pacheco M, Lisabet Sarracent E. & Aguirre Guillot G. 2016. Caracterización de minerales portadores de oro y sus acompañantes como factor determinante en la eficacia extractiva. Fórum IGP. Inédito.

Toledo Sánchez CA., Cabrera D, I., Casanova GA., Rojas-Pimentel F., Figueredo- Frías M., Trueba-Caetano R., Águila Terry A. & Rodríguez- García JC.2017). "Caracterización microscópica y micro analítica de minerales de oro de Florencia, Implicaciones geológicas y tecnológicas". *VII Congreso de Minería (MINERÍA´2017) VI Simposio Minería y Metalurgia, MINIMETAL,* MIN5-O.