



ISMMM

Departamento de Geología

Facultad: Geología y Minería

Título: Prospección geoquímica en los sectores auríferos de la Franja Melonera –Oropesa de la Región Central de Cuba.

Tesis en opción al título académico de Master en Ciencias Geológicas.

Autor: Ing. José Carlos Valdés Claro

Tutores: Dr.C. José Nicolás Muñoz Gómez

MSc. Orestes Romero Loynaz

MSc. Iván Barea Pérez

Moa, Holguín, 2018

10^{ma} Edición

“Año 60 de la Revolución.”

PENSAMIENTO

Conserva lo que tienes...olvida lo que te duele...lucha por lo que quieres...valora lo que posees...perdona a los que te hieren...y disfruta a los que te aman...Nos pasamos la vida esperando a que pase algo, y lo único que pasa es la vida. No entendemos el valor de los momentos, hasta que se han convertidos en recuerdos. Por eso, haz lo que quieras hacer, antes de que se convierta en lo que “te gustaría” haber hecho. No hagas de tu vida un borrador, tal vez no tengas tiempo para pasarlo en limpio...Nunca es tarde para empezar a ser felices.

Bob Marley

“Un hombre de carácter podrá ser derrotado, pero jamás destruido”

Ernest Hemingway

“Todos somos unos genios, pero si juzgas a un pez por la habilidad de escalar un árbol, vivirá su vida entera creyendo que es un estúpido”

Albert Einstein

“Cuantas cosas perdemos por miedo a perder”

Paulo Coelho

“Tus padres te regalan la oportunidad de vivir, pero.... De tu sacrificio constante depende tu desarrollo profesional.... De tu astucia, valor y buena suerte tu desarrollo económico.... Si, además, logras con tu carácter y habilidades formar una familia.... Entonces, eres un hombre EXITOSO.”

José Carlos Valdés Claro

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor de este trabajo de tesis y que autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____



José Carlos Valdés Claro

jvclaro@nauta.cu

José Carlos Valdés Claro autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

José Carlos Valdés Claro autoriza al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a distribuir el presente trabajo de tesis en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: <http://geologia.mineria.edu.cu/textuales/tesis>

José Carlos Valdés Claro autoriza al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a distribuir el presente trabajo de tesis en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en la biblioteca digital del ISMM disponible en: <http://bibliotecadigital.ismm.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fuerza necesaria para enfrentar todos los problemas en mi camino. A toda mi familia, en especial a mis padres y mi hermana por ser los pilares de mi educación, por su amor y preocupación constante, sus consejos son mi guía diaria, gracias por ser mis modelos a seguir. La familia lo es todo, es el vínculo más profundo de los seres humanos.

A mis tutores, Nicolás, Iván y en especial a Orestes Romero Loynaz, gracias por adiestrarme, guiarme en el difícil trabajo de realizar la tesis de maestría y por mostrarme que la grandeza de las personas está en su corazón, que es necesario tener paciencia en la vida. Gracias a José Alejandro Carmenate Fernández (Carmelo) y a su familia Beatriz Riverón (Betty) por todo su apoyo, consejos por ser mis segundos padres y a mi hermanito más pequeño Alejandrito que es tan recíproco con su cariño hacia mí.

A mi novia Elizabeth Oria Pozo por ser parte importante de mi vida y darme su apoyo incondicional, gracias a toda su familia por acogerme como su hijo.

A mis hermanos, más que amigos Carlos Enrique Córdova Echevarría, Sergio Greenidge Moro, Alejandro García Rivero, Yasniel Hernández Primero, gracias por regalarme su amistad y sus consejos diarios. A mis amistades que me acompañaron durante los años de trabajo en la Geominera, Sergio Hernández, Pedro concepción Brito, Rene Prieto, Fidel Gómez, Yania Pedraza, Violeta Fundora, Rosalía Fraga, Mariana Serrano, Silvio Hernández, Diego Leal y Emilio Millián.

A todos los profesores del departamento de Geología por su entrega diaria a la labor más bella del mundo, gracias por transmitirme los conocimientos básicos impartidos en los cursos de postgrados.

A todas las personas que de una manera u otra me empujaron a seguir por el buen camino, por toda su colaboración, Gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a mis padres Rafael Valdés Céspedes y Maritza Claro Payan y a mi hermana Elizabeth Valdés Claro por ser los pilares fundamentales en mi vida, a mi familia por apoyarme en todos los momentos, a mi novia, a mis tutores, a todos mis amigos por sus consejos, a mis compañeros de cursos de postgrados en la universidad, a todos los que de una forma u otra me han estado presente durante estos años, muchas gracias...

RESUMEN

La caracterización de las aureolas secundarias, flujos de dispersión de pequeñas dimensiones, concentraciones variables de oro mediante el estudio metalométrico de suelos residuales y de los concentrados de minerales pesados (método de jagua natural) aplicados en la prospección geoquímica de los sectores pertenecientes a la Franja Melonera-Oropesa en una red de 50 x 20m, con el uso de técnicas analíticas combinadas, el procesamiento e interpretación de mapas de estimaciones permite determinar las zonas auríferas en los alrededores de las minas Descanso y Meloneras, lo que demuestra la continuidad de las zonas minerales y aumenta los recursos minerales para el abastecimiento de la planta de oro de Placetas.

PALABRAS CLAVES:

Estudio metalométrico, zonas minerales auríferas, concentrados de minerales pesados, Franja Melonera-Oropesa.

ABREVIATURAS:

Sistema de Información Geográficos (SIG),

Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)

Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma inductivo (ICP-AES)

SUMARY

The characterization of the secondary aureoles, flows of dispersion of small dimensions, variable concentrations of gold by means of the study metalometric of residual floors and of the concentrate of heavy minerals (method of natural jagua) applied in the prospecting geochemistry of the sectors belonging to the Fringe Melonera-Oropesa in a net of 50x20m, with the use of technical analytic combined, the prosecution and interpretation of maps of estimates allows to determine the auriferous areas in the surroundings of the mines Rest and Meloneras, what demonstrates the continuity of the mineral areas and it increases the mineral resources for the supply of the plant of gold of Placetas.

KEYWORDS:

Metalometric study, auriferous mineral areas, concentrates of heavy minerals, Fringe Melonera–Oropesa.

Índice

INTRODUCCIÓN	22
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO	25
1.1 Ubicación Geográfica.....	25
1.2 Características físico-geográficas.....	28
1.2.1 Clima	28
1.2.2 Suelos.....	28
1.2.3 Vegetación.....	28
1.2.4 Uso y tenencia de la tierra	29
1.2.5 Población.....	29
1.2.6 Servicios y redes técnicas	29
1.2.7 Accesibilidad.....	29
1.3 Características Geológicas	30
1.3.1 Rasgos metalogénicos de la región.....	34
1.3.2 Geomorfología	38
1.3.3 Tectónica	38
1.3.4 Estratigrafía	42
1.3.5 Hidrogeología	45
1.4 Marco Teórico Conceptual.....	46
1.4.1 Métodos de prospección geoquímicos.....	49
1.5 Estado del Arte	55
1.5.1 Historia del surgimiento de la Prospección Geoquímica en Cuba y en otras regiones del planeta.	55

1.5.2 Criterios e Índices de búsqueda	68
Conclusiones	71
CAPÍTULO II METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	
72	
2.1 Metodología de la investigación.....	72
2.2 Métodos de prospección geoquímicos empleados	76
2.2.1 Geoquímica de Suelos Residuales.....	76
2.2.2 Método de Sedimentos Pesados o Jagua natural	78
2.3 Técnicas analíticas utilizadas	80
2.3.1 Análisis Mineralógico Óptico.....	80
2.3.2 Ensayo al Fuego (Docimácea)	81
2.3.3 Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)	82
2.3.4 Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES).....	83
2.4 Procesamiento de la información.....	84
2.4.1 Procesamiento de los datos de la geoquímica de suelos residuales.....	84
2.4.2 Procesamiento de los datos del método de sedimentos pesados	94
Conclusiones	96
CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
97	
3.1 Interpretación de los mapas de concentraciones.....	97
3.1.1 Sector Oropesa	97
3.1.2 Sector Alrededores de Meloneras	101
3.1.3 Sector Oropesa Norte.....	105

3.1.4 Sector Descanso NE	109
3.1.5 Sector Descanso NW	114
3.1.6 Sector Intermedio	119
3.2 Interpretación de los mapas de concentración de oro en la Franja Meloneras-Oropesa.....	123
3.2.1 Sector Oropesa	124
3.2.2 Sector Alrededores de Meloneras	125
3.2.3 Sector Oropesa Norte.....	126
3.2.4 Sector Descanso NE	127
3.2.5 Sector Descanso NW	128
3.2.6 Sector Intermedio	129
3.3 Interpretación del mapa de minerales meníferos en la Franja Meloneras-Oropesa.....	129
3.4 Caracterización de los flujos de dispersión.....	130
3.5 Caracterización de las aureolas secundarias	130
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA:	133
ANEXOS GRÁFICOS:	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de ubicación geográfica del área de estudio (Valdés Claro, 2018).

Figura 2.- Mapa geológico regional a escala 1:100 000, (Modificado de: García D. et al, 2001), no escala.

Figura 3.- Principales depósitos de oro en Cuba (Díaz Martínez, 2005), no escala.

Figura 4. Mapa geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov et al, 1984).

Figura 5. Leyenda del mapa geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov et al, 1984).

Figura 6.- Redes regulares cuadradas o rómbicas (Valdés Claro, 2018).

Figura 7.- Mapa de anomalías complejas de Pb, Cu, Zn y Mo en el polígono de prospección San Martín (Romero, 2011).

Figura 8.- Mapa anomalías de oro en suelo en el polígono de prospección San Martín (Romero, 2011).

Figura 9.- Mapa anomalías de Au en suelo (Reinterpretación SIG).

Figura 10.- Mapa de evidencias geológicas según modelo de Fuzzy (Romero, 2011).

Figura 11.- Mapa de evidencias geoquímicas según modelo Fuzzy (Romero, 2011).

Figura 12.- Mapa de evidencias geofísicas según modelo de Fuzzy (Romero, 2011).

Figura 13.- Mapa del potencial de la mineralización según modelo Fuzzy (Romero, 2011).

Figura 14.- Biblioteca virtual José EndNote Library con carpetas especializadas en Geoquímicas (Valdés Claro, 2016).

Figura 15.- Herramientas a utilizar en los muestreos de suelo y sedimentos aluviales (Valdés Claro, 2016).

Figura 16.- Capas del suelo (foto de la izquierda, tomada de Wikipedia y foto de la derecha, toma desde una cabeza de una trinchera reflejando la capa del suelo residual formada sobre las rocas ultramáficas en la Franja Melonera-Oropesa) (Valdés Claro, 2016).

Figura 17.- Toma de muestras en cada perfil y estaca de la red topográfica (Valdés Claro, 2016).

Figura 18.- Muestreo en recodos, orillas, lenguas de tierra (Valdés Claro, 2016).

Figura 19.- Lavado del sedimento areno-gravoso (Valdés Claro, 2016).

Figura 20.- Muestras lavadas, jagua con presencia de minerales con peso específico $>5\text{g/cm}^3$ (Valdés Claro, 2016).

Figura 21.- Análisis mineralógico óptico (Valdés Claro, 2016).

Figura 22.- Tomada de la base de datos de geoquímica de suelos residuales del sector Oropesa (Valdés Claro, 2016).

Figura 23.- Histograma acumulativo, realizado en Excel.

Figura 24.- Prueba de Kolmogorov-Smirnov (para un 95% de confianza), realizado en Golden Software Surfer.

Figura 25.- Mapa de concentraciones generado por el Inverso de una Potencia de la Distancia (Valdés Claro, 2017).

Figura 26.- Histograma de Au, realizado en Excel.

Figura 27.- Mapa de concentraciones de Au en suelo del sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 28.- Histograma de Co, realizado en Excel.

Figura 29.- Mapa de concentraciones de Co en suelo del sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 30.- Base de datos del método de Jagua creada en Excel.

Figura 31.- Mapa de distribución de oro nativo en Jagua en la Franja Melonera-Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 32.- Mapa de distribución de minerales meníferos en la Franja Melonera-Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 33.- Mapa de concentración de oro nativo en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 34.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 35.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 36.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 37.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 38.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 39.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 40.- Mapa de concentración de oro nativo en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 41.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 42.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 43.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 44.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 45.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 46.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 47.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 48.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 49.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 50.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 51.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 52.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 53.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 54.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 55.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 56.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 57.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 58.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 59.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 60.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 61.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 62.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 63.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 64.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 65.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 66.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 67.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 68.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 69.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 70.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 71.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 72.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 73.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 74.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Figura 75.- Mapa de distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Figura 76.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Figura 77.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Figura 78.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Figura 79.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Figura 80.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Coordenadas vértices de la Franja Meloneras-Oropesa.

Tabla 2.- Relación entre la escala y la frecuencia del muestreo para los métodos geoquímicos de prospección, (Instrucciones para los métodos Geoquímicos de Prospección de Yacimientos Minerales, Ministerio de Geología de la URSS, Editorial Nedra, Moscú, 1983).

Tabla 3.- Redes regulares de exploraciones utilizadas en yacimientos de corteza de intemperismo ferroniquelíferos de la antigua URSS, tomado de la tesis doctoral de L.O. Vera Sardiñas, 2001.

Tabla 4.- Trabajos geoquímicos realizados en la región central.

Tabla 5.- Valores cuantitativos otorgados a los resultados provenientes del laboratorio por debajo del límite de detección.

Tabla 6.- Estadística básica de los elementos químicos analizados en el sector Oropesa.

Tabla 7.- Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Tabla 8.- Histograma del Au.

Tabla 9.- Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Au en el sector Oropesa.

Tabla 10.- Histograma del Co.

Tabla 11.- Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Co en el sector Oropesa.

Tabla 12.- Método basado en los valores de la “Media y la desviación estándar”.

INTRODUCCIÓN

En el año 2008 con la institución de la Dirección Integrada de Proyecto (DIP), Oro Descanso-Meloneras comienza una nueva fase de preparación de materiales que culmina con un Estudio de Factibilidad Banqueable para la explotación de la mena aurífera de Mina Descanso (Aguilera, 2009); este estudio incluye la estimación digital de los recursos (Pérez J *et al*, 2008), la confección de un Proyecto Minero para la explotación de Descanso y un actualizado análisis tecnológico a partir del sobrante de la muestra tomada en el 1998.

El alza sostenida del precio del oro en los años 2008-2010 contribuye a que los resultados del mencionado Estudio de Factibilidad sean positivos, lo que permite que se apruebe la inversión para la rehabilitación de la mina y, en 2011 con un crédito del ALBA se comience el montaje de la planta de beneficio de la mena aurífera de Descanso, en el poblado de Placetas. Este mismo año empiezan las operaciones de extracción de la mina y al año siguiente el procesamiento de la mena.

En este escenario se reinician las investigaciones geológicas en el prospecto Meloneras con miras a ser el depósito que continúe proveyendo mineral a la planta, una vez que mina Descanso se agote. En el 2011 Orestes Romero, integrando los resultados y datos de la información geológica precedente, realiza un pronóstico de la mineralización de tipo oro orogénico en el polígono San Martín, provincia Villa Clara, en el cual se definen seis sectores auríferos prospectivos: sectores de primer orden, Descanso Noreste, Alrededores de Meloneras y Oropesa; de segundo orden, Intermedio, Oropesa Norte y Descanso Noroeste. Posteriormente con el objetivo de confirmar la existencia de nuevos depósitos auríferos económicamente explotables, en estos sectores y sus alrededores, se confecciona y ejecuta el proyecto Prospección Oro Franja Melonera-Oropesa, el cual presenta como método de investigación principal la prospección geoquímica.

Orestes Romero también revela las principales deficiencias de los métodos de prospección geoquímicos aplicados (litogeoquímico, pedogeoquímico, visuales)

durante la prospección del polígono San Martín; concluye que la red utilizada para el muestreo de suelo (200 x 40 m) permite destacar solo sectores perspectivas y no las zonas minerales auríferas.

Es por ello que surge como **problema** de la presente investigación: la necesidad de determinar las zonas auríferas mediante la aplicación de métodos geoquímicos de prospección, en los sectores de la Franja Melonera-Oropesa, Villa Clara, Cuba, para garantizar reservas de menas auríferas a la planta de procesamiento de oro de Placetas.

Objeto de estudio: Los sectores auríferos en la Franja Melonera-Oropesa, Villa Clara, Cuba.

Campo de acción: Las aureolas geoquímicas.

Objetivo general: Determinar las zonas auríferas mediante la aplicación de métodos geoquímicos de prospección en los sectores auríferos de la Franja Melonera-Oropesa, Villa Clara, Cuba, para garantizar reservas de menas auríferas a la planta de procesamiento de oro en Placetas.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las aureolas secundarias mediante el estudio metalométrico de suelos residuales en los sectores de la Franja Meloneras-Oropesa.
2. Caracterizar los flujos de dispersión mediante el estudio de concentrados pesados en los sectores de la Franja Meloneras-Oropesa.
3. Interpretar la información geoquímica de los mapas de predicciones de los sectores de la Franja Meloneras-Oropesa.

Hipótesis

Si se caracterizan las aureolas secundarias mediante el estudio metalométrico de suelos residuales, los flujos de dispersión mediante el estudio de concentrados pesados y se interpreta la información geoquímica de los mapas de predicciones,

entonces se podrán determinar las zonas auríferas en los sectores de la Franja Melonera-Oropesa, Villa Clara, Cuba.

Tareas a realizar

- Realizar el muestreo geoquímico en los sectores prospectivos en una red de 50 x 20 m.
- Crear base de datos geoquímicas.
- Realizar el análisis estadístico de los datos geoquímicos.
- Confeccionar mapas de concentración geoquímicos.

Los resultados de la presente investigación generan aportes científicos y técnicos.

Aporte Científico

Determinación de zonas auríferas en los sectores auríferos de la Franja Melonera-Oropesa, Villa Clara, Cuba.

Aporte práctico

Creación de bases de datos y mapas de concentraciones geoquímicas en los sectores de la Franja Melonera-Oropesa.

CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO

Introducción

1.1 Ubicación Geográfica

1.2 Características Físico-Geográficas

1.3 Características Geológicas

1.4 Marco Teórico Conceptual

1.5 Estado del Arte

Conclusiones

Introducción

En el presente capítulo se describen los aspectos físico - geográficos del área de estudio y sus principales características geológicas como litología, estratigrafía, estructuras tectónicas y geomorfología. También se expone el marco teórico conceptual para facilitar la comprensión de los términos empleados en la investigación y de forma resumida se muestra el estado del arte sobre el desarrollo histórico de la geoquímica como ciencia y de sus métodos de prospección en Cuba y otras regiones del planeta.

1.1 Ubicación Geográfica

El área de estudio está ubicada en la región central del archipiélago cubano, provincia Villa Clara (Fig. 1); a unos 10 km al sur del poblado Falcón y 5 km al norte del poblado de Guaracabulla; abraza una extensión superficial de 8.062 km². Según el sistema de proyección Cónico Conforme de Lambert (NAD 27/Cuba Norte) los vértices que delimitan el área se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1.- Coordenadas de los vértices de la Franja Meloneras-Oropesa.

Vértice	X	Y
1	625500	274750
2	630250	274750
3	630250	275000
4	633500	275000
5	633500	274000
6	630500	274000
7	630500	273750
8	625500	273750

El polígono en el cual se lleva a cabo la presente investigación comprende los 6 sectores auríferos prospectivos para la prospección de mineralización aurífera tipo Descanso, conocidos como: Alrededores de Meloneras, Descanso Noreste, Oropesa, Descanso Noroeste, Intermedio y Oropesa Norte.

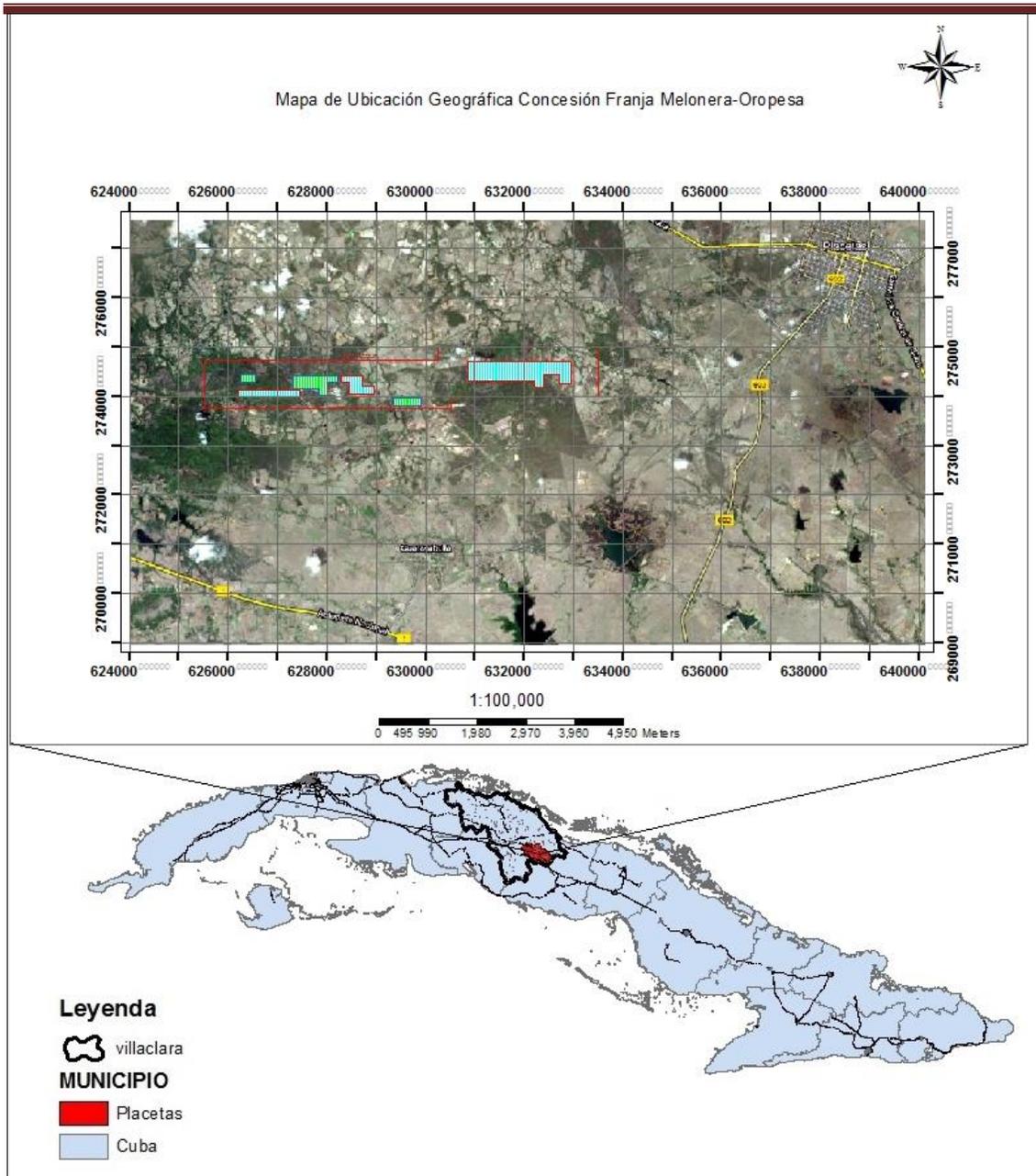


Figura 1.- Mapa de ubicación geográfica del área de estudio (Valdés Claro, 2018).

1.2 Características físico-geográficas.

1.2.1 Clima

El clima en el territorio se caracteriza por ser tropical húmedo con dos períodos bien diferenciados, uno cálido y lluvioso (mayo-octubre) y otro seco y templado (noviembre-abril), con una temperatura media anual de 23⁰ C. La variación diaria de la temperatura es mayor que la anual, el mes más frío es enero con 16.3⁰ C y el mes más caluroso es agosto con 32.3⁰ C.

La humedad relativa media es alta, con promedio cercano al 82 %. Los máximos diarios, generalmente superiores el 90 %, ocurren a la salida del sol, mientras que los mínimos descienden al mediodía hasta 50-60 %. En verano la humedad relativa oscila entre 79 % y 86 %, mientras que en invierno varía de 76 % a 85 %.

1.2.2 Suelos

Los suelos esqueléticos naturales y ferromagnesiales típicos, situados sobre serpentinitas, predominan en la región. Estos suelos poseen poca potencia (0.20 a 1.60 m) y presentan un alto contenido de gravas y guijarros, los mismos pueden considerarse ligeramente ácidos con una composición química en la que prevalecen el Fe, Al, Mg, Mn, Co y Ni. Estas propiedades permiten identificarlos como de baja fertilidad, destinándolos principalmente a cultivos forestales y pastos, requiriendo de medidas de conservación.

1.2.3 Vegetación

La vegetación predominante en el área son arbusto y árboles espinosos y urticantes como el marabú y el guao, existen además áreas cubiertas por plantaciones forestales de coníferas y algunos latifolios pertenecientes a la Empresa Forestal Integral Villa Clara.

1.2.4 Uso y tenencia de la tierra

Con relación a la tenencia y uso de la tierra, gran parte del área pertenece al sector estatal, cubierto por matorrales y marabú, plantaciones forestales de coníferas y algunos latifolios pertenecientes a la Empresa Forestal Integral Villa Clara. También, existen áreas de pastos destinadas a la ganadería extensiva pertenecientes a la Empresa Pecuaria de Villa Clara, con pequeños sectores privados y tierras entregadas a campesinos por el Decreto-ley 259.

1.2.5 Población

El territorio cuenta con una densidad poblacional muy baja, materializada con la presencia de sectores dispersos o asentamientos aislados pertenecientes a pequeños propietarios, no obstante, se destacan núcleos poblacionales que bordean el área como la ciudad de Placetas y los poblados de Falcón, La Plata y Guaracabulla.

1.2.6 Servicios y redes técnicas

Por el centro del área pasa la línea de alta tensión del Servicio Eléctrico Nacional, sus ramales sirven a los poblados y ciudades que se ubican alrededor del área y está instalado un Grupo Electrónico que abastece de energía eléctrica a la Mina Descanso enclavada en el centro del área.

1.2.7 Accesibilidad

El acceso a las áreas de trabajo se realiza, desde el norte, por la Carretera Central hasta el poblado de Falcón y de este hasta el área de los trabajos por el terraplén de la Plata, hasta el entronque de un camino vecinal que llega hasta Mina Descanso. También, desde el barrio de Cumbre situado en la carretera asfaltada Placetas-Fomento, accediendo por un camino vecinal hasta las inmediaciones de la Mina Meloneras, actualmente en reparación por la Empresa Geominera Centro (EGMC).

Otro acceso es por el sur, desde la Autopista Nacional al poblado de Guaracabulla, y de este a la Mina Descanso, actualmente en explotación.

Los accesos dentro de la concesión se realizan a través de caminos y trillos algunos en malas condiciones en época de lluvia, gran parte de estas vías tienen que ser reparados por encontrarse en estado deplorable como el Camino Real de Oropesa, de dirección este-oeste, y que une los prospectos Meloneras y Descanso.

1.3 Características Geológicas

Desde el punto de vista geológico el territorio de Cuba central está entre las regiones más complejas del país. Según Iturralde-Vinent (1998) en esta región afloran los dos niveles estructurales en los que se divide la geología de cubana: el Substrato plegado y el Neoautóctono. El substrato plegado está constituido por distintos tipos de terrenos, tanto de naturaleza continental como oceánica, en los que se incluyen rocas desde el Neoproterozoico hasta el Eoceno superior, que constituyen fragmentos de las placas de Norteamérica, del Caribe y del Pacífico. El origen y evolución de sus componentes tuvo lugar fuera de los límites del territorio actual de Cuba, las que por acreción se sitúan hoy en el borde meridional de la placa de Norteamérica, este desplazamiento ocurre entre el Cretácico superior y finales del Eoceno. El Neoautóctono está representado por las rocas y estructuras originadas a partir del Eoceno superior, desarrolladas básicamente en el mismo lugar que hoy ocupa el territorio de Cuba, formando ya parte del margen pasivo meridional de la placa de Norteamérica.

En nuestra región de norte a sur se pueden describir los siguientes elementos del substrato plegado:

Unidades de naturaleza continental

Plataforma de las Bahamas: solo afloran sus partes meridionales, cuyas secciones estratigráficas se denominan zonas Cayo Coco y Remedios. Ambas zonas aparecen como fajas deformadas, que se diferencian entre sí por la composición del corte estratigráfico de edad entre Aptiense-Albiense hasta el Maastrichtiano.

Flanco sur de la paleoplataforma de Bahamas y los depósitos del protoCaribe: en el borde sur de la zona Remedios se disponen rocas del talud continental conocidas como zona Camajuaní, las que, en forma de mantos tectónicos, afloran fuertemente deformadas y sobrecorridas. La zona Placetas se presenta como fajas alargadas de rumbo NW-SE, que progresivamente hacia el SE están despegadas entre sí formando lentes tectónicos alargados, embebidos en serpentinitas foliadas y trituradas y cubiertas por rocas arcósicas (Iturralde-Vinent, 2009).

Unidades de naturaleza oceánica (Iturralde-Vinent, 1998)

Dentro de estas unidades se encuentran las ofiolitas septentrionales y las secuencias del arco volcánico Cretácico (Fig. 2).

Al sur de la zona Camajuaní se dispone una sutura tectónica de primer orden, a lo largo de la cual se encuentra un melange de serpentinitas, gabros y anfibolitas muy deformadas (Iturralde-Vinent, 1998). Dentro de esta se localizan los terrenos de Placetas junto con las unidades litoestratigráficas mejor preservadas de la cuenca proto-caribeña, representada esta última por una secuencia de rocas siálicas muy antiguas (posible Neoproterozoico) cubierta por arcosas, silicitas y calizas del Jurásico superior (Thitoniano) hasta el Maastrichtiano.

Las ofiolitas septentrionales, afloran en la mitad septentrional de Cuba central como una serie de mantos tabulares intensamente deformados y mezclados sus diferentes componentes, los cuales durante su emplazamiento se mezclaron con escamas tectónicas del arco volcánico y se encuentran imbricados en potentes melanges. Sus diferentes secciones son: Complejo Peridotítico (tectonitas), Complejo Transicional, Complejo Cumulativo (cúmulos máficos y ultramáficos, rocas hospederas de la mineralización tipo oro orogénico), Complejo de Diques de diabasas y el Complejo Basáltico con sedimentos pelágicos asociados; datados recientemente como Jurásico Superior (Thitoniano)-Cretácico inferior (Neocomiano). Estas secuencias están emplazadas alóctonamente sobre las secuencias sedimentarias del margen continental y a su vez están sobrecorridas por las vulcanitas del arco volcánico del Cretácico en su sección de Cuba central. En cada uno de los complejos que forman las rocas del complejo ofiolítico en la región, es característica la presencia de numerosas ocurrencias minerales desde su base hasta las vulcanitas de la parte superior del corte ofiolítico.

Las rocas del arco volcánico Cretácico ocupan una gran parte del territorio central de Cuba y están representadas por un complejo volcano-sedimentario que abarca un área aproximada de 2200 km², desde el occidente de Cienfuegos hasta el este de Sancti Spíritus. Las investigaciones han permitido diferenciar al menos dos etapas principales de la actividad volcánica, identificadas en dos complejos, inferior y superior. Estos complejos están separados por un hiatus cuyo rango tiene definición imprecisa, pero se supone en parte del Coniaciano y Santoniano. El complejo inferior corresponde a la primera etapa, desde el Cretácico inferior (Neocomiano) hasta el Cretácico superior (Turoniano) y está conformado por la Formación Los Pasos en su parte basal y las unidades litoestratigráficas Mataguá, Cabaiguán, Las Calderas, Provincial y Seibabo. El Complejo superior corresponde a la segunda etapa, que refleja una mayor complejidad en la actividad volcánica que transcurre en el

Cretácico superior (Santoniano-Campaniano); está compuesto por las formaciones Arimao, Bruja, La Rana, Dagamal, Hilario, Cotorro y Pelao.

El Neoautóctono está representado por las rocas y estructuras originadas a partir del Eoceno superior tardío, desarrolladas básicamente en el mismo lugar que ocupa hoy el territorio de Cuba.

En el área de prospección geoquímica se muestra una sección del complejo ofiolítico donde afloran las secuencias del complejo cumulativo ultramáfico-máfico (Fig. 2), caracterizado por mantos y cuñas de rocas ultramáficas, con diferente grado de serpentización, destacándose varios tipos de peridotitas, peridotitas plagioclásicas, piroxenitas y en menor medida dunitas; todas ellas parcial o totalmente serpentizadas. Además, aparecen cuerpos alóctonos de gabros, diabasas y pórfidos dacíticos; cuñas, bloques o macrobudinas de serpentinitas de aspecto masivo, rodeadas de escamas de serpentinitas foliadas y esquistas, con mayor o menor desarrollo del budinaje. Dentro de las variedades de serpentinitas, las más abundantes son las compuestas por lizardita-crisotilo, que son también los minerales mayoritarios en las budinas. En menor proporción se presentan variedades de serpentina antigorítica, en especial en las cuñas o bloques de apariencia masiva. Rodeando este cinturón serpentinitico central afloran los basaltos de la formación Sagua la Chica, que representan el componente volcánico del complejo ofiolítico, intercalados con enjambres de diques de diabasas de la formación Zurrapandilla.

Las rocas del arco volcánico cretácico se encuentran tanto al sur de las placas del cinturón ofiolítico central, volcadas sobre estas, como también al norte formando una especie de escama. En el polígono estas rocas están representadas mayoritariamente por secuencias de la formación Cabaiguán, constituida por secuencias de tobas vitroclásticas de composición riolito-dacítica, tobas de composición básica y lavas andesíticas, dacíticas y en menor medida andesito-basálticas.

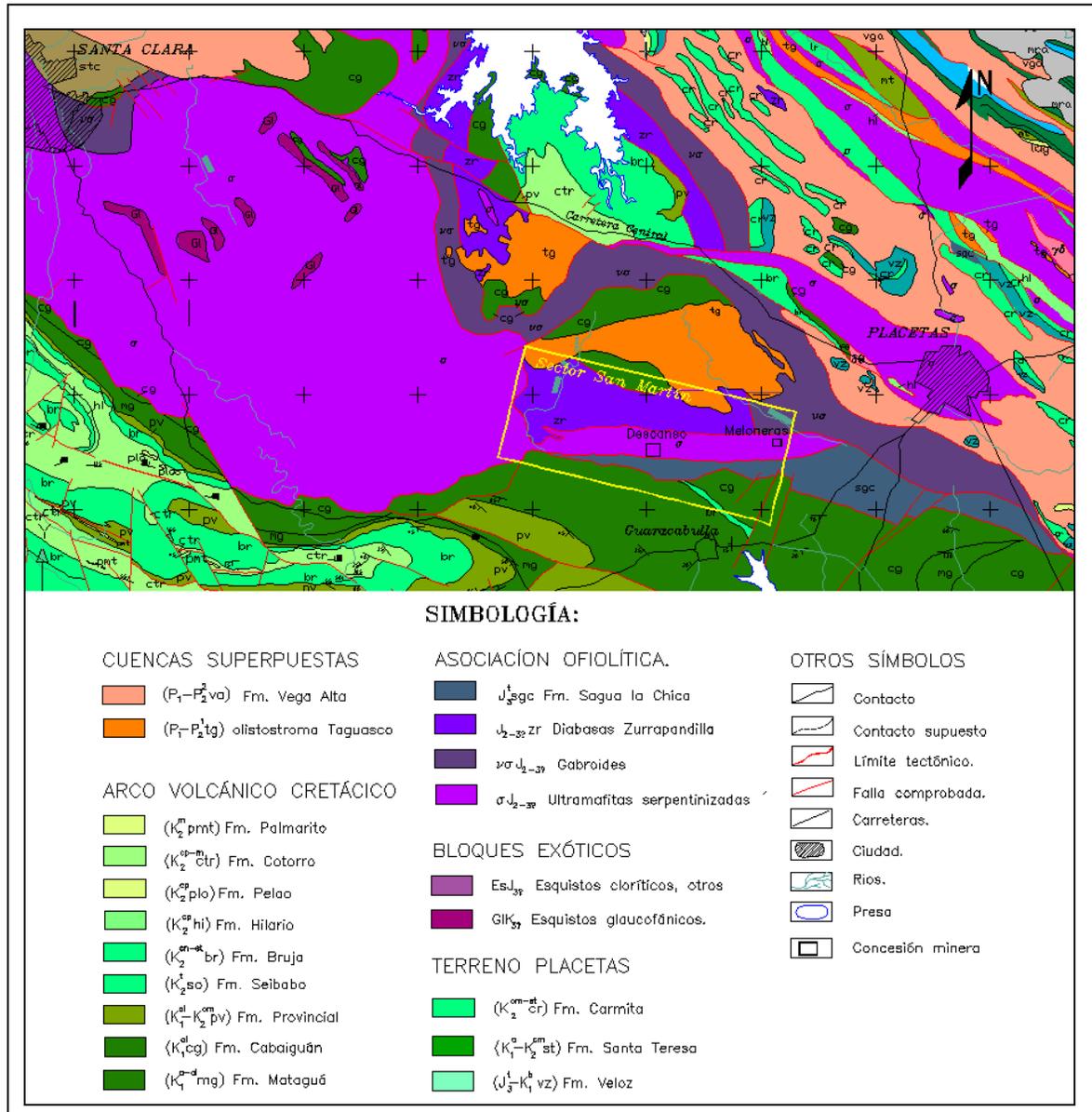


Figura 2.- Mapa geológico regional a escala 1:100 000, (Modificado de: García D *et al*, 2001).

1.3.1 Rasgos metalogénicos de la región

En la constitución geológica de la isla de Cuba se distinguen 6 episodios metalogénicos principales bajo la perspectiva de la tectónica de placas. Se reconocen depósitos de diferentes génesis, como tipo Sedex de metales base (Zn-Pb-Cu) y de Mn, con oro y plata; depósitos volcanogénicos de sulfuros masivos (tipo

Kuroko y Chipre); depósitos de skarn de hierro y polimetálicos, de pórfido cuprífero y depósitos epitermales de Au-Ag. Los depósitos se distribuyen en todo el territorio nacional.

De los 6 episodios metalogénicos de la geología cubana, son de interés para el oro principalmente 4: 1- Aptiense-Campaniense, con la formación de mineralizaciones porfídicas de Au-Cu, de skarn de Au y epitermales de Au y Ag de baja y alta sulfuración; 2- Campaniense tardío-Daniense temprano donde se formaron mineralizaciones de oro de tipo orogénico y en listvanitas; 3- Daniense-Eoceno medio, muy prolífero en mineralizaciones de oro en listvanitas (Cuba central) y asociada al arco de islas volcánicas del Paleógeno (sur de Cuba oriental) y 4- Oligoceno reciente donde se han originado las mineralizaciones en sombreros de hierro a partir de la oxidación de yacimientos de menas sulfurosas y placeres. Las mineralizaciones de Au se localizan principalmente en una faja metalogénica de aproximadamente 400 Km, desde la porción sur de Santa Clara hasta el norte de Holguín (Fig. 3) (Díaz Martínez, 2005). En correspondencia con la modelación geológica de yacimientos minerales y sobre la base del incremento del conocimiento geológico de la isla, se han elaborado diferentes clasificaciones (López-Kramer *et al*, 2009; Proenza y Melgarejo, 1998; Rodríguez-Vega y Díaz-Martínez, 2001; Rodríguez-Romero, 2001) y modelaciones (Lavandero *et al*, 2001; Capote-Marrero *et al*, 2009) relacionadas con la metalogenia del oro en Cuba.

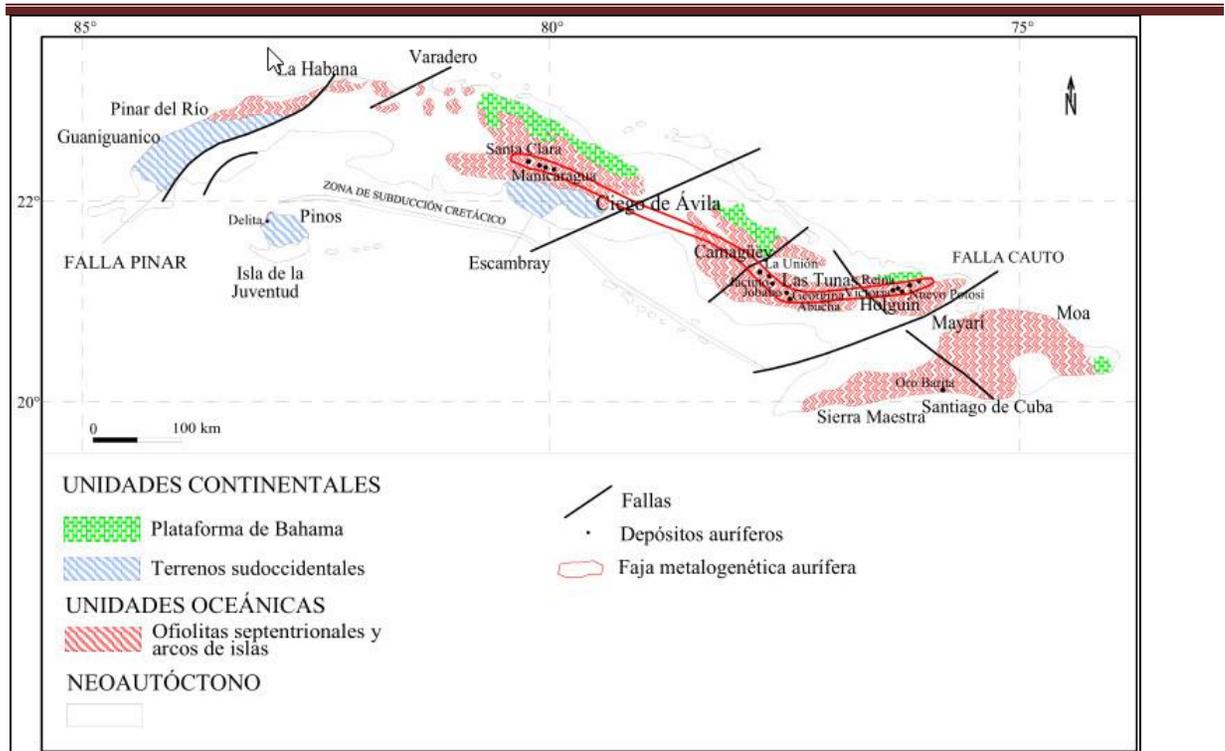


Figura 3.- Principales depósitos de oro en Cuba (Díaz Martínez, 2005), no escala.

Las publicaciones de la mineralización auríferas de los complejos ofiolíticos son escasas a nivel internacional y se concentran en los yacimientos de Ni y Co, asociado a los suelos residuales (lateritas) formados sobre los complejos ultramáficos en las ofiolitas. Actualmente se le ha dado mayor importancia a la mineralización de los complejos ofiolíticos debido a las concentraciones auríferas asociadas, resultando de gran complejidad los yacimientos asociados por los procesos orogénicos.

Desde el punto de vista de la mineralización aurífera vinculada a las ofiolitas septentrionales se distinguen en Cuba occidental y central dos tipos de mineralización aurífera de oro orogénico (López Krámer *et al*, 2009): el primer tipo se presenta asociado a zonas de trituración o fallas con direcciones entre SW-NE y E-W, este comprende los depósitos Descanso y Meloneras en Cuba central y Nuevo

Potosí, Reina Victoria, Agrupada, El Oro y otros menores en la provincia de Holguín. En el segundo tipo, más complejo por su composición, (López Krámer *et al*, 2009) incluyen un grupo de depósitos que van desde Yagruma, en Pinar del Río y Mina Margot, en Matanzas, hasta los campos minerales Pedro Barba y Jobosí-Trillón, situados al norte de Cuba central. Los autores también refieren la existencia de manifestaciones auríferas de placer en terrazas aluviales, asociadas a los dos tipos de mineralización antes mencionados.

Uno de los rasgos distintivos de los depósitos auríferos del primer grupo, ubicados en ultramafitas serpentinizadas, es su relación estrecha con la alteración hidrotermal listvanítica, proceso que comienza durante la propia serpentización de las ultramafitas primitivas (Descanso, Meloneras, Nuevo Potosí) y continúa con la cloritización y carbonatización de las rocas (López Krámer *et al*, 2009).

En la composición química de estas menas es relevante la presencia de sulfuros y sulfoarseniuros de hierro, níquel y cobalto (arsenopirita, pentlandita, gersdorfito y cobaltina), generados durante la serpentización por la vía de la liberación de estos metales de los silicatos ferromagnesianos que componen las rocas ultramáficas (López Krámer *et al*, 2009). En el caso de Descanso, la asociación mineral de la mena se completa con la presencia de los óxidos como magnetita, cromita e ilmenita; así como trazas de sulfuros de cobre, altaíta (PbTe) y oro nativo.

Han intentado relacionar los diferentes tipos de mineralizaciones auríferas revelados en la sección de las ofiolitas septentrionales de Cuba central con diferentes niveles del corte ofiolítico (Rivero, 2000). Según este autor, con el nivel más profundo del corte ofiolítico, relacionado con el melange serpentínico que aflora en los alrededores de la ciudad de Santa Clara, se asocia una mineralización de oro nativo disperso. Esta mineralización se presenta con mayor intensidad en áreas cercanas a la Loma Gobernadora, donde afloran serpentinitas muy foliadas, con apreciable presencia de oro nativo en granos, que muestran dimensiones desde decenas de

micras hasta varios mm, dentro de la capa eluvio-deluvial del suelo. La mineralización aurífera presente en los depósitos Descanso y Meloneras está vinculada a los cúmulos ultramáficos, mientras que la mineralización cupro-aurífera en vetas de cuarzo que se observa en los sectores San José, Pedro Barba y Jobosí-Trillón correspondería al nivel de los cúmulos máficos, posiblemente vinculada en específico a la intrusión de los diques de diabasas que intersectan aquellas rocas.

1.3.2 Geomorfología

El área de estudio ocupa una porción de la subregión Alturas del Noroeste de Las Villas, cercana al parte agua central de Cuba que atraviesa el área en su porción más oriental. Se caracteriza por un relieve de llanuras onduladas con algunas colinas aisladas de pendientes suaves y cimas redondeadas de cotas máximas que oscilan entre 160 y 217 m, con un marcado carácter litológico-estructural, producto del resultado de los movimientos neotectónicos recientes y la erosión selectiva.

La mayor elevación del territorio central es Pico Tuerto con 919 m de altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) (Anuario estadístico Cuba, 2010), pero no se encuentra dentro del área de estudio.

1.3.3 Tectónica

Consideran como primer piso estructural el constituido por las rocas de la asociación ofiolítica (Krasílnikov *et al*,1983), a la cual relacionan con la formación de la corteza oceánica. En cuanto al emplazamiento de los mantos de ofiolitas septentrionales, Iturralde-Vinent (1998) sugiere, a partir de los datos que se tienen actualmente, dos etapas principales: una durante el Maastrichtiano-Daniano Inferior, emplazándose sobre las secuencias del extinto arco volcánico del cretácico; y una segunda etapa durante el Daniano superior-Eoceno superior sobre las rocas del margen pasivo norteamericano.

De esta forma, el primer piso estructural plegado pre-Maastrichtiano se corresponde en primer lugar con la ocurrencia de una zona de rift dando origen a la asociación ofiolítica, que sirve de sustrato a las secuencias del arco volcánico cretácico. La edad mínima de formación de estas ofiolitas se estima en el Jurásico superior (Oxfordiano), a partir de dataciones con el método K-Ar (Iturralde-Vinent, 1998) y más seguramente Pre-Thitoniano (Iturralde-Vinent, 1998, Llanes *et al*, 1998). También en ese piso estructural se incluye la deposición de las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del arco insular cretácico. Según Díaz de Villalvilla (1997), este piso estructural, en cuanto al desarrollo del vulcanismo cretácico, en realidad consta de dos subcomplejos separados por un hiatus con edad Coniaciano-Santoniano.

En cuanto a las rocas del arco insular volcánico, el complejo inferior de edad Cretácico inferior-Cretácico superior corresponde a la parte inferior del mismo, cuyas secuencias se depositaron probablemente en discordancia sobre las ofiolitas. Este subpiso está caracterizado por el surgimiento de la orogénesis subhercínica que produjo fuertes movimientos plicativos. En tanto, el complejo superior se formó durante el Cretácico superior entre el Cenomaniano superior y el Campaniano (Krasilnikov *et al*, 1984). Durante esta etapa se formaron los pliegues isoclinales en las rocas del arco cretácico y probablemente también las fallas longitudinales a los ejes de los pliegues. Krasilnikov *et al* (1984) sugieren que el proceso comenzó en el flanco norte del sinclinal Seibabo, lo cual puede interpretarse como una manifestación temprana del emplazamiento de las ofiolitas serpentinizadas.

El segundo piso estructural, Maastrichtiano-Eoceno medio, corresponde a un período de levantamiento y erosión profunda de los terrenos del arco, dando lugar a conglomerados de rocas vulcano-plutónicas entre las secuencias Campaniano-Maastrichtianas (Iturralde-Vinent, 1998). En este período se forman las cuencas post-volcánicas y transportadas, las primeras se formaron en un primer ciclo de deformaciones que surgieron después de la extinción del arco volcánico cretácico

desde el Maastrichtiano hasta el Daniano inferior y contienen material clástico volcánico y de las ofiolitas. Las cuencas transportadas se formaron debido a los movimientos tectónicos ocurridos durante el Daniano superior-Eoceno superior. Ambas etapas de desarrollos de cuencas, según Iturralde-Vinent (1998), constituyen dos ciclos sedimentarios transgresivo-regresivo, que comienzan con clastitas, de la erosión del extinto arco cretácico y de las ofiolitas septentrionales, y terminan con rocas carbonatadas.

Dislocaciones plicativas (Krasilnikov *et al*, 1984)

En el área del polígono San Martín y su entorno inmediato se localizan varias estructuras positivas negativas que, en conjugación con los sistemas de fallas, hacen muy compleja la estructura geológica del área.

La parte meridional del polígono forma el borde externo del sinclinal Seibabo en su ala norte, constituido por rocas vulcanógeno-sedimentarias, entre las cuales hacia la base yacen las vulcanitas de la formación Mataguá, sobreyacidas concordantemente por la formación Cabaiguán. Estas secuencias a su vez presentan contactos tectónicos con las ofiolitas infrayacentes. Hacia el eje del sinclinal yacen las secuencias del subpiso estructural superior, compuestas por dacito-andesitas, tobas, tufitas, areniscas, aleurolitas, margas y calizas de las formaciones Seibabo, Bruja, Hilario, Pelao y Cotorro, con un aumento del componente sedimentario hacia la parte superior del corte.

La parte septentrional del polígono la compone el ala sur del sinclinal Falcón, compuesto por secuencias volcano-sedimentarias e hipabisales de composición predominantemente ácida de las formaciones Bruja y Cotorro, que sobreyacen a las tobas de la formación Cabaiguán y son sobreyacidas a su vez por secuencias del olistostroma Taguasco. Estas secuencias presentan una yacencia suave, discordante sobre las rocas de la asociación ofiolítica; las que pertenecen a la parte meridional del sinclinal Falcón y septentrional del sinclinal Seibabo constituyen una misma

estructura sinclinal más amplia, que fue separada en estructuras menores por los movimientos orogénicos que provocaron el emplazamiento de la asociación ofiolítica (Krasilnikov *et al*, 1984).

Al occidente del polígono San Martín, incluyendo el límite oeste del mismo, se halla el flanco oriental del anticlinal Escambray, constituido en su núcleo por el melange serpentinitico. La franja de serpentinitas que atraviesa el polígono San Martín en dirección sublatitudinal corresponde al periclinal de dicha antifforma (Kantchev *et al*, 1978).

Las rocas del arco volcánico yacen actualmente en contacto tectónico con las ofiolitas septentrionales y con los terrenos de tipo continental, cerca de los cuales las rocas del arco se encuentran más deformadas, muy fisuradas y foliadas, con masas caóticas que contienen bloques de ofiolitas con vulcanitas y plutonitas, siendo esos contactos con mayor frecuencia fallas de sobrecorrimiento y olistostromas en los planos de contacto según Iturralde-Vinent (1996).

Dislocaciones disyuntivas

La actividad de la tectónica disyuntiva en el entorno del polígono San Martín ha sido intensa y continua desde el propio comienzo del emplazamiento de las ofiolitas, aunque se puede observar con mayor intensidad en las serpentinitas no solo por su aflorabilidad, sino también por sus propiedades mecánicas, favorables para la formación de fracturas (Krasilnikov *et al*, 1984).

El sistema de fallas sublatitudinal es el más antiguo y está relacionado con la estructura geológica regional. Este sistema limita la franja serpentinitica central de la secuencia diabasa-basáltica y a esta última de las secuencias del arco volcánico cretácico circundantes. Estas fallas, con dirección sublatitudinal, se estima que están relacionadas con la orogenia subhercínica. Dentro de este sistema pueden incluirse también las fallas con dirección 280°-310° las que también separan las serpentinitas

de los gabros y que hacia el extremo Este tienden a tomar una dirección WSW-ENE que coincide con la tendencia de la propia franja serpentinitica (Krasilnikov *et al*, 1984).

Un segundo sistema, que presenta dirección 320° - 45° hasta sublongitudinal, provoca la separación de la franja serpentinitica en dos partes y se caracteriza por un estilo de bloques. Este sistema de fallas desplaza las fallas primarias y no intercepta a las secuencias vulcanógenas (Krasilnikov *et al*, 1984).

El tercer y más joven sistema de fallas presenta una dirección SW –NE y se revela mejor en la parte meridional, afectando tanto a las secuencias del arco como las de la asociación ofiolítica, desplazando sus contactos tectónicos (Krasilnikov *et al*, 1984).

1.3.4 Estratigrafía

En el área de estudio las rocas más antiguas pertenecen al complejo ofiolítico septentrional, formado aquí por rocas intrusivas y por las vulcanitas de la formación Sagua la Chica.

También afloran en la región de investigación las secuencias de una sección del arco insular cretácico, representado principalmente por vulcanitas del Cretácico superior, a saber: las rocas piroclásticas y efusivas de la formación Cabaiguán, sobre las cuales yacen discordantemente, en un pequeño sector al Este, las secuencias de lavas de composición ácida a media de la formación Bruja.

Formación Cabaiguán (Mioceno superior)

Está representada, en el área estudiada, predominantemente por tobas de composición riolito-dacítica con pequeños cuerpos de lava-brechas de igual composición y también dacito-andesítica. Aparecen también, subordinadamente, lentes de tufitas aleuolíticas y areniscas polimícticas.

Estas rocas afloran tanto hacia el límite norte del polígono, que corresponde al límite sur del sinclinal Falcón, como en casi todo el límite sur, que corresponde al norte del sinclinal Seibabo. Ambos flancos yacen sobre la estructura anticlinal de la franja ofiolítica, la cual separa los sinclinales mencionados.

La composición de la secuencia tobácea riolito-dacítica es en general monótona. Las tobas se presentan en paquetes potentes y varían desde litovitroclásticas, vitroclásticas, cristaloclasticas, cristalolitoclasticas, vitrocristaloclasticas hasta cineríticas. En mucha menos proporción participan las lavas-brechas, las tobas andesíticas. Los lentes de tobas aleurolíticas hasta areniscas afloran poco, casi siempre en la parte superior del corte, con una potencia que no sobrepasa los 3 m. Se supone una potencia para la formación entre 1000 y 3000 m.

La figura 4 muestra una reinterpretación de simbología del mapa geológico presentado por los autores de la Prospección San Martín, Krasilnikov y otros (1984), que se ha respetado dado que los datos reales del levantamiento geológico, realizado durante esos trabajos, se han perdido por completo (Romero, 2011). En dicha reinterpretación se han agrupado las litologías descritas por los autores, según la concepción posterior y los nuevos datos regionales aportados por el Levantamiento Geológico 1:50 000 Las Villas II (Vasiliev *et al*, 1989).

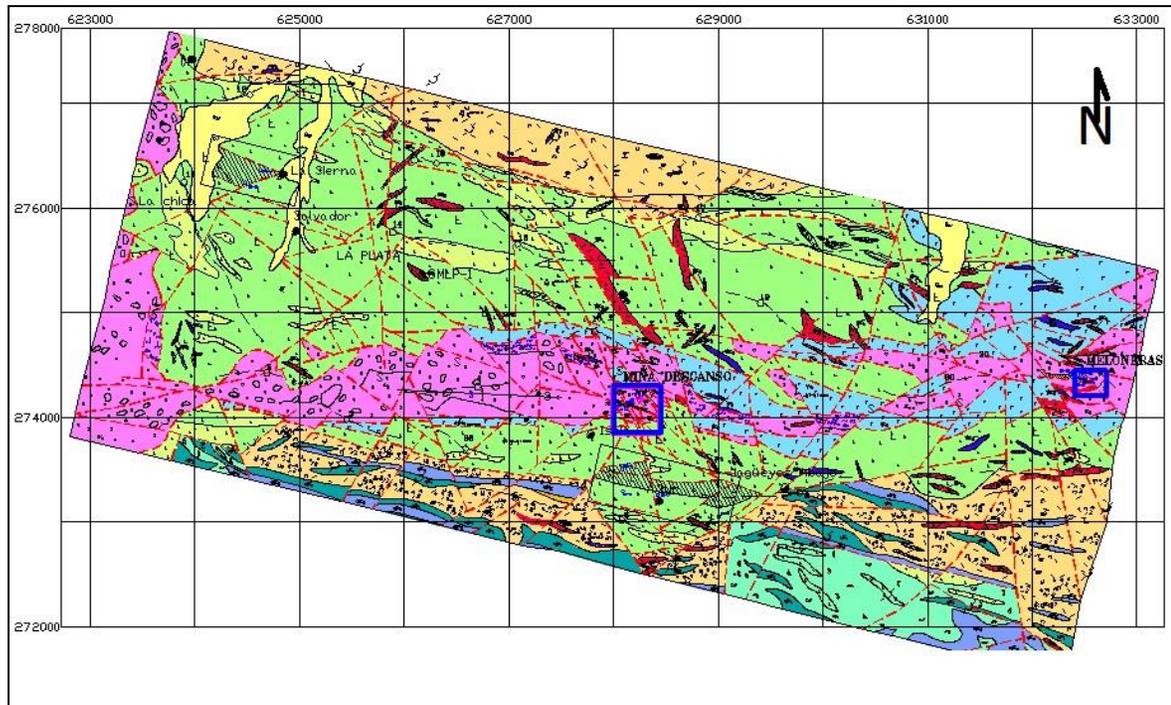


Figura 4.- Mapa geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov *et al*, 1984).

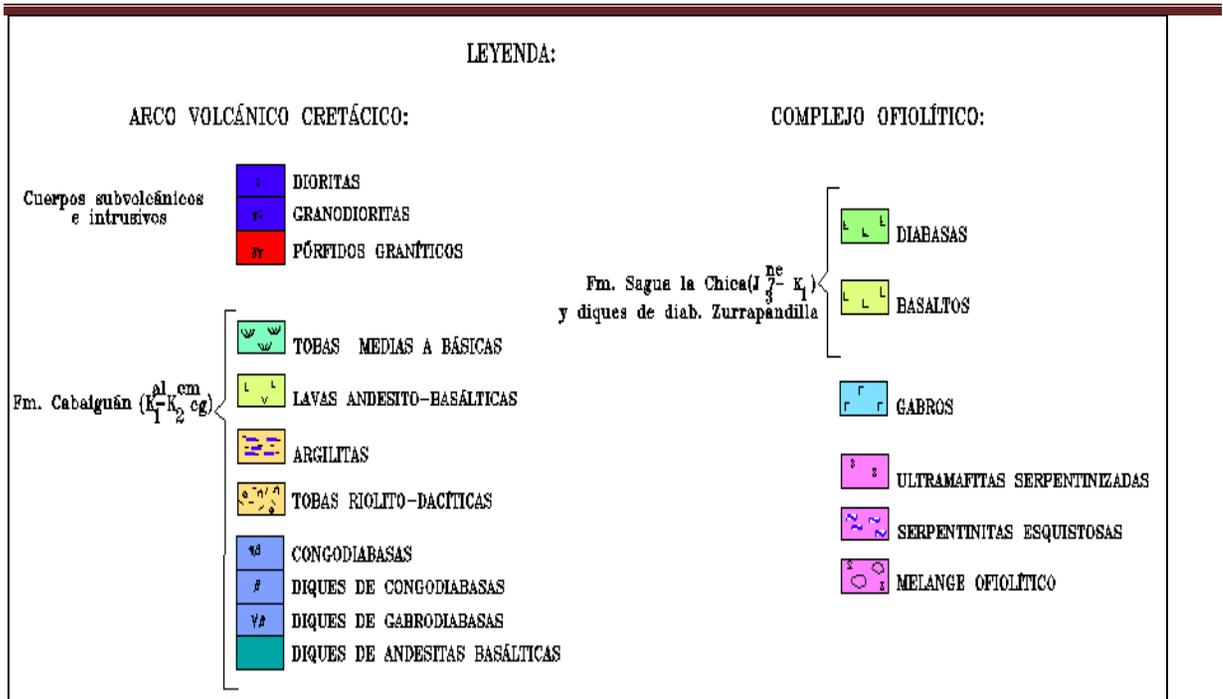


Figura 5.- Leyenda del mapa geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov *et al*, 1984).

1.3.5 Hidrogeología

Aguas Superficiales

La red hidrográfica está bastante desarrollada y tiene una distribución dendrítica que abarca el 70 % del área entre las suaves ondulaciones que conforman el relieve. La red superficial en su vertiente norte está representada por el curso superior del río Sagua La Chica, con sus afluentes Jagüelles, La Plata y Oropesa. Por otra parte, y como exponentes de la vertiente sur de escurrimiento, en el área se destacan las cuencas superiores de los ríos Agabama con la subcuenca del río Guaracabulla. En el extremo este las aguas drenan hacia la cuenca del río Zaza por las subcuencas de los arroyos Aguacate y Santa Rita.

Aguas Subterráneas

Las áreas del proyecto se encuentran en la región hidrológica No. 11 Cienfuegos-Sancti Spiritus según la clasificación Luege-Egorov de 1965. Se desarrollan aguas fisurales y filonianas relacionadas con las zonas de fallas. El nivel de las aguas subterráneas en todo el territorio no es estable, varía de 1-12 m, lo que se produce debido a la variación de las cotas en el territorio. La dirección de las aguas subterráneas en el área del yacimiento es de sur a norte. Estas aguas descargan a los principales ríos y arroyos y la alimentación del acuífero se produce por las precipitaciones. Los niveles del agua en los pozos se mantienen aproximadamente estables, solamente se encuentran picos en los meses de julio, agosto, febrero y marzo, cuando pueden aumentar hasta 5 m o disminuir hasta 3 m. La variación se produce en la siguiente forma:

Julio y agosto aumenta el nivel de 1-5 m.

Febrero y marzo disminuye el nivel de 1-3 m.

1.4 Marco Teórico Conceptual

Para mejorar la comprensión e interpretación de los términos geológicos que aborda esta investigación, perteneciente a la rama de las geociencias, relacionada con la prospección y exploración de yacimientos minerales sólidos, y la prospección geoquímica, se plasman conceptos básicos de la geología, geoquímica y ramas afines.

Etapas o fases de los trabajos geólogo-mineros: están compuestas por diferentes estadios de investigación, reconocimiento, prospección, exploración geológica, explotación y procesamiento y comercialización (Vladimírovich L. O. y Ariosa I. J.D., 1990).

Métodos geológicos: conjunto de métodos de investigación que basan su estudio en los fenómenos físicos y químicos que ocurren en las geosferas de la Tierra, mayoritariamente aplicados en la corteza pétreo, con el objetivo de encontrar acumulaciones de minerales útiles, pueden ser métodos geoquímicos, geofísicos, métodos técnicos y de laboratorio.

Yacimiento Mineral: sector específico en la corteza terrestre donde se han conjugado los factores físico-químicos y geotectónicos para originar la acumulación de minerales, con contenidos de elementos útiles, los que por su calidad y cantidad pueden ser extraídos, mediante procesos y tecnologías metalúrgicas, de forma eficiente y rentable a la economía nacional. Los yacimientos minerales, en función de su génesis se clasifican en endógenos y exógenos; y por el contenido de sus componentes útiles en yacimientos minerales metálicos, no metálicos y combustibles (Smirnov, 1982; Muñoz Gómez, 2007).

Fondo Geoquímico: se refiere a la abundancia normal de un elemento químico en determinado material terrestre no mineralizado (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Factor de enriquecimiento: sobre la base de la abundancia normal de los elementos en la corteza terrestre se puede calcular el factor de enriquecimiento, es decir, el factor con que se debe multiplicar la abundancia normal de un elemento en un material de la corteza terrestre para obtener una concentración económicamente explotable. El “*cut-off*” para un elemento designa la concentración mínima de la mineralización, que todavía se puede explotar económicamente (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Ruido de Fondo: es la contaminación de las muestras tomadas en un material geológico, en las cuales una inadecuada recolección, manipulación y almacenamiento, el uso inadecuado de reactivos químicos o mal procedimiento durante los análisis, contribuyen a alterar el fondo geoquímico del elemento y

provocan lo que se conocen como ruido de fondo (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Valor Umbral: designa la mayor concentración de un elemento indicador en un material geológico que se puede considerar no anómala. En el caso más sencillo, el valor umbral coincide con el límite superior de los valores de fondo, los valores mayores son anomalías, los valores menores pertenecen al fondo. En casos más complejos se pueden definir dos o más valores umbrales (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Anomalía Geoquímica: desviación significativa con respecto al valor de fondo de un elemento en un material geológico, se considera como una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o un ambiente geoquímico (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Elemento indicador: indicador directo o elemento blanco (*“target element”*) se refiere a unos de los elementos principales que se espera encontrar en el depósito (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Elemento explorador o elemento buscado: (*“pathfinder”*): se refiere a un elemento asociado con el depósito mineral, puede ser detectado con más facilidad en comparación con el elemento indicador (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Aureolas y Flujos de dispersión

Aureolas primarias: durante la formación de los yacimientos minerales de cualquier génesis, los procesos de concentración de los elementos químicos no se limitan a los contornos de los cuerpos minerales, sino que se desarrollan también en las rocas encajantes, aunque en ellas su intensidad sea mucho menor. El resultado de los procesos de acumulación de elementos útiles o minerales meníferos en las rocas encajantes que representan una prolongación de los cuerpos minerales se le denomina aureolas primarias de dispersión (Vladimírovich y Ariosa, 1990).

Aureolas secundarias: comprende todo el conjunto de productos o concentraciones de elementos o minerales útiles que surgen de la destrucción de un yacimiento mineral sólido o una aureola primaria de dispersión provocando la dispersión definitiva de los elementos en el medio (Vladimírovich y Ariosa, 1990).

Una característica fundamental para las aureolas primarias y secundarias es que siempre presentan mayor extensión que el cuerpo mineral o el yacimiento que les dio origen.

Flujos de dispersión: solo a las aureolas secundarias de dispersión o sus partes desplazadas con respecto al cuerpo que le da origen a causa de los procesos exógenos (Vladimírovich y Ariosa, 1990).

1.4.1 Métodos de prospección geoquímicos

Los métodos geoquímicos de prospección son considerados, junto a los itinerarios geológicos y a los métodos geofísicos, como métodos de avance. Los métodos geoquímicos se realizan tanto en el reconocimiento como durante la prospección. Para su puesta en práctica, se deben tener en cuenta una serie de aspectos, como la escala de los trabajos, red de muestreo, tipo de material geológico y operación del muestreo y análisis de laboratorio; dependiendo de los objetivos que persigue la investigación.

1-Escala de los trabajos

Los trabajos de prospección geoquímica de reconocimiento se realizan en áreas de gran extensión geográfica, entre 10 y 1000 km², donde existe poco o ningún conocimiento geológico. Se trata de buscar elementos útiles y delimitar provincias geoquímicas, mientras que, los trabajos de prospección geoquímica de detalle se realizan en áreas de menor extensión geográfica, entre 1 y 10 km², donde existe un interés particular sobre esas áreas, ya que han sido seleccionadas sobre la base conocimiento geoquímico, geológico y geofísico previo. El muestreo geoquímico de

detalle es costoso y requiere mayores volúmenes de muestras para delimitar y caracterizar las anomalías geoquímicas. La escala de los trabajos y la frecuencia del muestreo para los trabajos de prospección geoquímica se muestran en la tabla 2.

2-Red de Muestreo

Los tipos de redes en los trabajos de prospección geoquímicos dependen de la escala de los trabajos y el objetivo que persigue; pueden ser redes regulares con forma cuadradas, rectangulares o rómbicas (Fig. 6) (Tabla 3), donde la distancia entre los nodos está definida por la distancia entre perfiles y estacas. También existen redes irregulares como en los métodos geoquímicos de sedimentos de fondo, o itinerarios litogeoquímicos a campo traviesa. En este tipo de redes se persiguen objetivos a través de redes fluviales, la distancia entre los puntos de muestreo no es muy precisa, pero de manera general el 90 % de los trabajos busca tener una red regular bien delimitada por vértices de concesión los cuales cumplan con los principios de la totalidad del área de estudio.

Tabla 2.- Relación entre la escala y la frecuencia del muestreo para los métodos geoquímicos de prospección, (Instrucciones para los métodos Geoquímicos de Prospección de Yacimientos Minerales, Ministerio de Geología de la URSS, Editorial Niedra, Moscú, 1983).

Relación entre la escala y la frecuencia del muestreo			
Escala	Distancia entre perfiles (m)	Distancia entre puntos de muestras (m)	Cantidad de Muestras/km ² de área
1:200000	2000	200	2-5
1:100000	1000	100	10-20
1:50000	500	50	40
1:25000	250	50-40	80-100
1:10000	100	20-25	500-400
1:5000	50	10-20	2000-1000
1:2000	25	10	4000

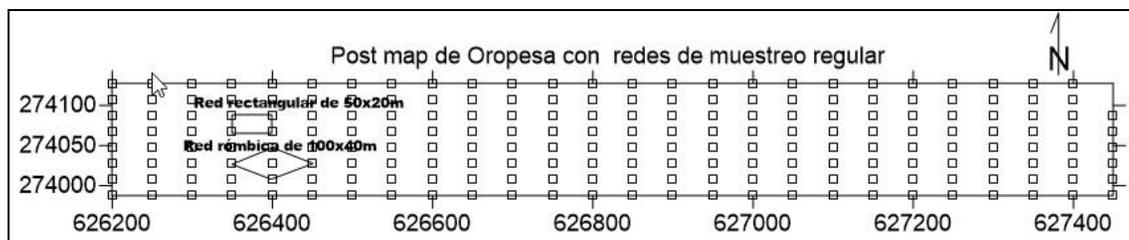


Figura 6.-Redes regulares cuadradas o rómbicas (Valdés Claro, 2018).

Tabla 3. Redes regulares de exploraciones utilizadas en yacimientos de corteza de intemperismo ferroniquelíferos de la antigua URSS (Vera Sardiñas, 2001).

Fase de Exploración	Nombre de Yacimientos Explorados			
	Buruktalkoe y Cerobskoe	Kimpersaiskoe y Robichkoe	Cherems-Hanskoe y Lipobskoe	Cinarskoe, Cebernoe, Rogoshinskoe
Exploración Detallada	50 X 25 m 50 X 100 m	25 X 25 m	20 X 40 m 40 X 40 m	20 X 40 m 40 X 40 m
Exploración de Explotación	12,5 X 12,5 m	12,5 X 12,5 m	10 X 10 m	10 X 10 m

3-Tipo de material y operación del muestreo

Las mediciones se pueden realizar sobre sustancias de origen natural, fácilmente muestreadas, tales como rocas, sedimentos de arroyos, suelos, aguas naturales, vegetación o aire.

4-Análisis de Laboratorio

Para la determinación analítica de los contenidos de elementos indicadores de mineralización, es importante considerar dos aspectos fundamentales.

1- El nivel de los contenidos de elementos a evaluar, en general dichos contenidos son del orden de las unidades de ppm hasta centenas de ppm (Cu, Zn, Ni, Co, Mn). Tales elementos se pueden estudiar con el equipamiento estándar existente en los laboratorios contemporáneos de minerales; pero muchos elementos interesantes se presentan en los materiales naturales en contenidos del orden de las ppb como el Au, Ag, Mo, Bi, Mo, Cd, TR, (tierras raras), los cuales requieren el uso de técnicas especiales que disminuyan el límite de detección para cada elemento. Este también

es el caso de elementos que con los procedimientos de rutina presentan límites de detección relativamente altos, y requieren similarmente técnicas o equipamientos especializados para poder ser detectados a los niveles de los campos geoquímicos (As, Sb, Hg, y otros).

2- La cantidad de muestras que se tomarán durante las investigaciones geoquímicas. Por lo general, los trabajos geoquímicos de reconocimiento o de detalle requieren grandes volúmenes de muestras, lo que limita la utilización de técnicas analíticas muy especializadas, por lo general lentas o muy caras, como la extracción con agentes acomplejantes, o la utilización de equipamiento muy sofisticado difícil de adquirir.

Durante muchos años en Cuba se utilizó como vía analítica para los muestreos geoquímicos, el **análisis espectral semicuantitativo**, este permite evaluar simultáneamente un gran número de elementos con un límite de detección relativamente bajo en la mayoría de los casos. Además, este método muy productivo posibilita el estudio de grandes cantidades de muestras en plazos relativamente cortos. Sin embargo, tiene como desventaja principal un nivel de precisión deficiente; algunos elementos indicadores sólo pueden determinarse en contenidos muy elevados por su alto límite de detección (As, Sb, Mo, Ba). Esta vía analítica resultó inoperante cuando desapareció el antiguo campo socialista.

En los muestreos geoquímicos masivos se emplea también la **espectrometría de absorción atómica** (AAS, por sus siglas en inglés), método mucho más preciso que el anterior, pero con la desventaja de que la medición se hace para un elemento a la vez, lo que impuso la selección de un número reducido de elementos a investigar, de 3 a 6, limitando considerablemente las posibilidades de la prospección geoquímica.

A inicios del siglo XXI, en el Servicio Geológico de Cuba se introdujo la vía analítica del **análisis espectral con plasma inductivamente acoplado** (AES-ICP), vía que combina la rapidez del análisis espectral con una incrementada precisión y mejor

sensibilidad, que lo eleva al nivel de análisis cuantitativo. La desventaja principal de este método es la costosa inversión inicial, compensada en parte con la elevada productividad que desarrolla.

Métodos de prospección geoquímica más comunes

Geoquímica de rocas: el muestreo de rocas está enfocado en la detección de patrones de dispersión (singenéticos o epigenéticos) que se relacionan con las aureolas de dispersión primarias (gravitacionales, de difusión, de infiltración) que se desarrollan en las rocas (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Geoquímica de suelos residuales: el muestreo de suelo se utiliza para buscar anomalías directamente situadas encima del cuerpo mineralizado, debido a su sencillez y a la ventaja que la composición del suelo residual depende altamente del cuerpo mineralizado subyacente (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Geoquímica de suelos: el muestreo de suelos se emplea para localizar anomalías desarrolladas en materiales transportados, que se ubican encima de un cuerpo mineralizado. El grado en que la anomalía depende del cuerpo mineralizado subyacente, es mucho menor en comparación con el método anterior. Por medio de un muestreo profundo se puede comprobar si existe o no, una relación estrecha entre la anomalía geoquímica detectada y el posible cuerpo mineralizado subyacente (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

Biogeoquímica: el muestreo de plantas se realiza con el objetivo de descubrir aureolas biogeoquímicas que se desarrollan en plantas de un terreno mineralizado o afectado por algún tipo de contaminación ambiental. Es un método costoso y se aplica sobre una sola especie de planta en el área de interés, su aplicación debe ser precisa pues depende de muchos factores como edad de la planta, estación del año, el procedimiento analítico aplicado sobre la planta o las partes de la entidad que se

escoja para muestrear, profundidad de las raíces y variabilidad de los metales a investigar en el suelo.

Atmogeología: el muestreo de gases en los suelos y de las capas constituyentes en la atmósfera, se aplica para detectar cuerpos mineralizados cubiertos por una potente capa de suelo o con fines medioambientales. Ha sido ampliamente utilizado en la prospección de hidrocarburos, así como en investigaciones sobre posibles depósitos minerales con elementos muy volátiles (Ej. Hg, I) (Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008).

1.5 Estado del Arte

1.5.1 Historia del surgimiento de la Prospección Geoquímica en Cuba y en otras regiones del planeta.

Desde la edad de los metales, hace unos 6000 años A.C, el hombre comienza a desarrollar las técnicas de prospección en busca de cobre, plata y oro basado en análisis mineralógicos ópticos para el desarrollo metalúrgico. Un claro ejemplo lo representa el gambusino buscando oro en ríos; visto por la exploración geoquímica moderna, este sigue flujos de dispersión de yacimientos minerales. La principal diferencia entre un prospector antiguo y un explorador geoquímico moderno es que el primero usaba análisis mineralógicos rudimentarios y el segundo usa análisis químicos especializados.

Así, comienza a desarrollarse la geoquímica aplicada, la cual, mediante los métodos de prospección geoquímica modernos y el desarrollo de las técnicas analíticas, constituye una de las herramientas principales en los llamados métodos de avance, durante las investigaciones de reconocimiento y prospección.

El hombre medieval tenía conocimiento sobre la oxidación de los sulfuros en las vetas y observaba los cambios de coloración del suelo. Además, conocía las plantas y las utilizaba como indicadores biogeoquímicos al observar los cambios físicos en la

vegetación, por causa de los efectos tóxicos causados por algunos elementos trazas (Agrícola, 1556).

Los métodos de prospección geoquímicos son escritos a mediados del siglo XVI y que en la China medieval se conocían las asociaciones botánicas que crecían junto a depósitos de plata, oro y estaño (Boyle, 1967).

Estas experiencias empíricas han sido utilizadas ininterrumpidamente por prospectores de diferentes civilizaciones por más de 500 años. De ahí que, en la actualidad se comprende que los métodos geoquímicos de prospección modernos no están basados enteramente sobre nuevos conceptos, sino que forman parte del acervo cultural de la humanidad. No obstante, el desarrollo de la química analítica en los últimos 100 años ha logrado el descubrimiento de métodos analíticos más específicos, más sensibles y rápidos, lo cual ha permitido extraer un mayor cúmulo de información sobre las características químicas de los materiales naturales. La aparición de herramientas computacionales que posibilitan un tratamiento más rápido y profundo de los datos a través de los estudios estadísticos, y las posibilidades que brindan los Sistema de Información Geográfico (SIG), han causado un desarrollo explosivo mundial de los métodos geoquímicos de reconocimiento-prospección, especialmente en las circunstancias actuales donde los grandes yacimientos meníferos superficiales que se explotaron en el pasado ya se agotaron.

Los métodos modernos de prospección y exploración geoquímicos fueron usados primeramente en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) en 1930, posteriormente en los países escandinavos. Los primeros programas de exploración a gran escala fueron iniciados en 1932 por geólogos soviéticos quienes perfeccionaron el método analítico de emisión espectrográfica, así como los procedimientos de muestreo para cualquier estudio rutinario de rocas y suelo. Los primeros trabajos fueron enfocados en la búsqueda de estaño, pero estos fueron seguidos por otros estudios “metalométricos”, para cobre, plomo, zinc, níquel, entre

otros metales. Las investigaciones iniciadas por la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), fueron seguidas por Suecia y Finlandia, y de esta manera se crean las fuertes escuelas geoquímicas europeas que seguirán los pasos de los investigadores pioneros, como los geoquímicos soviéticos V.I. Vernadsky, creador del primer trabajo en bioquímica, y su estudiante A.E. Fersman, el primero en enfatizar acerca de la importancia de los halos primarios y secundarios con los depósitos minerales.

Otros notables geoquímicos soviéticos que contribuyeron son I.I. Ginsburg, A.P. Vinogradov y D.P. Malyuga. Asimismo, en Noruega se destaca el trabajo del V.G. Goldschmidt sobre la distribución de los elementos, captando con ello la atención de los geoquímicos alrededor del mundo, no solo por sus estimaciones cuantitativas sobre la abundancia de elementos trazas importantes en los diferentes tipos de rocas, sino también porque formula los principios que rigen en los datos observados y a partir de ellos se rigen las futuras exploraciones.

A estos aspectos se le puede agregar el reconocimiento y desarrollo de la zonalidad en las aureolas primarias de dispersión por la escuela geoquímica soviética, especialmente para la revelación de cuerpos meníferos ciegos.

Los análisis de elementos trazas por espectrografía fueron aplicados a muestras de suelos y plantas a mediados de los años 30. Entre 1940 y 1950 con los avances en los análisis hidroquímicos y en la espectrografía en los Estados Unidos de América y en Canadá se desarrollaron métodos más económicos y más efectivos de prospección geoquímica. A partir de 1950 los métodos geoquímicos fueron aplicados en otros países del mundo.

En Canadá en 1945, Warren y sus colaboradores emprenden un programa de investigación acerca de la determinación de los metales en la vegetación con propósitos de exploración. En este primer ensayo de prospección bioquímica en

Canadá establece la existencia de anomalías de Cu y Zn sobre depósitos minerales ya conocidos.

Los estudios posteriores incluyen el uso de la *ditizona*, un reactivo colorimétrico, para el desarrollo de un tipo de análisis rápido y sencillo de ciertos metales, susceptible de ejecutarse en pequeños laboratorios de campo cercanos a las áreas investigadas, lo que según Boyle y Smith (1968) es un factor fundamental para el desarrollo subsecuente de los métodos geoquímicos de prospección en Canadá.

Boyle y Smith (1968) discuten otros aspectos históricos del desarrollo del uso de la geoquímica de exploración en Canadá, incluyen los principales fundamentos y contribuciones prácticas del Servicio Geológico de Canadá, el cual se funda a principios de 1950. Es importante destacar que en 1954 se logra introducir un “Kit” de reactivos químicos de campo para los ensayos analíticos de muestras geoquímicas. El uso de estos Kits por personal calificado en el campo fue muy ventajoso, porque permite tomar decisiones inmediatas.

En Estados Unidos de América la geoquímica de exploración se inicia por medio del Servicio Geológico aproximadamente por 1947. Los trabajos presentados en los primeros años incluyen autores como Hawkes, Huff, Ward, Lakin, Lovering, Cannon y Bloom. Los programas consisten en investigaciones sobre todos los tipos de muestreo experimental bajo una variedad de condiciones climáticas para determinar los patrones de dispersión característicos de los elementos en roca, suelo, vegetación y aguas naturales.

A principios de los años 50 los programas de exploración geoquímica son conducidos por grandes compañías mineras. Inicialmente las investigaciones del Servicio Geológico de Estados Unidos de América en las técnicas analíticas de campo fueron dirigidas principalmente a los métodos colorimétricos, caracterizados por ser lentos en cuanto al análisis de grandes volúmenes de muestras. En cambio, los soviéticos trabajaban en el espectrógrafo de emisión, el cual permite analizar

rápidamente grandes volúmenes de muestras y determinar varios elementos simultáneamente. Posteriormente el Servicio Geológico de Estados Unidos de América monta modernos laboratorios móviles de campo para compensar el problema de los volúmenes de muestra y logra de esta forma, procedimientos muy rápidos y sencillos. Varias publicaciones sobre los métodos colorimétricos aplicables a la detección de menas metálicas se derivaron de estas investigaciones; aceptadas por los buenos resultados obtenidos y aplicados en otras partes del mundo, tiempo después el Servicio Geológico de Estados Unidos de América también hizo énfasis en el espectrógrafo de emisión.

En Reino Unido el grupo de investigadores de geoquímica aplicada fue establecido en 1954, bajo la dirección del profesor J.S Webb, quien dirige muchas investigaciones con sus colegas y estudiantes dentro de los principios básicos y los métodos analíticos, siendo su grupo responsable de un programa de exploración en África y el Lejano Oriente.

En Francia las investigaciones relacionadas con la geoquímica de exploración se inician en 1955 y las aplicaciones prácticas en ese país y en sus colonias francesas comienzan tiempo después.

Actualmente los Servicios Geológicos de EE. UU, Canadá, Francia, Rusia (antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas URSS) y Alemania trabajan y profundizan en los análisis por Activación Neutrónica (NAA), el cual presenta mejoras con respecto a otras técnicas analíticas en cuanto a sensibilidad y precisión. Además, la muestra no se destruye como en las técnicas mencionadas anteriormente, pero lleva una inversión inicial muy costosa y solo algunas universidades poseen estos laboratorios, es necesario poseer un reactor nuclear con fuente de neutrones y un detector de radiación gamma. Desde su descubrimiento en 1936 sus resultados han sido superiores a cualquier técnica analítica, evidenciando resultados certeros donde

otras técnicas no lo logran, se calcula que anualmente se analizan unas 100 000 muestras al año.

Según Boyle y Smith (1968) los métodos modernos de prospección geoquímica deben su rápido desarrollo a ciertos factores:

- 1- El reconocimiento de las aureolas de dispersión primarias y secundarias, su asociación con depósitos minerales.
- 2- El desarrollo de métodos analíticos más rápidos y sensibles, usando la espectrografía de emisión en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) en 1930 y el uso de reactivos colorimétricos específicos y sensibles por el Servicio Geológico de Estados Unidos de América a finales de 1940 y 1950.
- 3- El desarrollo del equipo de laboratorio de material plástico, el cual reduce los problemas de contaminación de elementos y permite gran confiabilidad en los análisis de campo.
- 4- El desarrollo de la espectrometría de absorción atómica a los finales de 1950, el cual permitió realizar análisis precisos, sensibles y relativamente libres de interferencia de otros elementos, lo que, junto a una considerable simplificación de las técnicas de descomposición, permitieron procedimientos analíticos razonablemente rápidos.
- 5- El desarrollo de métodos estadísticos y computarizados, lo que ha contribuido a una mejor interpretación de los datos analíticos de la exploración geoquímica. Estos métodos permiten la evaluación rápida de los datos del fondo (backgrounds), siendo de gran ayuda en el reconocimiento de anomalías y en sus representaciones gráficas.

Para hablar sobre geoquímica y los métodos de exploración geoquímica en Cuba primero se debe conocerlos tres períodos importantes en el desarrollo de la minería del oro en la isla: colonial, neocolonial y revolucionario (Díaz Martínez, 2010).

En el período colonial y neocolonial solo se obtuvieron descubrimientos de áreas favorables basados en los métodos antiguos de exploración, como la aplicación de métodos de concentrados pesados basados en la toma de sedimentos de ríos y siguiendo los flujos mecánicos de dispersión de minerales resistentes.

Desde los primeros años de la Revolución como colaboración entre los países del antiguo Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), se envían a prepararse a las fuertes escuelas geoquímicas europeas un grupo de estudiantes y profesionales para especializarse entre 1960 y 1978. Al unísono se realizaban los levantamientos geológicos a escala regionales en colaboración con instituciones de estos países, ejecutando algunos muestreos geoquímicos a pequeñas escalas.

Del desarrollo de esos especialistas cubanos egresados de las escuelas del antiguo bloque socialista y después ubicado en universidades o instituciones cubanas, surgen investigaciones y publicaciones relacionadas con el tema.

Además, en estos años otros investigadores realizan publicaciones basadas en estudios patrocinados por las empresas geólogo-mineras de Cuba. En estos trabajos predominan los muestreos regionales de concentrados pesados, los estudios litogeoquímicos con diversas variantes, así como los muestreos pedogeoquímicos a diferentes escalas.

En la región central de Cuba, además de las investigaciones regionales, se han llevado a cabo varias investigaciones geoquímicas para prospección de oro (Krasilnikov *et al*, 1984; Rivero *et al*, 1989; Rivero *et al*, 1992; Romero O., 1993), así como de metales base + preciosos (Fernández *et al*, 1985; Cerny *et al*, 1987; Delgado S. *et al*, 1990, 1991; Gallardo *et al*, 2002; etc.). Se realizan estudios más

detallados en el Proyecto Técnico-Económico de Oro (PTE) y Polimetálicos San Martín a escala 1:25 000 (Krasilnikov *et al*, 1984) en el cual se realizó el muestreo de suelo en red 200 x 40 m, muestreo de jagua y sedimentos, muestreo litogeoquímico de afloramiento y litogeoquímico de laboreos y perforación. Se realiza el Informe Permiso de Reconocimiento Sectores de Oro y Plata en Cuba Central, Bloque Placetas (Romero, O. y Oña R, 2011), este último es el antecedente y el impulsor del proyecto que desarrollan Gallardo, E y Romero, O *et al*, 2010-2011, TTP “Reconocimiento, elaboración e interpretación de la información geológica existente de prospectos para oro en la región central, Sector Placetas”, del cual, surge el Informe “Pronóstico de la mineralización de tipo “Oro Descanso” en el polígono San Martín, sector Placetas (Romero *et al*, 2011)”.

Tabla 4.-Trabajos geoquímicos realizados en la región central.

Método	Escala/red	Escambray I (1978)	San Martín (1983)	Descanso Meloneras (1990)	CaribGold-Geominera SA (1994)
Muestreo de jagua y sedimentos (1978)	1:100 000 1:25 000 1: 5 000	16/100 (EAA)	418 (min)	70 (min)	20 (min)
Muestreo de suelos (1979)	200 x 40 50 x 20		5968 (AEE)		
Litogeoquímico de Afloramientos	1: 25 000 1: 10 000		3150 (AEE)	70	20 (ICP)
Litogeoquímico de laboreos y perforación	1:25 000 1: 10 000 1: 5 000		600 (AEE)		
Mercurimetría	50 x 10			100	

Los trabajos más completos como la prospección del polígono San Martín abarcan toda el área de la concesión actual, realizados por Romero, O, Krasilnikov, *et al*, 1983, como conclusiones del mismo fueron presentados los resultados en mapas de

anomalías monoelementales y complejas (Fig. 7). El único inconveniente de estos resultados está dado por la red de muestreo realizada, de 200 x 40 m, que no demostraron la continuidad de la mineralización aurífera fuera de las minas conocidas de Descanso y Meloneras para cuerpos cuya potencia fluctúan entre 0.10-1.50 m.

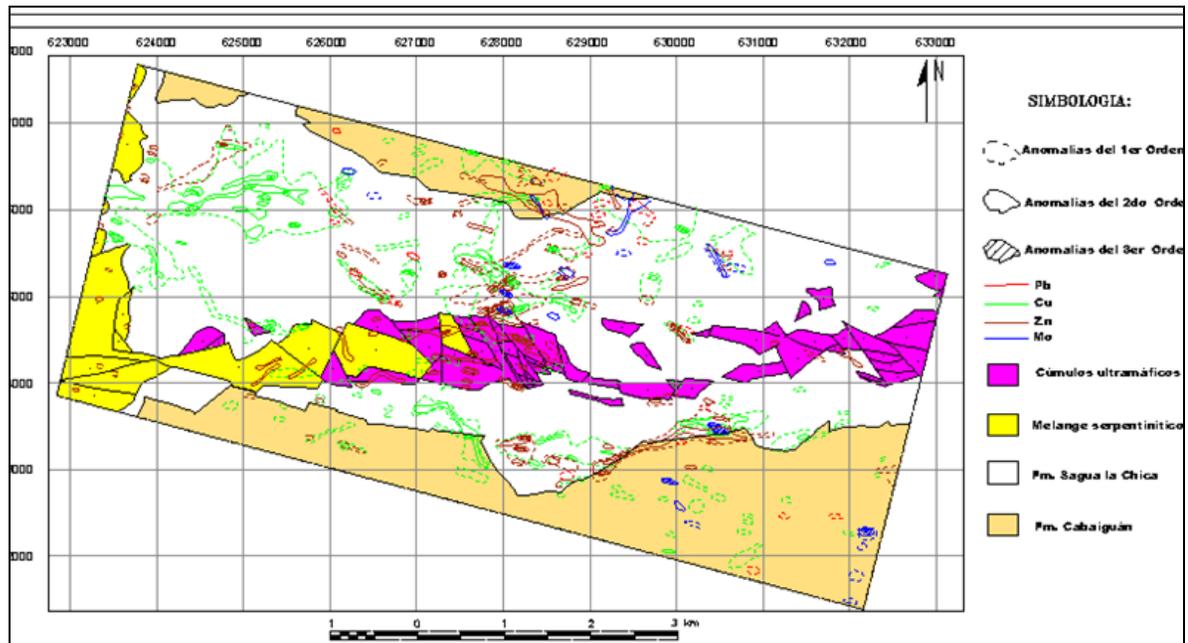


Figura 7.- Mapa de anomalías complejas de Pb, Cu, Zn y Mo en el polígono de prospección San Martín (Romero, 2011).

En el mapa de anomalías de oro en el polígono San Martín (Fig. 8) se muestran campos que destacan la mineralización aurífera presente en el suelo y en las serpentinitas. Estos campos reflejan anomalías sobre las minas conocidas como “Oro Descanso” y “Meloneras”, reafirmando los índices de laboreos mineros antiguos.

La mayor parte de la mineralización polimetálica está asociada a las rocas vulcanógenas de la Formación Sagua la Chica, la cual debido a sus grandes extensiones no pudo apantallar totalmente la mineralización de oro a través de

aureolas secundarias o flujos de dispersión que desplazaron la mineralización polimetálica sobre las ofiolitas.

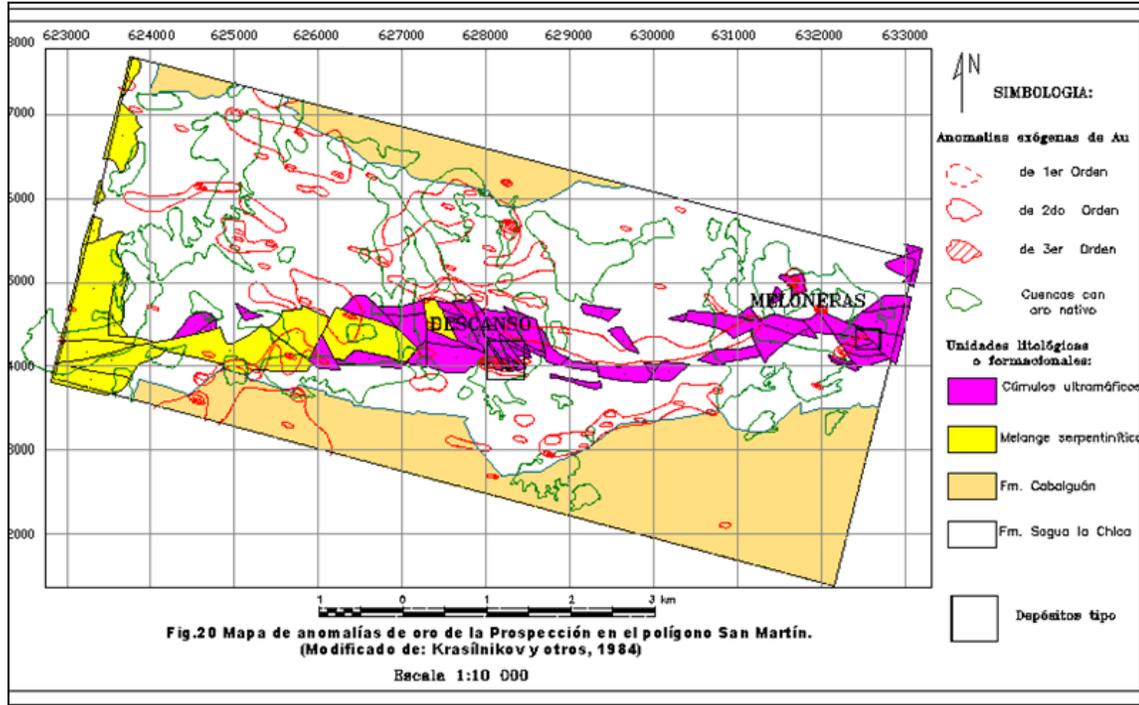


Figura 8. Mapa anomalías de oro en suelo en el polígono de prospección San Martín (Romero, 2011).

También se realizó la reinterpretación de los resultados de oro en suelo que se localizan en el área de la concesión de la Franja Meloneras Oropesa (Figura 9).

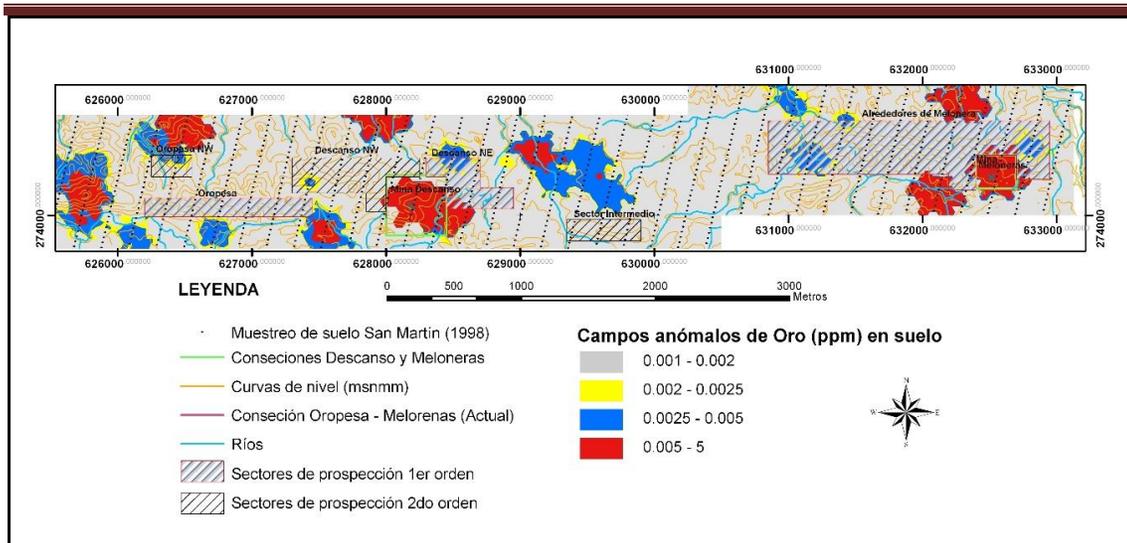


Figura 9. Mapa de anomalías de Au en suelo (Reinterpretación SIG).

Los campos anómalos de oro destacan, además de las minas conocidas, otras zonas asociadas al desplazamiento de las aureolas por causa del relieve o la red fluvial. Los valores mayores están relacionados con la contaminación de laboreos antiguos en los alrededores de las minas conocidas y en algunos casos se revelan nuevas áreas de interés, como el sector Oropesa y los flancos este y oeste de la Mina Meloneras.

A partir de los datos históricos de la prospección ejecutada en el polígono de estudio denominado "San Martín" (Krasilnikov *et al*, 1984), se realiza un pronóstico metalogénico de la mineralización aurífera del tipo Descanso (Romero, 2011). Como parte del proceso, se revisa toda la información del polígono y la obtenida posteriormente durante los trabajos de prospección detallada en los cuerpos meníferos Descanso y Meloneras, para establecer un modelo geológico de la mineralización aurífera del tipo Descanso y cómo ésta se refleja en los campos geofísicos y geoquímicos. A partir de dicho análisis se revela como de interés para el pronóstico: la información geológica, la información geoquímico-mineralógica y la información geofísica.

Estos grupos de datos se combinaron por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG), siguiendo criterios de expertos ordenados en un algoritmo basado en la lógica Fuzzy, para obtener mapas de evidencias geológicas, geoquímicas y geofísicas (Figs.10, 11 y 12), y finalmente un mapa integrado de pronóstico metalogénico (Fig. 13), utilizado para delimitar los sectores más perspectivas para este tipo de mineralización aurífera.

El pronóstico presentado permite seleccionar sectores perspectivas en los cuales se pueden acometer trabajos de prospección detallada para la localización de cuerpos meníferos del tipo Descanso.

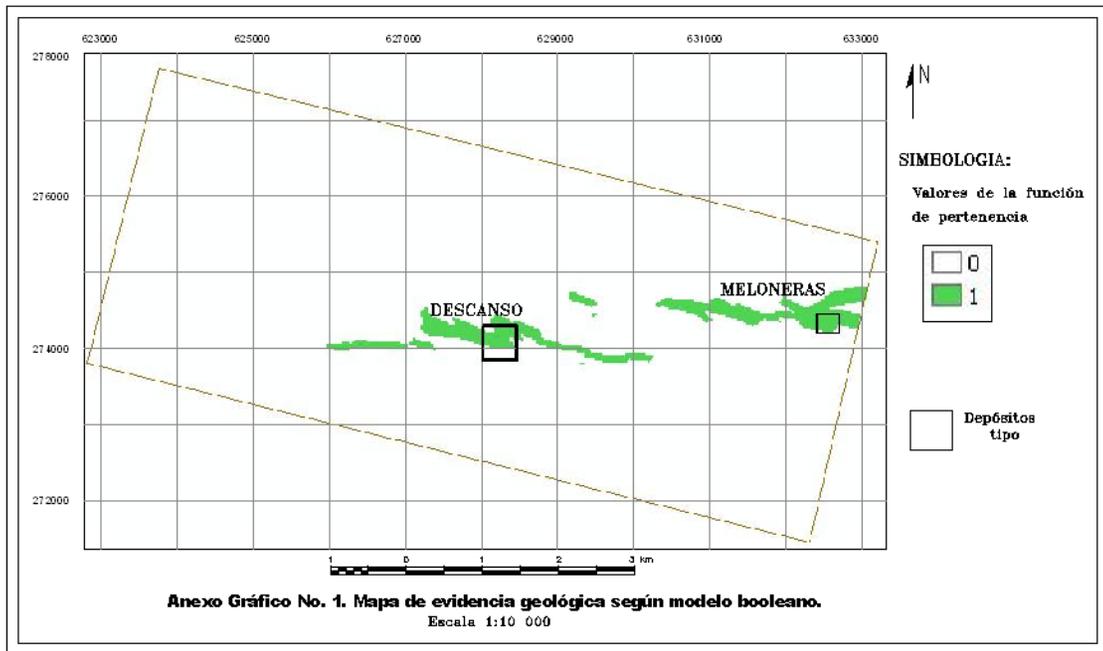


Figura 10. Mapa de evidencias geológicas según modelo de Fuzzy (Romero, 2011).

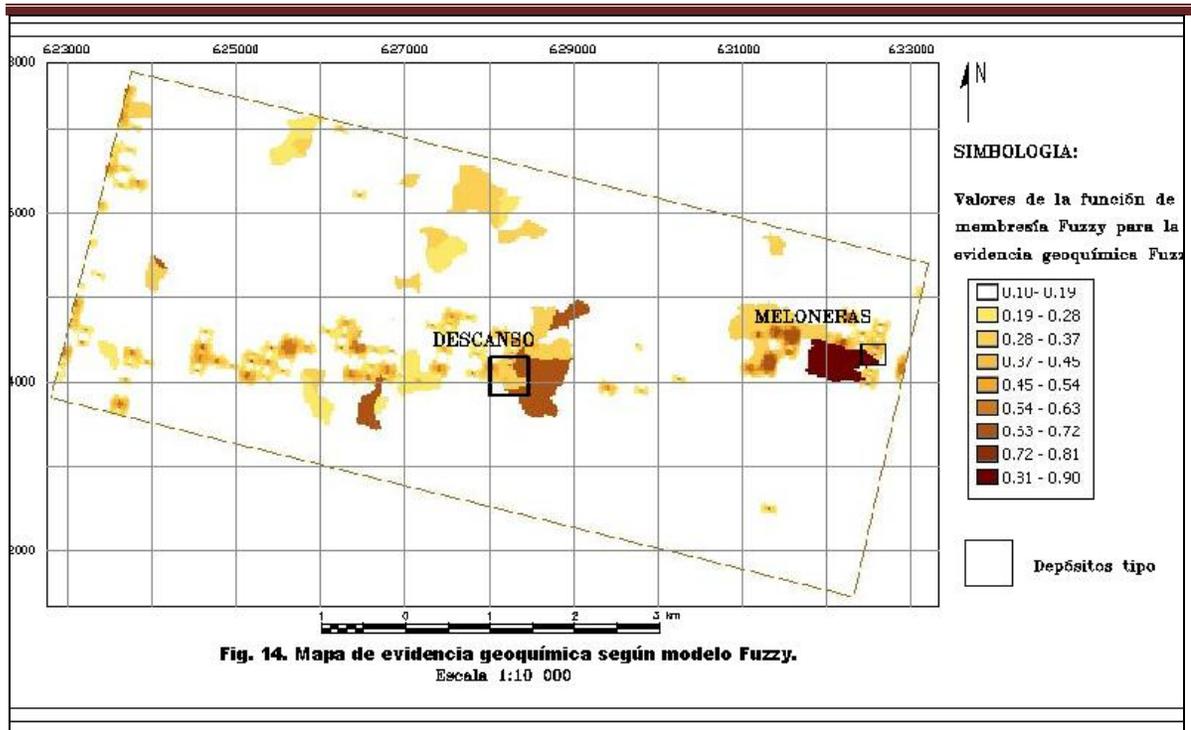


Figura 11. Mapa de evidencias geoquímicas según modelo Fuzzy (Romero, 2011).

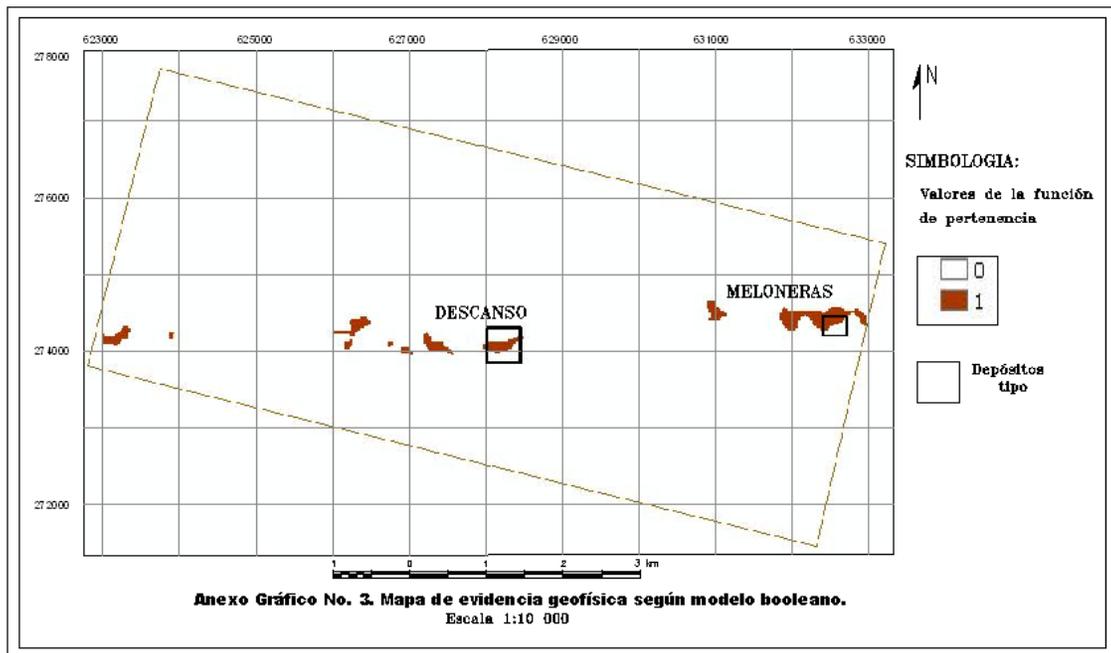


Figura 12. Mapa de evidencias geofísicas según modelo de Fuzzy (Romero, 2011).

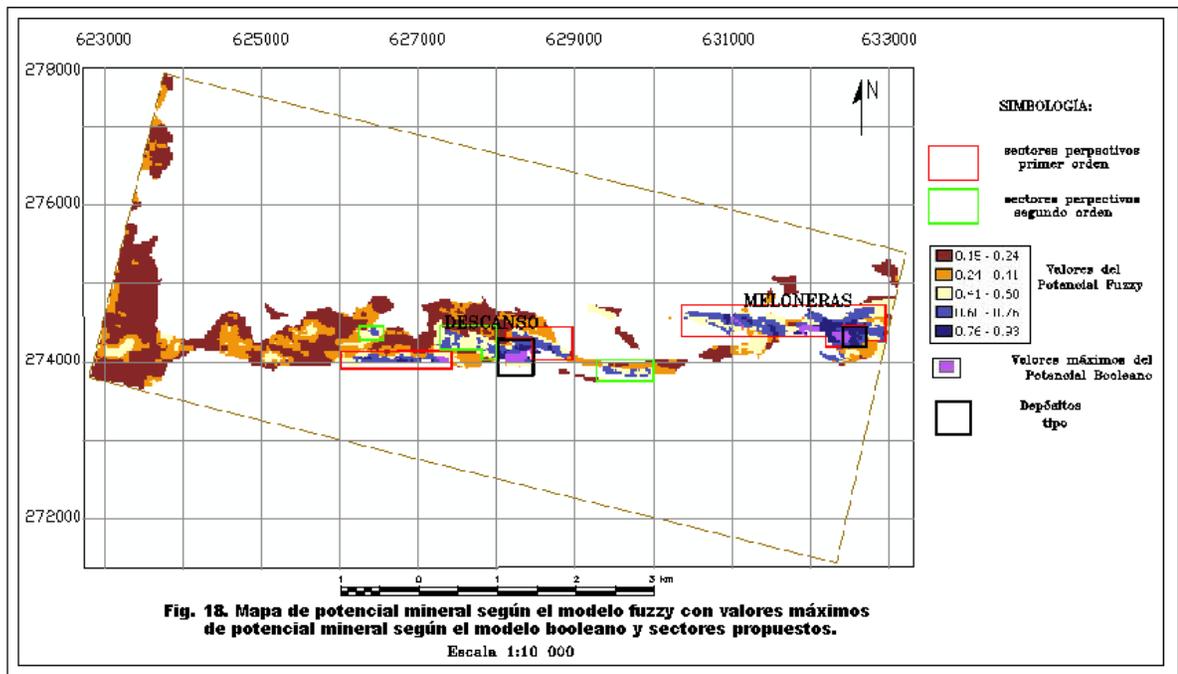


Figura 13.- Mapa del potencial de la mineralización según modelo Fuzzy (Romero, 2011).

Se establecen los criterios e índices de prospección basado en toda la información obtenida por Orestes Romero y Juan Rivero Manzano durante muchos años de prospección en áreas que comprenden el polígono San Martín y específicamente la concesión de Oro Descanso (Romero, 2011).

1.5.2 Criterios e Índices de búsqueda

Criterios Usados

Criterio litológico: la mineralización se encuentra en rocas ultramáficas serpentizadas del cinturón de las ofiolitas septentrionales, pertenecientes a la sección inferior del corte ofiolítico, específicamente en los cúmulos ultramáficos. La zona mineral está emplazada en bloques o cuñas de serpentinitas masivas, rodeadas de serpentinitas esquistosas con bloques y budinas de rocas alóctonas.

Criterio Tectónico: la zona mineral está asociada a una zona tectónica antigua con dirección aproximadamente Este-Oeste, siguiendo el rumbo general del cinturón serpentínico en que se encuentran. Pueden llegar a ser estrecha y muy sinuosa por el rumbo y el buzamiento. La zona mineral tiene una dirección sublatitudinal con un ángulo de buzamiento de 70° - 90° y con una dirección de buzamiento predominantemente dirigida al hacia el Norte. Tiene una potencia real variable desde 0.25 m hasta 2 m y a veces mayores.

Índices Directos

Geoquímico: las aureolas litogeoquímicas vinculadas a la mineralización aurífera tienen una asociación: Au-Ag-As-Pb, con algunos contenidos anómalos de W. Tales aureolas, excepto para el oro, son débiles y para detectarlas es necesario técnicas analíticas especiales. Los bloques de serpentinitas masivas que afloran en el polígono San Martín tienen una tendencia a mostrar de 50-100 veces más contenidos de Ni y Co que las demás rocas ultramáficas serpentinizadas que los engloban (serpentinitas esquistosa).

Geofísico: los bloques de serpentinitas masivas encajantes de la mena aurífera exhiben valores mínimos del campo magnético, inferiores a 1000 gammas. Las zonas auríferas mineralizadas en los bloques de serpentinitas masivas están asociadas a valores anómalos de polarizabilidad aparente (PI) de 5 % y mayores, que puede deberse tanto a la presencia de las zonas de trituración a las que están vinculadas, como a la propia presencia de sulfo-arseniuros disseminados. Relacionada con las zonas mineralizadas existe también cierta tendencia de la resistividad aparente (PI) a presentar valores elevados desplazados hacia el norte de dichas zonas. No se ha podido explicar la causa de este fenómeno.

Alteraciones: la alteración circunmenífera está prácticamente confinada al entorno inmediato de la zona mineralizada, sin desarrollo lateral, y consta en lo fundamental de carbonatización-cloritización, pero están presentes otras alteraciones como

serpentinización, talquitización, granatización. No se observa presencia de sílice libre como cuarzo.

Mineralógico: los minerales principales que constituyen la mena son serpentinita, antigorita y lizardita-crisotilo, es decir, minerales pétreos, que forman más del 85 % del volumen de las menas. Los minerales de alteración no metálicos principales son la clorita, breinerita y calcita. Los minerales metálicos mayoritarios de la mena aurífera es la arsenopirita cuyos contenidos oscilan entre 0.5 y 6.0 % de la masa total de mena, además de la pirrotina, que puede llegar hasta 1 %, esto las convierte en menas diseminadas. Los demás son minerales minoritarios, apareciendo entre otros la scheelita, galena, calcopirita, magnetita, ilmenita, cromita, sulfuros de hierro y níquel, raramente se encuentra esfalerita, pentlandita y cuproaurita. El oro se encuentra en forma de oro nativo y muy raramente como cuproaurita, entrecrecido con la arsenopirita y con los minerales no metálicos.

Breve Descripción: macroscópicamente la zona mineral está dada por la existencia de una mineralización de sulfuros, principalmente arsenopirita, diseminados en vetillas y nidos dentro de una mezcla de peridotitas serpentinizadas, carbonatizadas, muy alteradas y tectonizadas, y cuya composición primaria no ha podido ser determinada.

Conclusiones

Se demuestra que la geología de la región de estudio es compleja, representada por una sección del complejo ofiolítico donde afloran las secuencias del complejo cumulativo ultramáfico-máfico caracterizado por mantos y cuñas de rocas ultramáficas con diferente grado de serpentinización contenedoras de las zonas minerales, en donde se destacan varios tipos de peridotitas, peridotitas plagioclásicas, piroxenitas y en menor medida dunitas, todas ellas parcial o totalmente serpentinizadas. Presencia de cuerpos alóctonos de gabros, diabasas y pórfidos dacíticos.

Se corrobora que las mineralizaciones auríferas presentes en la región de estudio se asocian al tercer episodio metalogenético para el Au (Daniense-Eoceno Medio), muy prolífero en mineralizaciones de oro en listvanitas, localizadas principalmente en una faja metalogenética de aproximadamente 400 Km desde la porción sur de Santa Clara hasta el norte de Holguín.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Introducción

2.1 Metodología de la investigación

2.2 Métodos de prospección geoquímicos empleados

2.3 Técnicas analíticas utilizadas

2.4 Procesamiento de la información

Conclusiones

Introducción

En este capítulo se explica la metodología de la investigación, los métodos de prospección, técnicas analíticas y la interpretación empleada durante la investigación.

2.1 Metodología de la investigación

La investigación se desarrolla en tres etapas principales e integra la base metodológica que se emplea en la actualidad para la prospección geoquímica (Moon. J. Charles et al, 2006). Estas etapas según la evolución cronológica de los trabajos se denominan de la siguiente forma:

I. Etapa Preliminar. Planeamiento.

II. Etapa Experimental. Muestreo y Análisis de Laboratorio.

III. Etapa de Gabinete. Procesamiento, Interpretación, Conclusiones y Acciones a Recomendar.

Etapa preliminar. Planeamiento

Esta etapa sustenta la fundamentación teórica de la investigación, permite orientar los trabajos de prospección geoquímicos, determinar la metodología y métodos más apropiados para alcanzar los objetivos propuestos. Durante este período se realizó una revisión bibliográfica de toda la información primaria existente como mapas, fotos satelitales, datos de archivo, informes, libros, publicaciones y modelos descriptivos; que se encontraban disponibles en: bases de datos remotas, el fondo geológico del Departamento de Geología del ISMMM, la sala técnica de la biblioteca del ISMMM, los congresos de la Sociedad Cubana de Geología (SCG), informes técnicos archivados en Geominera del Centro, informes de antiguos trabajos archivados en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), la revista Minería y Geología, en sitios web de internet y en la Biblioteca Digital Cubana de Geociencias. El volumen de información obtenido fue organizado en carpetas especializadas (Fig. 14) e incorporado mediante el uso del software EndNote a la biblioteca virtual “José EndNote Library” siempre que estuviera en formato digital. Se prepararon todos los materiales logísticos y herramientas para el trabajo de campo como bolsas de polipropileno y nylon, picos, palas, GPS, bateas, tamices, mochilas, piquetas, plumones, lupas (Fig. 15) y se realizó un servicio de orientación donde se consultó con los expertos en la materia los trabajos y procedimientos a realizar.

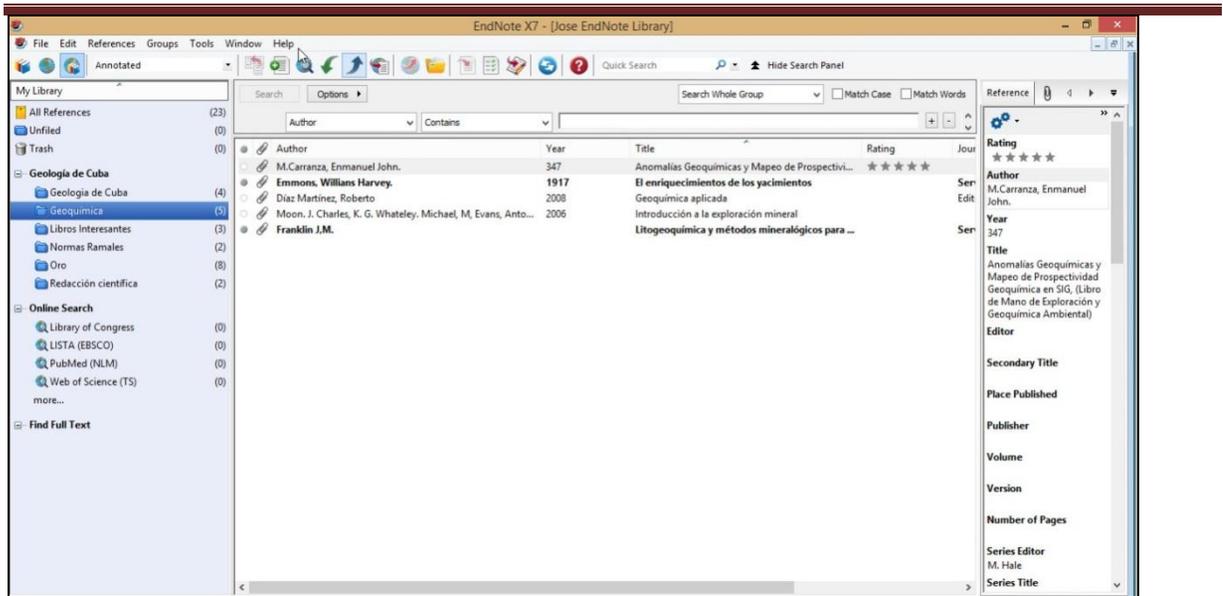


Figura 14.- Biblioteca virtual José EndNote Library con carpetas especializadas en Geoquímicas (Valdés Claro, 2016).





Figura 15.- Herramientas a utilizar en los muestreos de suelo y sedimentos aluviales. (Valdés Claro, 2016).

Etaapa Experimental. Muestreo y Análisis de Laboratorio

La presente etapa comienza con las operaciones del muestreo de los materiales geológicos que son objeto de estudio de los métodos de prospección aplicados. Posteriormente se envían las muestras tomadas al laboratorio de la empresa Geominera del Centro y al laboratorio “José Isaac del Corral”. En el primero se realizaron los análisis mineralógicos ópticos de las jaguas, mientras que en el segundo se determinaron los principales elementos químicos que contienen las muestras de suelo, expresando las concentraciones de estos en g/t. La determinación del Au se llevó a cabo según el método combinado Ensayo al Fuego (F.A.) con tamizado + Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) hasta 0.1 g/t como límite de detección. Elementos asociados como Ag, As, Pb, Cu, Zn, Hg, Mo, Co, Ni se determinaron por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES) < 5 g/t de concentración.

El control interno de las muestras se realizó basado en las normas ramales de control interno para material geológico (NC-92-02); se tomaron las muestras de control de manera aleatoria y dependiendo del volumen de las mismas por sectores, por lo que se envió el 10 % de los duplicados para control interno de la calidad del

laboratorio “José Isaac del Corral”. Luego se determinó el error casual y el error medio relativo para el oro, elemento buscado en la investigación.

Etapa de Gabinete. Interpretación

En esta etapa, después de obtener los datos cuantitativos y cualitativos proveniente de los resultados de los laboratorios se conforma una amplia base de datos que permite realizar análisis estadístico de las variables regionalizadas y así establecer umbrales de concentración de los elementos de interés. Con la ayuda de diversos softwares como el Surfer v14, AutoCad Map 2014 y ArcGIS 10.4.1 se procesan datos geoquímicos para generar mapas de concentraciones y caracterizar las aureolas secundarias y flujos de dispersión mediante la interpretación de los mapas de estimaciones.

2.2 Métodos de prospección geoquímicos empleados

Durante la “Prospección Au Franja Melonera-Oropesa”, dentro del campo menífero Descanso-Meloneras presentes en las ofiolitas septentrionales de la región central, se utilizan diversos métodos de prospección geoquímicos basados en la determinación de valores umbrales del oro y los elementos asociados para la detección de anomalías, con el objetivo de determinar zonas auríferas vinculadas con un posible cuerpo mineral reveladas por las aureolas geoquímicas secundarias y los flujos de dispersión. Estos métodos incluyeron la prospección geoquímica de suelo residual y una variante de los métodos visuales conocida como concentrados de minerales pesados (HMCS-heavy minerals concentrates sampling) muy difundida a nivel mundial, conocida en Cuba como método de jagua natural.

2.2.1 Geoquímica de Suelos Residuales

Este método de prospección utiliza el muestreo de suelo para buscar anomalías directamente situadas encima del cuerpo mineral. Se basa en que la composición del suelo residual depende altamente del cuerpo mineralizado subyacente.

Se realizó la toma de la muestra en la zona B del suelo (Figs. 16 y 17), en una red regular de 50 x 20 m; esta es una zona de enriquecimiento con presencia de minerales pesados $> 5 \text{ g/cm}^3$. La potencia promedio de los suelos formados sobre las ofiolitas septentrionales en la región central oscila entre 0.2 m y 0.8 m, el peso de las muestras oscila entre 3.125-5 Kg como peso inicial representativo para una constante de heterogeneidad de 0.5 y una granulometría de 2.5 mm.

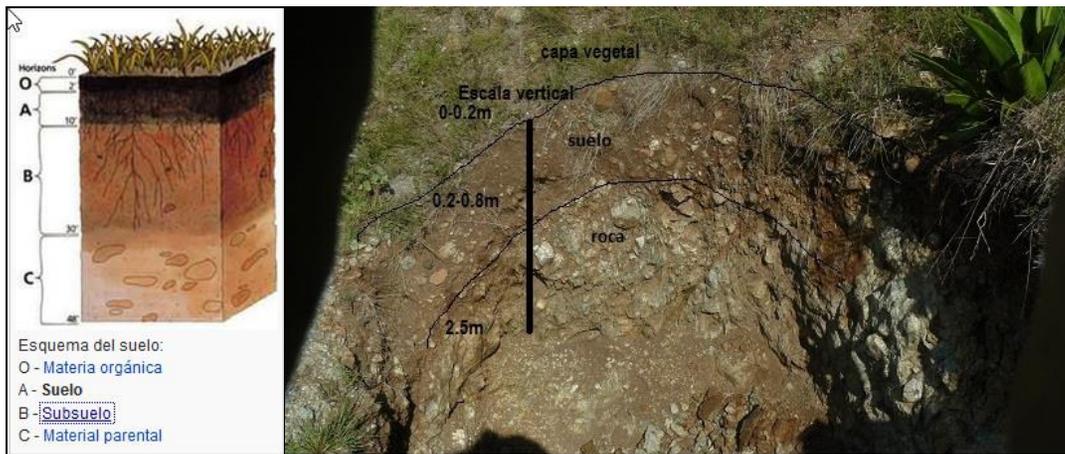


Figura 16.- Capas del suelo (foto de la izquierda, tomada de Wikipedia y foto de la derecha, toma desde una cabeza de una trinchera reflejando la capa del suelo residual formada sobre las rocas ultramáficas en la Franja Melonera-Oropesa), (Valdés Claro, 2016).



Figura 17.- Toma de muestras en cada perfil y estaca de la red topográfica (Valdés Claro, 2016).

2.2.2 Método de Sedimentos Pesados o Jagua natural

Este método, con el objetivo de revelar zonas enriquecidas en Au y otros minerales meníferos, utiliza los flujos de dispersión mineralógicos aluviales y deluviales a través del estudio de los minerales pesados o las fracciones pesadas $> 5 \text{ g/cm}^3$. Para ello se realiza el lavado de las muestras tomadas de diferentes sedimentos friables, en depósitos aluviales (jagua natural) y en depósitos eluviales-deluviales (jagua natural de laderas), donde están presentes minerales como oro nativo, casiterita y cinabrio, entre otros minerales indicadores directos de concentraciones minerales significativas.

En la jagua natural se toman los sedimentos aluviales depositados en las zonas de menor velocidad de las corrientes de los ríos como recodos, lentes o lenguas de tierra, detrás de los salientes de las orillas abruptas, en sedimentos poco clasificados por los ríos. En este muestreo se emplea una red irregular de 50 m, con una cubeta de 20 litros; una vez confirmada la presencia de oro en las muestras entonces se aplica el muestreo de jagua natural de laderas. Esta variante consiste en muestrear los suelos transportados o residuales formados en depósitos eluviales-deluviales, se realiza desde la red fluvial hacia las laderas, tomando una muestra en una red irregular con un espaciamiento de 50 m entre cada muestra. Se comienza con una separación de la red fluvial hacia las zonas eluviales-deluviales de 20 m con el objetivo de encontrar menas auríferas a través de conos de influencia, creando unas series de perfiles paralelos entre ellos y a la red fluvial, su continuidad está en dependencia de los resultados positivos.



Figura 18.- Muestreo en recodos, orillas, lenguas de tierra (Valdés Claro, 2016).

Las muestras tomadas con las dos variantes se benefician con un tamiz alemán de malla < 6.3 mm y lavado de las fracciones hasta llegar a la jagua gris (Figs. 19 y 20), posteriormente se secan, registran en una libreta de campo, enumeran por lotes y sectores, se toman las coordenadas por GPS, se depositan en envases preparados y se transportan al laboratorio correspondiente.



Figura 19.- Lavado del sedimento areno-gravoso (Valdés Claro, 2016).



Figura 20.- Muestras lavadas, jagua con presencia de minerales con peso específico $> 5 \text{ g/cm}^3$. (Valdés Claro, 2016).

2.3 Técnicas analíticas utilizadas

2.3.1 Análisis Mineralógico Óptico

La técnica analítica utilizada brinda información cualitativa y cuantitativa de las concentraciones de Au en las fracciones de jagua a través de la visualización de las muestras, conteo e identificación de granos (pepitas) y plaquitas. El análisis comienza con el pesaje en una balanza micro-analítica, después requiere una tamización de la jagua en dos fracciones $<0.5 \text{ mm}$ y $>0.5 \text{ mm}$, posteriormente la separación de la fracción magnética, electromagnética y diamagnética (Fig. 21) de ambas; una vez separadas se describen los minerales presentes en cada fracción y se determinan las concentraciones de oro nativo expresadas en por ciento con respecto al peso de la muestra. Este análisis mineralógico óptico tiene sus bases en las propiedades físicas de los minerales y sobrepasa otras técnicas aplicadas en cuanto a costos e información obtenida.



Figura 21.- Análisis mineralógico óptico (Valdés Claro, 2016).

2.3.2 Ensayo al Fuego (Docimácea)

El ensayo al fuego se utiliza para determinar el oro en todo tipo de material geológico, consta de dos pasos principales: fusión y copelación. En el primero se produce una fusión de la muestra usando reactivos fundentes adecuados, a una temperatura por encima de 1050°C . En la sustancia fundida resultante se logra una fase inmisible, producto de las reacciones de oxidación-reducción, que al enfriarse muestra el plomo y los metales (régulo) separados de la escoria. El segundo paso conocido como extracción de los metales (copelación), consiste en colocar el régulo en una copela de magnesita e introducirlo en el horno, a una temperatura de 920°C . En este proceso el plomo es absorbido en más de un 98% y el resto de los metales se volatiliza quedando un botón de aspecto brillante conocido como doré. El doré se ataca químicamente por diferentes ácidos para obtener el oro puro, después se pesa

en una micro-balanza y se expresa el resultado en ppm o g/t, este método puede ser combinado con Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) para obtener alta confiabilidad en los resultados.

2.3.3 Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)

La Espectrometría de absorción atómica es un método instrumental de la química analítica que permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos (más de 70 elementos diferentes en solución o directamente en muestras sólidas). Esta técnica se emplea para determinar la concentración de un elemento particular en una muestra (el analito).

Es un método de química analítica cuantificable que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador prequemador o cámara de nebulización, para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga, en caso de que la transmisión de energía inicial al analito sea por el método "de llama". La niebla atómica queda desolvatada y expuesta a una energía con determinada longitud de onda emitida, ya sea por la llama, o por una lámpara de cátodo hueco (Hollow Cathode Lamp o HCL) construida con el mismo analito a determinar, o una Lámpara de Descarga sin Electrodo (Electrodeless Discharge Lamp o EDL).

La temperatura de la llama es lo bastante alta como para que no se extingan los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito se consigue con el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En AAS la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito existente en la muestra. Hoy día se utiliza

frecuentemente una mufla de grafito para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla, aumentando la sensibilidad.

El método del horno de grafito también puede analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas.

2.3.4 Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES)

La espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-AES) utiliza el funcionamiento siguiente: la muestra pasa a través de un plasma que genera una temperatura entre 6000-10000° K, por esta razón no utiliza lámparas. El plasma proporciona energía y excita los átomos llevándolos a estados energéticos superiores y emite una radiación con una longitud de onda que es característica del elemento que la compone, luego los detectores aíslan las líneas de emisión y miden su intensidad que es amplificada por el tubo amplificador y se obtiene una corriente eléctrica medida por un chips que permite visualizar mediante softwares curvas que correlacionan la concentración y la intensidad, brindando información cuantitativa. El barrido simultáneo o secuencial se realiza en minutos, a diferencia del proceso analítico del Espectrometría de absorción atómica (AAS) que es muy laborioso, permite construir curvas de calibración a mayores o menores concentraciones del analito obteniendo excelentes correlaciones de concentración e intensidad. Esta técnica posibilita determinar cuantitativamente hasta 73 elementos de manera simultánea, hasta 6 órdenes de magnitud (0.05 ppm-500 ppm), así como obtener respuestas en cortos períodos de tiempo con mejor precisión.

2.4 Procesamiento de la información

2.4.1 Procesamiento de los datos de la geoquímica de suelos residuales

El procesamiento inicia una vez recibidos del laboratorio los datos geoquímicos. Las variables cuantitativas referentes a la concentración de diferentes elementos químicos se agrupan en bases de datos creadas en Excel, conformando una para cada sector (Fig. 22), entonces se realiza el análisis estadístico de los datos y la generación de mapas de concentraciones de los elementos químicos en el suelo.

Es importante aclarar que los resultados por debajo del límite de detección de los equipos analíticos de AAS y ICP-AES obtenidos para Au, Ag y As en esta investigación se reflejaron en las bases de datos como el clark de concentración de estos elementos en la corteza terrestre (tabla 5), el resto de los elementos con el valor del límite de detección.

Tabla 5.- Valores cuantitativos otorgados a los resultados provenientes del laboratorio por debajo del límite de detección.

Técnica Analítica	Límite de detección	Base de Datos (Clarke)
AAS (Au)	0.1 g/t	0.005 g/t
ICP-AES (Ag)	5.0 g/t	0.08 g/t
ICP-AES (As)	5.0 g/t	1.8 g/t
ICP-AES (Co)	5.0 g/t	5.0 g/t
ICP-AES (Cu)	5.0 g/t	5.0 g/t
ICP-AES (Hg)	5.0 g/t	5.0 g/t
ICP-AES (Mo)	5.0 g/t	5.0 g/t
ICP-AES (Ni)	5.0 g/t	5.0 g/t
ICP-AES (Zn)	5.0 g/t	5.0 g/t
ICP-AES (Pb)	5.0 g/t	5.0 g/t

Creación de Bases de datos

Las bases de datos fueron sometidas a un proceso de validación que permite corregir los errores comunes que ocurren en la confección de las mismas y que pueden distorsionar los resultados.

Entre las funciones de la validación aplicada a la base de datos se tienen las siguientes:

- 1) Búsqueda de contenidos de elementos químicos repetidos
- 2) Coordenadas repetidas de los puntos de muestreo
- 3) Contenidos de elementos químicos con valores en cero

La magnitud de los errores detectados fue despreciable y, en sentido general, los datos presentan la calidad requerida para ser usados en los diferentes estudios estadísticos y de confección de mapas.

Nr.Orden	Nmuestra	Perfil	Estaca	Cordx	Cordy	Cota	Entrada Lab	Fecha Env	Fecha Res	Au g/t	Ag	As	Co	Cu
1	2927	0	0	626550.16	274447.87	176.18	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.102	1.00	30.2	216.2	26.3
2	2928	0	-20	626550.15	274427.87	176.56	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	29.6	201.6	26.8
3	2929	0	-40	626550.14	274407.87	174.51	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	27.9	260.6	27.1
4	2930	0	-60	626550.13	274387.87	172.83	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	36.5	181.1	31.7
5	2931	0	-80	626550.12	274367.87	174.64	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	30.6	188.4	47.4
6	2932	0	-100	626550.11	274347.87	175.11	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	29.2	189.8	29.8
7	2933	0	-120	626550.1	274327.87	174.21	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.410	1.00	84.1	119.2	28.1
8	2934	0	-140	626550.09	274307.87	175.96	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	31.5	195.0	27.3
9	2935	0	-160	626550.08	274288	180.11	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.106	1.00	50.2	103.7	21.6
10	2936	50	0	626499.53	274447.95	187.83	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.145	1.00	28.0	188.4	30.5
11	2937	50	-20	626499.55	274427.95	187.09	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	28.9	245.3	31.5
12	2938	50	-40	626499.57	274407.95	185.69	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.128	1.00	32.8	229.6	31.5
13	2939	50	-60	626499.59	274387.95	184.31	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.111	1.00	28.6	180.3	21.1
14	2940	50	-80	626499.61	274367.95	184.52	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.112	1.00	37.7	228.6	39.0
15	2941	50	-100	626499.63	274347.95	183.96	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.108	1.00	28.7	181.8	30.8
16	2942	50	-120	626499.65	274327.95	182.34	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.103	1.00	35.7	237.3	47.2
17	2943	50	-140	626499.67	274307.95	182.95	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	31.3	180.1	25.6
18	2944	50	-160	626499.69	274287.95	187.04	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.112	1.00	41.0	100.4	47.7
19	2945	100	0	626449.03	274447.9	193.07	c-16189-190	6/17/2016	9/23/2016	0.05	1.00	32.5	182.6	35.0

Figura 22.- Base de datos de geoquímica de suelos residuales del sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Análisis Estadístico Básico

El análisis estadístico de los contenidos obtenidos del laboratorio se realiza con el objetivo de evaluar la distribución y estructura espacial de los datos geoquímicos. Se lleva a cabo un análisis univariado que posibilita el cálculo de los estadígrafos fundamentales de tendencia central, dispersión y forma, además de la construcción de los histogramas para cada elemento químico registrado en las bases de datos de metalometría, prestando mayor atención al elemento buscado, Au.

Tabla 6.- Estadística básica de los elementos químicos analizados en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Estadística/ Elementos (g/t)		Au	Ag	As	Co	Cu	Hg	Mo	Ni	Zn	Pb
	Suma	7.31	18.82	1421.88	35086.84	7931.29	1030.00	1030.00	565462.60	13284.00	41632.07
	Cuenta (n)	204.00	204.00	204.00	204.00	204.00	204.00	204.00	204.00	204.00	204.00
	Mínimo	0.005	0.08	1.80	20.78	5.70	5.00	5.00	79.81	2.50	29.84
	Máximo	1.53	1.46	211.32	393.00	183.82	5.00	5.00	6611.00	162.62	1218.00
Medidas de Posición	Moda	0.005	0.08	1.80	127.69	24.25	5.00	5.00	3349.00	47.00	109.05
	Mediana	0.005	0.08	5.65	172.89	31.35	5.00	5.00	2862.50	63.00	113.22
	Media	0.04	0.09	6.90	170.32	38.50	5.00	5.00	2744.96	64.49	202.10
Medidas de Dispersión	Rango	1.53	1.38	209.52	372.22	178.11	0.00	0.00	6531.19	160.12	1188.16
	σ -Desv. Est.	0.16	0.12	15.16	57.37	25.36	0.00	0.00	1204.49	25.50	214.94
	σ^2 -Varianza	0.02	0.01	229.83	3291.76	643.09	0.00	0.00	1450807.93	650.49	46198.93
Medidas de Forma	Curtosis	57.79	112.68	161.73	0.35	7.92			-0.05	2.60	4.05
	Coef.Asimetría	7.20	10.53	12.11	0.19	2.34			0.19	1.07	2.12

En caso de que estos resultados se encuentren por debajo del límite de detección en su totalidad no se generan mapas, ejemplo: los valores Ag, Hg y Mo son negativos o por debajo del límite de detección en el sector Oropesa.

Histogramas acumulativos

Confección de gráficos para conocer la frecuencia de distribución de los elementos en la población, se agrupan en clases y se muestran en gráficos de barras lo que permite conocer si los valores por debajo del límite de detección son más frecuentes (Fig. 23).

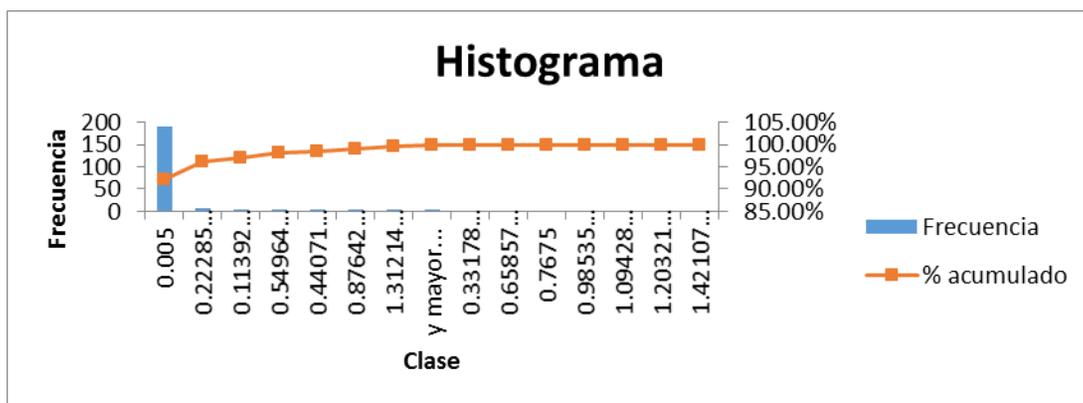


Figura 23.- Histograma acumulativo, realizado en Excel.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (para un 95% de confianza)

Determinación de la distribución normal o no normal de los datos geoquímicos, posibilitando establecer los umbrales a través de dos métodos: 1) si el elemento químico presenta una distribución no normal entonces los umbrales (threshold) se establecen a partir del “Separación de Clases (Break lines)”, y 2) si presenta una distribución normal entonces los umbrales se establecen mediante el método “Media y desviación estándar”.

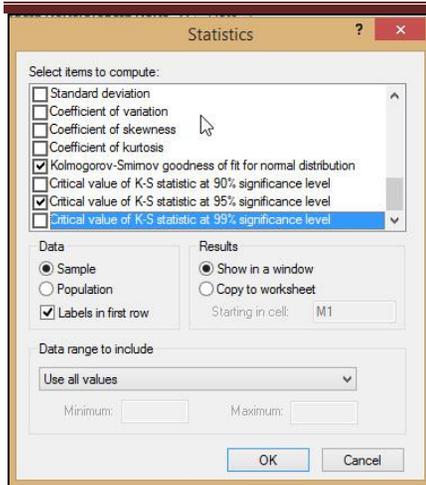


Figura 24.- Prueba de Kolmogorov-Smirnov (para un 95% de confianza), realizado en Golden Software Surfer v14.

Tabla 7.- Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Distribución normal			
	Kolmogorov-Smirnovstat	0.494	0.49>0.09
	Critical K-S stat, alpha=.05	0.094	Negativo
Distribución log-normal			
	Kolmogorov-Smirnovstat	0.522	0.522>0.094
	Critical K-S stat, alpha=.05	0.094	Negativo

Mapas de concentraciones mono-elemento mediante el método de estimación Inverso de una Potencia de la Distancia.

Después de establecidos los umbrales en función de la distribución normal o no normal de los datos geoquímicos, entonces se generan los mapas de concentraciones por el método de estimación del Inverso de una Potencia de la Distancia.

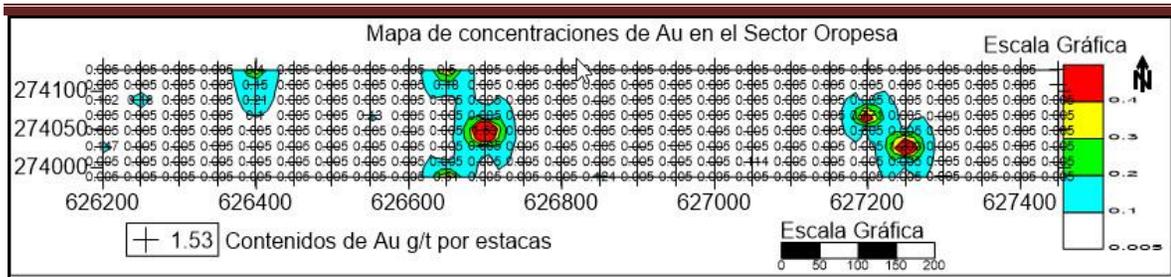


Figura 25.- Mapa de concentraciones generado por el Inverso de una Potencia de la Distancia (Valdés Claro, 2017).

A continuación, se exponen dos ejemplos en el sector Oropesa, donde el Au presenta una distribución no normal de los datos y el Co una distribución normal.

Método de Separación de Clases (Break Lines), distribución no normal del Au

Tabla 8.- Histograma del Au.

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
0.005	190	92.23%	0.005	190	92.23%
0.113928571	2	93.20%	0.22285714	8	96.12%
0.222857143	8	97.09%	0.11392857	2	97.09%
0.331785714	0	97.09%	0.54964286	2	98.06%
0.440714286	1	97.57%	0.44071429	1	98.54%
0.549642857	2	98.54%	0.87642857	1	99.03%
0.658571429	0	98.54%	1.31214286	1	99.51%
0.7675	0	98.54%	y mayor...	1	100.00%
0.876428571	1	99.03%	0.33178571	0	100.00%
0.985357143	0	99.03%	0.65857143	0	100.00%
1.094285714	0	99.03%	0.7675	0	100.00%
1.203214286	0	99.03%	0.98535714	0	100.00%
1.312142857	1	99.51%	1.09428571	0	100.00%
1.421071429	0	99.51%	1.20321429	0	100.00%
y mayor...	1	100.00%	1.42107143	0	100.00%

Al observar que la frecuencia de distribución para el Au, se concluye que el 92.23 % de los resultados se encuentran por debajo del límite de detección con un valor de 0.005 g/t que corresponde al Clarke de Au en rocas ultramáficas, 190 resultados son la clase predominante en el sector y se establecen como el fondo geoquímico del Au en el sector de Oropesa. Los restantes valores ocupan la segunda clase predominante y se encuentran entre 0.15 y 0.26, restando solo los valores de mayores concentraciones.

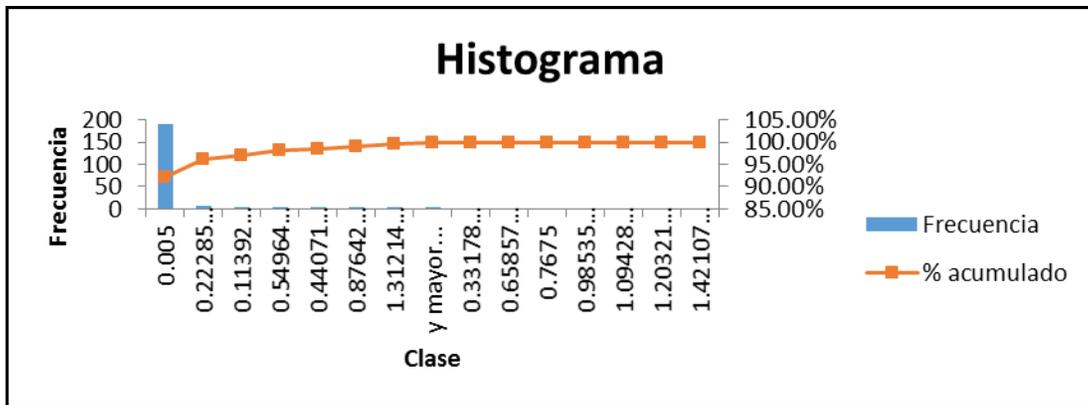


Figura 26.- Histograma de Au.

Al realizar la prueba para de Kolmogorov-Smirnov para determinar si el conjunto de datos presenta una distribución normal se obtiene que:

Tabla 9.- Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Au en el sector Oropesa.

Distribución normal			
	Kolmogorov-Smirnovstat	0.494	0.49 > 0.09
	Critical K-S stat, alpha=.05	0.094	negativo
Distribución log-normal			
	Kolmogorov-Smirnovstat	0.522	0.522 > 0.094
	Critical K-S stat, alpha=.05	0.094	negativo

Al resultar la prueba negativa para una distribución normal y log-normal, y observar que la frecuencia de distribución es sesgada (skewed) por la diferencia tan grande entre la media, mediana y el valor máximo, y que además más del 40 % de los datos en la población se encuentran por debajo del límite de detección se procedió a aplicar la “Separación de Clases (Break Lines)”, para establecer los valores umbrales y así generar los mapas de concentraciones mediante un método de estimación.

Entonces mediante la utilización del Golden software Surfer v14 se generan mapas donde se define como el fondo geoquímico para el Au en rocas ultramáficas el valor de 0.005 g/t (clase predominante), que representan todos los valores negativos o por debajo del límite de detección. Se eliminaron los valores huracanados y se establecieron los umbrales a partir de las clases predominantes mostradas en los histogramas con los valores 0.1; 0.2; 0.3 y 0.4; los colores azul, verde, amarillo y rojo se utilizan para reflejar el incremento de la concentración.

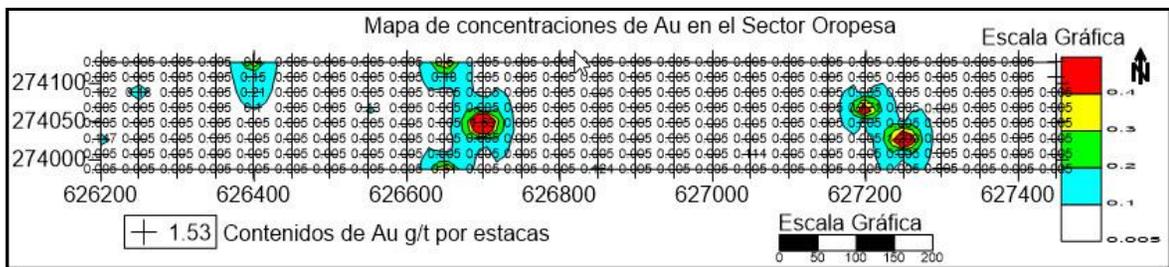


Figura 27.- Mapa de concentraciones de Au en suelo del sector Oropesa. (Valdés Claro, 2017).

El mapa, que se muestra en la figura 27, refleja que los principales valores de Au se encuentran en la región central de la concesión y en el este de la concesión.

Ejemplo del método Media y la Desviación estándar. Distribución normal de Co

Tabla 10.- Histograma del Co.

Histograma acumulativo					
<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>	<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
20.783	1	0.49%	206.8915	38	18.45%
47.3699286	1	0.97%	180.304571	37	36.41%
73.9568571	6	3.88%	233.478429	32	51.94%
100.543786	14	10.68%	127.130714	28	65.53%
127.130714	28	24.27%	153.717643	27	78.64%
153.717643	27	37.38%	100.543786	14	85.44%
180.304571	37	55.34%	260.065357	10	90.29%
206.8915	38	73.79%	286.652286	7	93.69%
233.478429	32	89.32%	73.9568571	6	96.60%
260.065357	10	94.17%	313.239214	4	98.54%
286.652286	7	97.57%	20.783	1	99.03%
313.239214	4	99.51%	47.3699286	1	99.51%
339.826143	0	99.51%	y mayor...	1	100.00%
366.413071	0	99.51%	339.826143	0	100.00%
y mayor...	1	100.00%	366.413071	0	100.00%

Al observar la frecuencia de distribución del Co, se concluye que los datos se encuentran mejor distribuidos y en forma más regular, no hay resultados por debajo del límite de detección y la clase predominante es de 206 g/t con un 18.62 % en el sector.

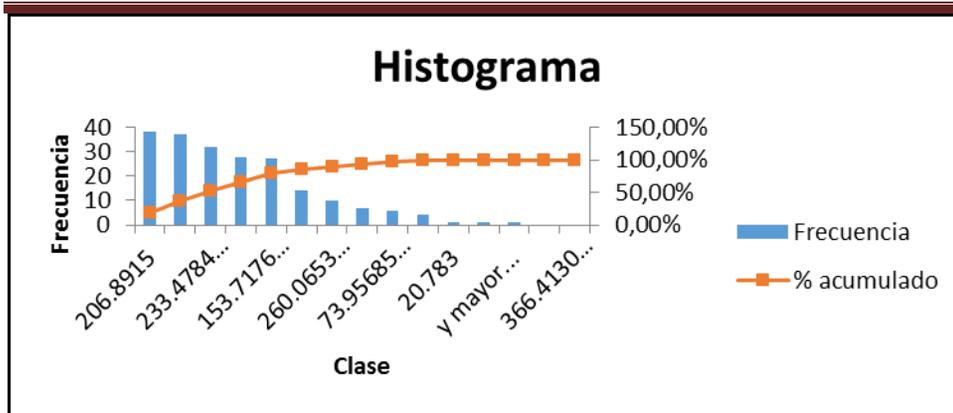


Figura 28.- Histograma de Co.

Al realizar la prueba para de Kolmogorov-Smirnov para determinar si el conjunto de datos presenta una distribución normal se obtiene que:

Tabla 11.- Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Co en el sector Oropesa.

Distribución normal			
	Kolmogorov-Smirnovstat	0.057	0.05<0.09
	Critical K-S stat,		
	alpha=.05	0.094	positivo

Como los datos están distribuidos normalmente podemos aplicar el método basado en “Media y la desviación estándar”.

Tabla 12.- Método basado en los valores de la “Media y la desviación estándar”.

Distribución Normal				
	Incremento	Umbrales de Anomalías Geoquímicas		
μ	Σ	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu+3\sigma$
170.3	57.3	227.6	284.9	342.2

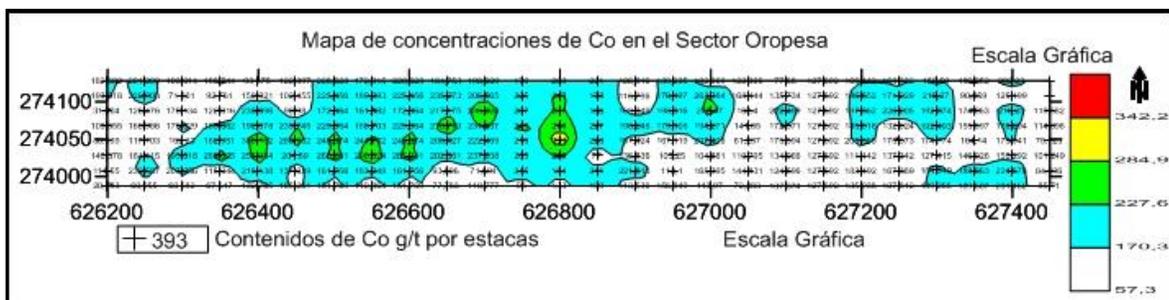


Figura 29.- Mapa de concentraciones de Co en suelo del sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

2.4.2 Procesamiento de los datos del método de sedimentos pesados

El procesamiento inicia una vez obtenidos los resultados del laboratorio de geominera del centro, los mismos, brindan los valores de concentraciones de oro, minerales meníferos y petrográficos provenientes del análisis mineralógico óptico. Esta amplia información se agrupa en bases de datos creadas en Excel (Fig. 30). Posteriormente se confeccionan los mapas de ocurrencia de minerales como oro, minerales meníferos y petrográficos, los cuales diferencian en sus leyendas las concentraciones de 1-10 granos con color amarillo, 10-90 granos color magenta, más de 100 granos color rojo y color negro cuando no existe presencia de oro. Asimismo, se establecen los conos de influencia para determinar la ocurrencia de cuerpos minerales en posibles depósitos eluviales-deluviales a través de las muestras de jaguas positivas (Figs. 31 y 32).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Nombre	Muestra	Sector	Coordenadas X	Coordenadas Y	Auto Cad Coordenadas	Oro (granos y placas)	Plata (granos y placas)	Pirita	Cobre y Alteraciones (Malaquita y Azurita)	Arsenopirita
2	D-1	5151	Poligono	632524	275149	632524,275149,15	1 gr				
3	D-2	5152	Poligono	632548	274723	632548,274723,15	4 grs				
4	D-3	5153	Alred Meloneras	632541	274703	632541,274703,15					
5	D-4	5154	Alred Meloneras	632595	274613	632595,274613,15	1 gr		rgrs		
6	D-5	5155	Alred Meloneras	632352	274576	632352,274576,15					
7	D-6	5156	Alred Meloneras	632233	274565	632233,274565,15					
8	D-7	5157	Alred Meloneras	632161	274578	632161,274578,15					
9	D-8	5158	Poligono	632294	274756	632294,274756,15			rgrs		
10	D-9	5159	Poligono	632278	274897	632278,274897,15	3grs		rgrs		
11	D-10	5160	Alred Meloneras	631809	274617	631809,274617,15	22 grs				
12	D-11	5161	Alred Meloneras	631554	274678	631554,274678,15	4grs				
13	D-12	5162	Alred Meloneras	632328	274420	632328,274420,15			rgrs		
14	D-13	5163	Poligono	632233	274139	632233,274139,15	1%		rgrs		
15	D-14	5164	Alred Meloneras	632354	274201	632354,274201,15	1%				
16	D-15	5165	Alred Meloneras	632245	274180	632245,274180,15	grs		rgrs		
17	D-16	5166	Poligono	632277	274119	632277,274119,15	3gr				
18	D-17	5167	Poligono	633027	274205	633027,274205,15	grs				
19	D-18	5168	Poligono	632185	274114	632185,274114,15	grs		rgrs		
20	D-19	5169	Poligono	632091	274190	632091,274190,15	1%		rgrs		
21	D-20	5170	Poligono	632995	274450	632995,274450,15	grs		rgrs		

Figura 30.- Base de datos del método de Jagua creada en Excel (Valdés Claro, 2017).

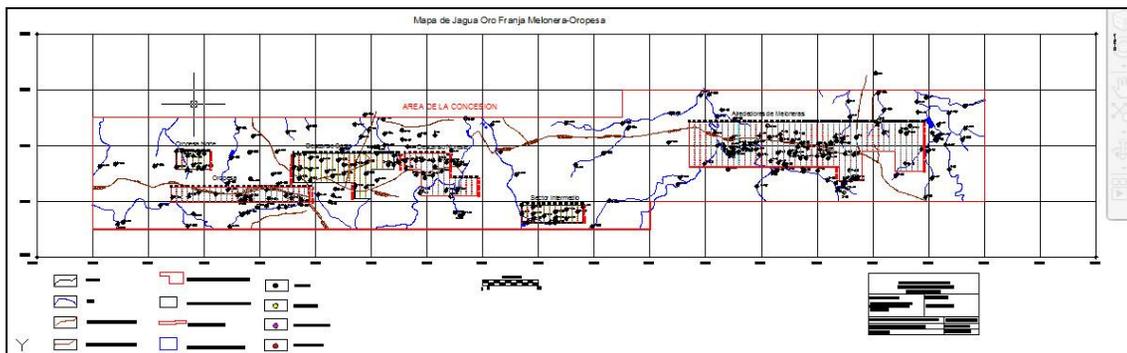


Figura 31.- Mapa de distribución de oro nativo en Jagua en la Franja Melonera-Oropesa (Valdés Claro, 2017). Ver Anexo 1

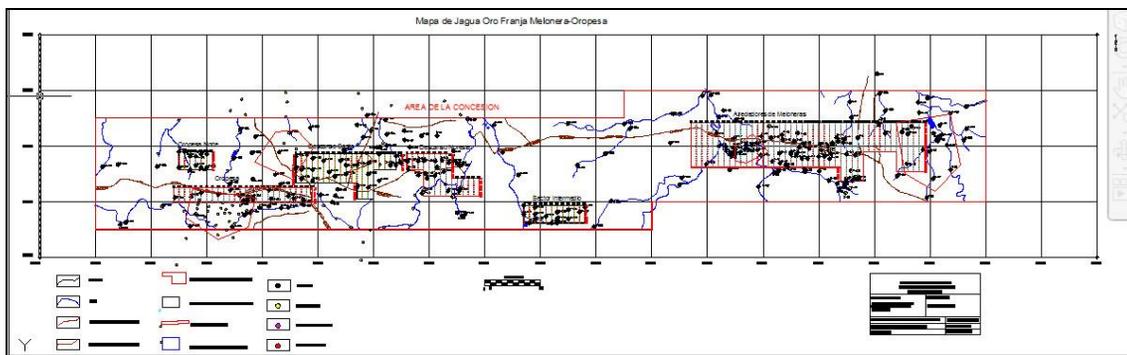


Figura 32.- Mapa de distribución de minerales meníferos en la Franja Melonera-Oropesa (Valdés Claro, 2017). Ver Anexo 2

Conclusiones

Se demostró que la integración de los métodos de la prospección geoquímica y el uso de las técnicas analíticas son imprescindibles para una correcta caracterización de las aureolas y flujos de dispersión permitiendo cumplir el objetivo de la investigación y demuestran un alto desarrollo de la investigación en su etapa experimental.

El procesamiento efectivo de la información geoquímica asegura el cumplimiento de las tareas planteadas y permite realizar la interpretación en la etapa de gabinete.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Introducción

3.1 Interpretación de los mapas de concentraciones

3.2 Interpretación del mapa de concentraciones de oro en jagua en la Franja Meloneras-Oropesa

3.3 Caracterización de los flujos de dispersión

3.4 Caracterización de las aureolas secundarias

Conclusiones

Introducción

En este capítulo se caracterizan las aureolas secundarias y los flujos de dispersión que revelan anomalías geoquímicas en la Franja Meloneras-Oropesa. Para ello se interpretan los resultados de la aplicación de los métodos de prospección geoquímica.

3.1 Interpretación de los mapas de concentraciones

3.1.1 Sector Oropesa

El mapa (Fig. 33) refleja contenidos de fondo de Au de 0.005 g/t en toda la región, las anomalías más débiles oscilan entre 0.1 y 0.2 g/t cerca de la región central y este de la concesión. Las mayores concentraciones en las aureolas secundarias están representadas por valores superiores a 0.4 g/t, muy cercanos al contenido de borde para el Au; presentan una pequeña extensión entre 10-20 m, forma redondeada y una alineación E-W, además indican la presencia de un cuerpo mineral de poca potencia (aureola primaria).

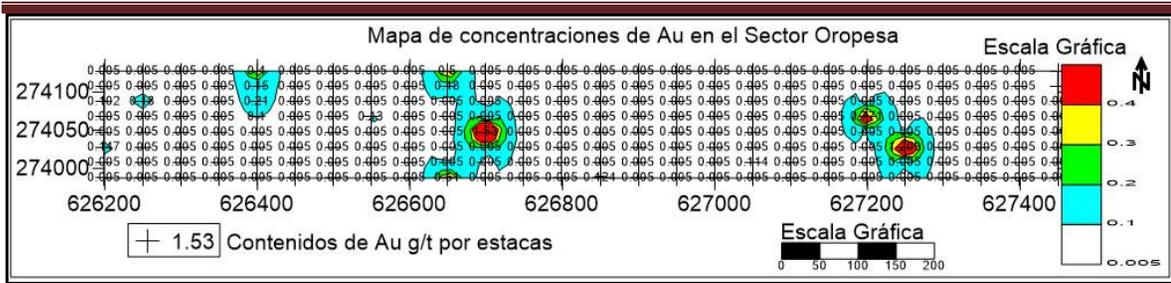


Figura 33.- Mapa de concentración de oro nativo en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos relevantes de As varían entre 10-30 g/t en la región este de la concesión (Fig. 34), la anomalía más significativa presenta valores de 40 g/t y está desplazada hacia el noreste con respecto a las aureolas de oro, presenta mayor extensión que evidencia mayor velocidad de migración de este elemento químico.

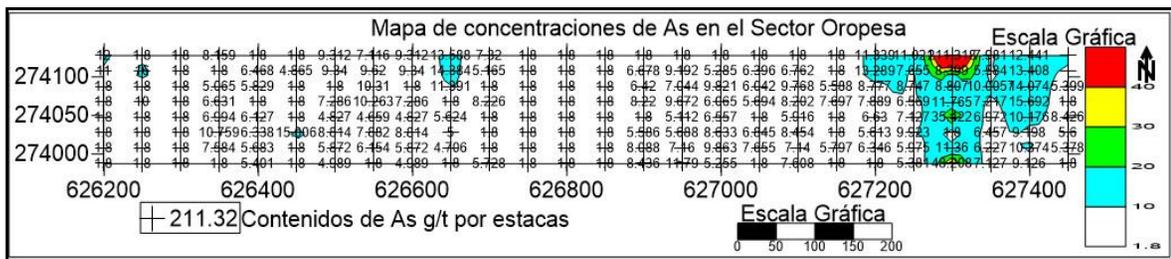


Figura 34.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Oropesa. (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Pb varían entre 100-400 g/t (Fig. 35), son valores significativos que coinciden con las aureolas de oro de la zona meridional; presentan gran extensión quedando abierta al norte del sector, el resto del área presenta bajas concentraciones.

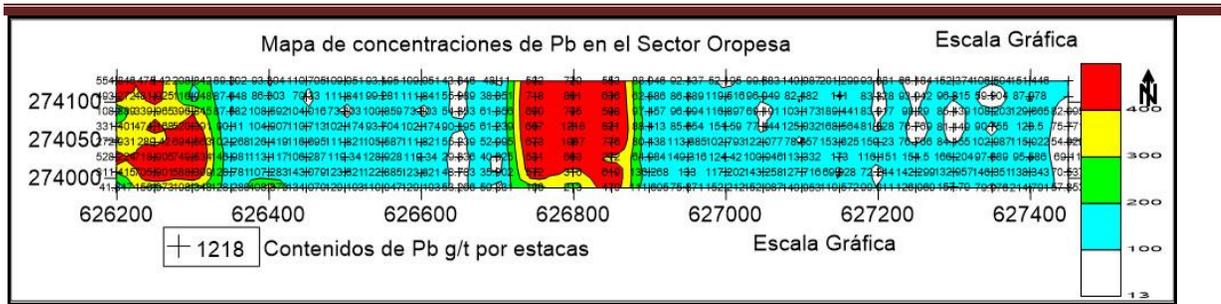


Figura 35.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos anómalos de Co revelan concentraciones que oscilan entre 0.017-0.029 % (Fig. 36) en la región meridional con leve desplazamiento al suroeste. La baja migración del Co evidencia un suelo residual formado directamente sobre rocas portadoras de minerales ricos en este elemento.

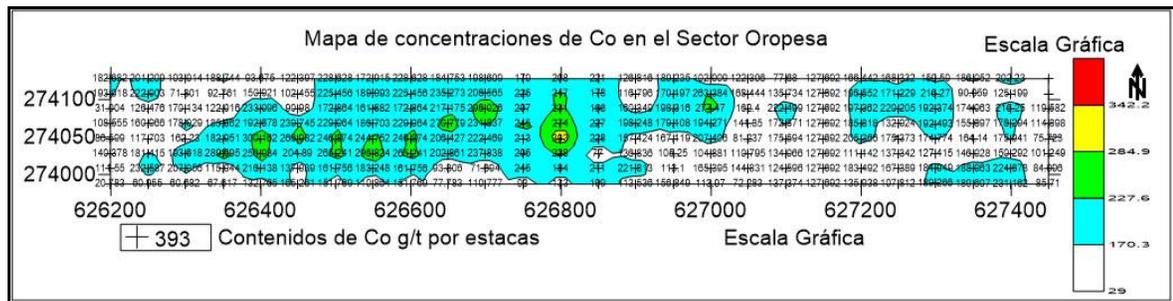


Figura 36.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Oropesa. (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Ni presentan comportamiento similar a los de Co; sus contenidos oscilan entre 0.275-0.635 % (Fig. 37) y revelan concentraciones anómalas en la región meridional con un leve desplazamiento al suroeste. El criterio litológico confirma la presencia en la región de suelo residual de poca potencia formado por la destrucción del olivino en las ultramafitas serpentinizadas con enriquecimiento de Ni.

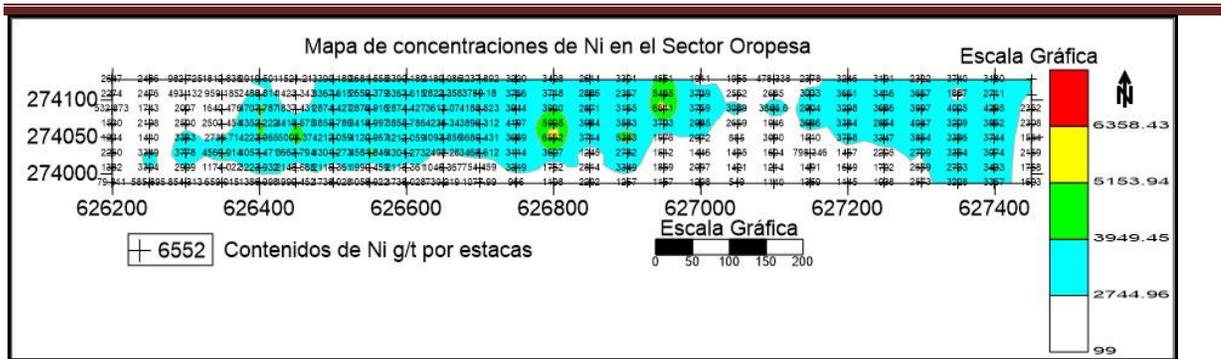


Figura 37.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Para correlacionar las mineralizaciones según posición espacial se generan **mapas de multielementos**.

En el mapa de multielementos (Fig. 38) se visualiza la migración del oro nativo como elemento blanco con respecto al arsénico, principal elemento indicador del oro. Sobre la base de los criterios mineralógicos estudiados en las menas de la mina de Descanso, donde la arsenopirita se comporta como mineral indicador del oro, la correlación de las concentraciones de Au y As coinciden en el este del sector, con un desplazamiento al noreste de la aureola del arsénico de aproximadamente 80 m.

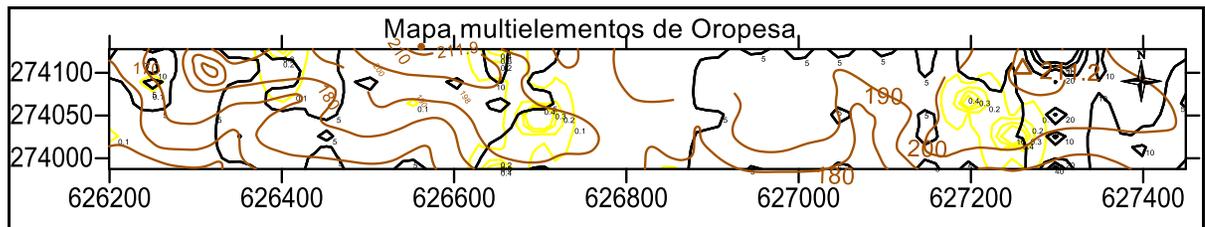


Figura 38.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

Al sobreponer las aureolas de Ni y Co se evidencia correspondencia entre ambas en la región central con un leve desplazamiento al suroeste (Fig. 39), los valores anómalos coinciden con los criterios geoquímicos de la región estudiada donde las

concentraciones de ambos elementos están de 50 a 100 veces más concentradas en las zonas mineralizadas.

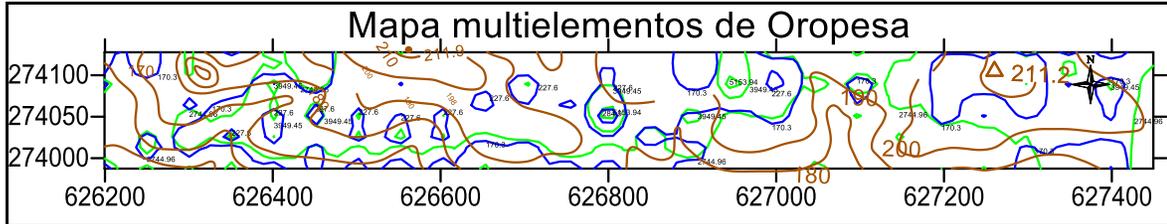


Figura 39.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

3.1.2 Sector Alrededores de Meloneras

En el sector Alrededores de Meloneras están presente varias anomalías débiles distribuidas por toda el área (Fig. 40) donde los contenidos de oro nativo oscilan entre 0.005 y 0.1 g/t. Las concentraciones superiores a 0.4 g/t solo se localizan al oeste del sector y rodeando la mina de Meloneras. Estas aureolas secundarias de pequeña extensión (5-10 m) tiene forma sub-redondeada y presentan valores muy cercanos al contenido de borde para el oro, la existencia de aureolas al este indica la continuidad del cuerpo mineral de Meloneras.

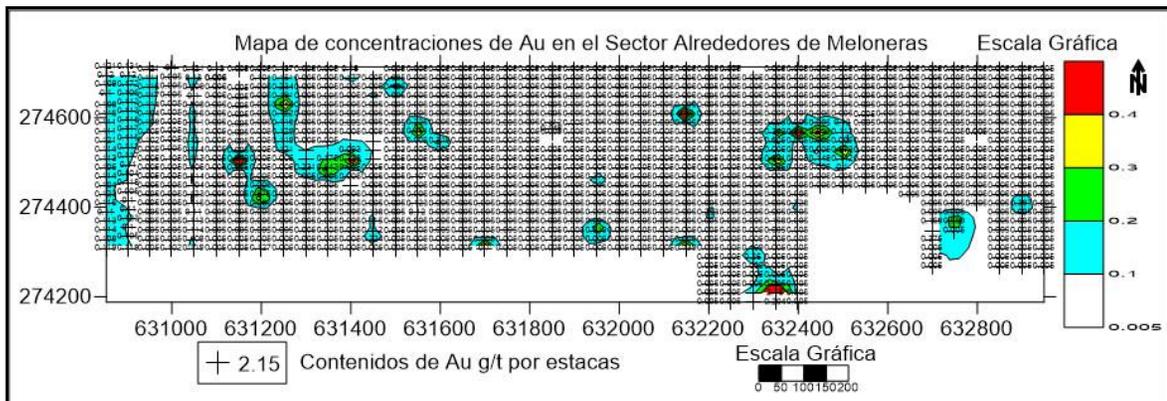


Figura 40.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de As varían entre 20-40 g/t en la región (Fig. 41), con mayor extensión al este y centro de la concesión donde las aureolas de mayor extensión se concentran en los alrededores de la mina Meloneras. La anomalía más significativa se localiza al oeste del área con valores superiores a los 40 g/t.

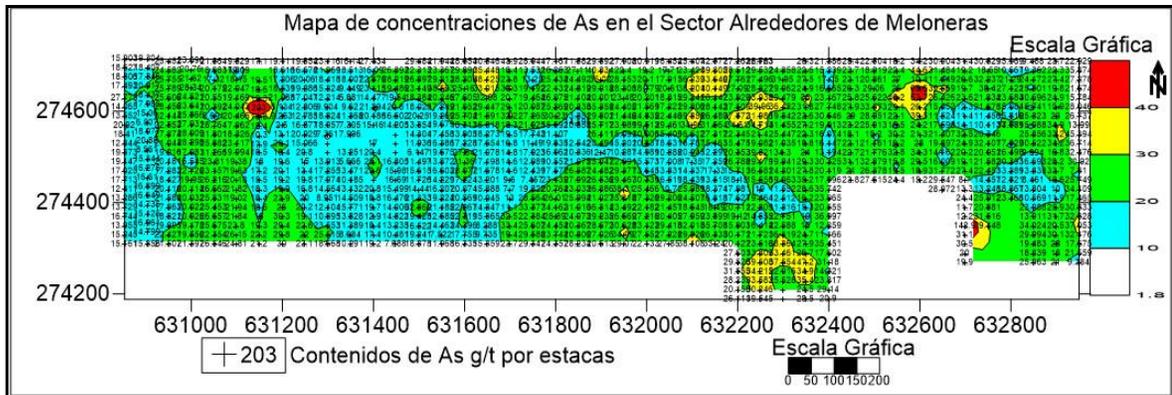


Figura 41.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Pb en este sector, con respecto a Oropesa, son muy bajos, sus valores oscilan entre 10-40 g/t (Fig. 42), los mayores contenidos de Pb se forman una aureola de baja concentración al este de la mina Meloneras.



Figura 42.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Co, que oscilan entre 0.002-0.029 %, revelan concentraciones anómalas en la región central, presencia de aureolas alineadas con direcciones predominantes E-W (Fig. 43). Estas aureolas presentan gran extensión e indican la presencia de rocas ultramáficas en el área central del sector.

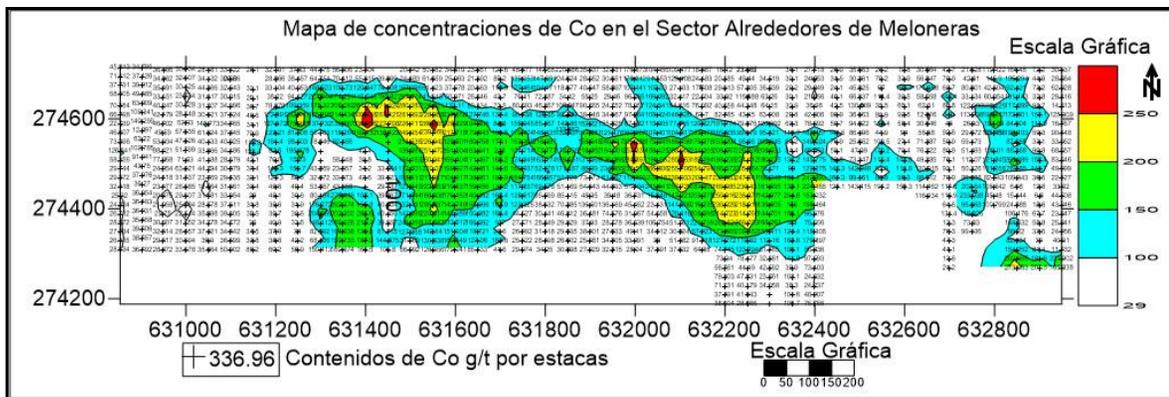


Figura 43. Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Ni en el sector oscilan entre 0.1-0.29 %, inferiores a las concentraciones presentes en Oropesa, estos valores revelan concentraciones anómalas en la región meridional.

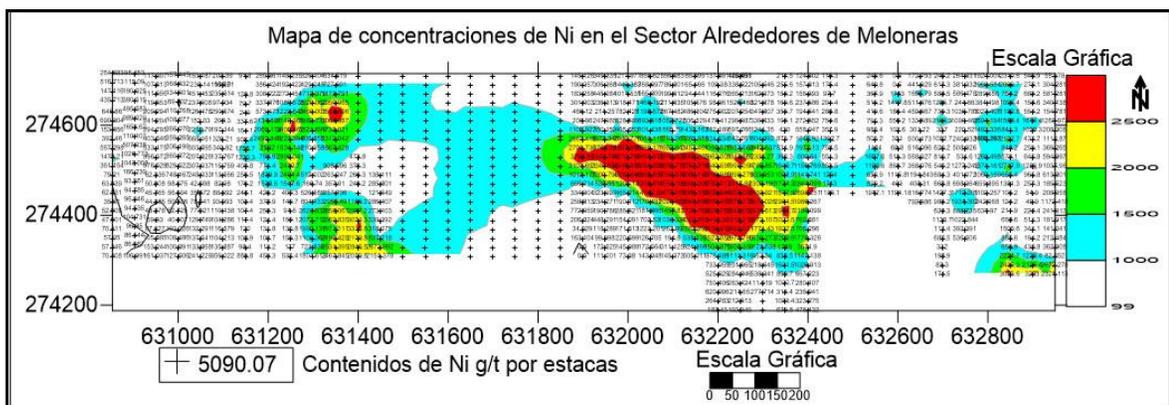


Figura 44.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

Mapas multielementos

La correlación de las aureolas secundarias de oro nativo y arsénico en el mapa multielementos no muestran una coincidencia espacial (Fig. 45), solo hacia el este de la concesión coinciden valores de arsénico entre 30-40 g/t con valores de Au de 0.2 g/t.

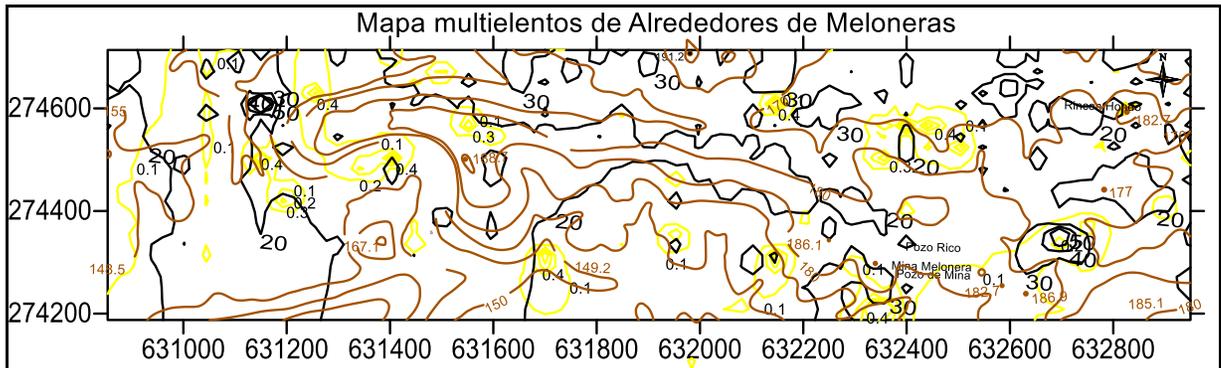


Figura 45.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

La superposición de las aureolas de Ni y Co evidencian una perfecta correspondencia de las anomalías en la zona central del sector (Fig. 46), lo cual corrobora el criterio litológico.

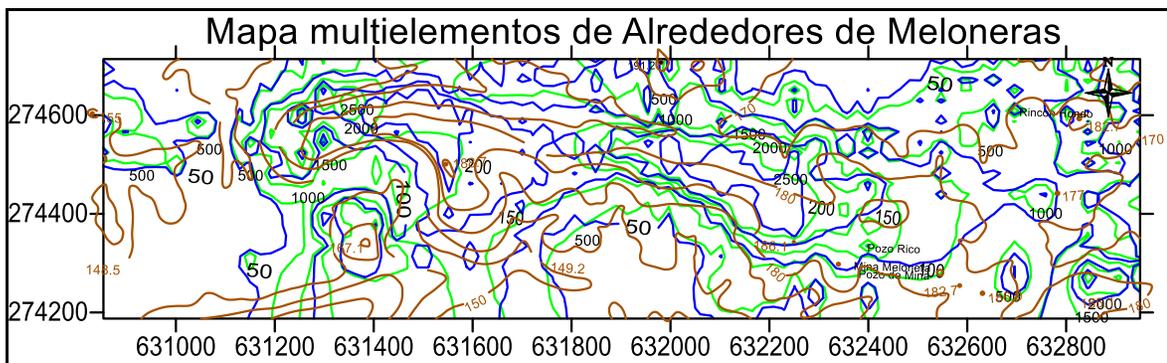


Figura 46.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

3.1.3 Sector Oropesa Norte

Los contenidos anómalos de oro nativo (Fig. 47) oscilan entre 0.2 y 0.4 g/t en el perfil 100 entre las estacas 80 y 140. La aureola presenta una extensión entre 20-40 m, con respecto a las aureolas de oro de los sectores Oropesa y Alrededores de Meloneras; poseen forma redondeada y pueden indicar la presencia de un cuerpo mineral de poca potencia (aureola primaria).

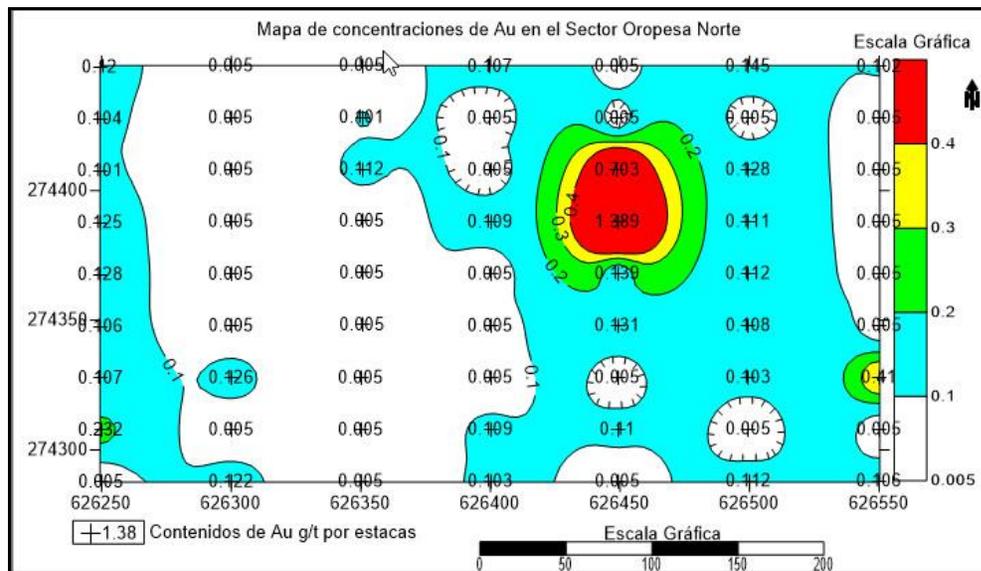


Figura 47.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Hay contenidos de arsénico relativamente altos (Fig. 48), cuyas concentraciones anómalas coinciden con las aureolas secundarias de altas concentraciones de oro en el perfil 100. Al este del sector existe una aureola de As abierta en el perfil cero, con predominio de concentraciones entre 30-40 g/t.

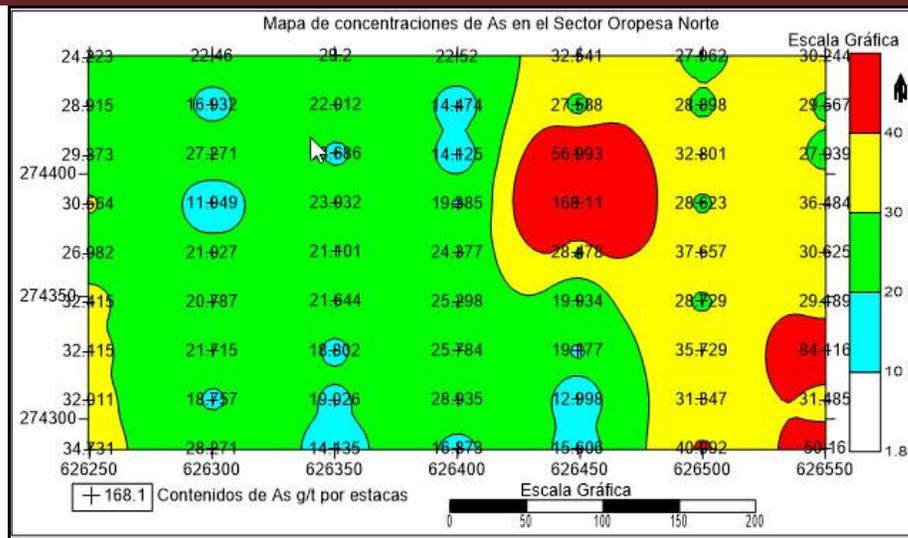


Figura 48.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Pb (Fig. 49) son muy bajos en el sector norte con respecto a Oropesa, estos oscilan entre 12-40 g/t, los mayores valores de Pb se encuentran formando una aureola de baja concentración al este del sector.

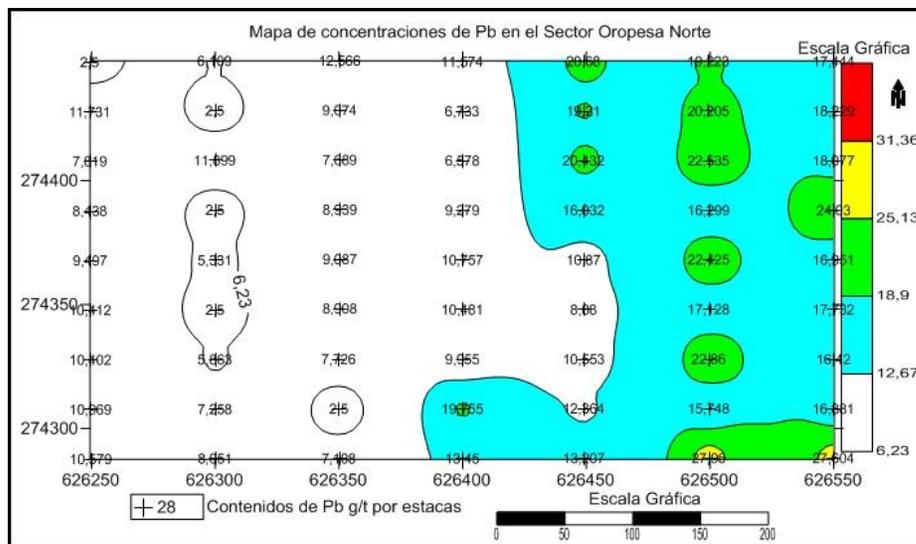


Figura 49.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Co, que oscilan entre 0.014-0.028 %, revelan concentraciones anómalas al este de la región (Fig. 50), las aureolas presentan gran extensión y quedan abiertas al este, siendo un indicador de la presencia de rocas ultramáficas contenedoras de las zonas minerales auríferas.

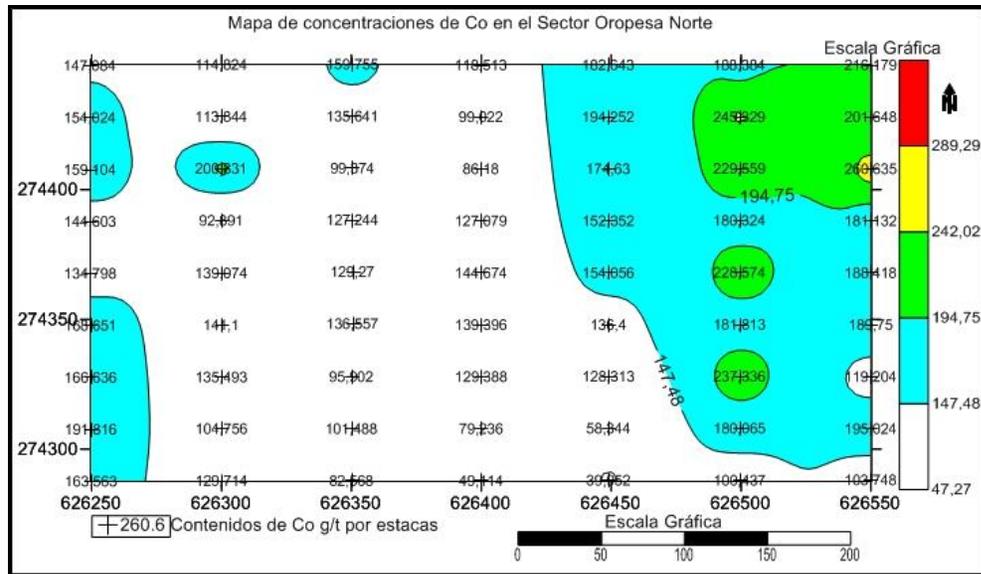


Figura 50.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Ni en el sector oscilan entre 0.1-0.3 % (Fig. 51), inferiores a los presentes en Oropesa y revelan concentraciones anómalas al este con un desplazamiento al centro de la región.

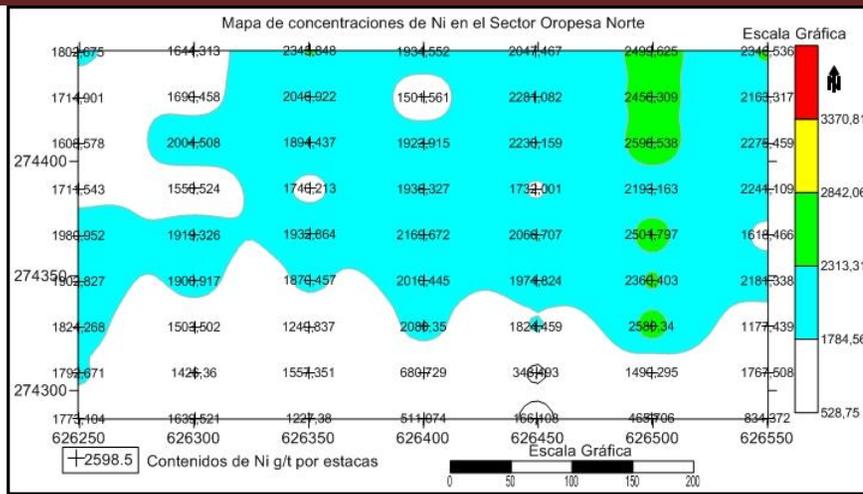


Figura 51.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Mapas multielementos

La correlación de las aureolas secundarias de oro nativo y arsénico en el mapa multielementos indica una coincidencia espacial en el perfil 100 del sector (Fig. 52). Las concentraciones de 40 g/t coinciden con los valores superiores a 0.4 g/t de oro en suelo, lo que evidencia una posible zona mineral aurífera subyacente (aureola primaria).

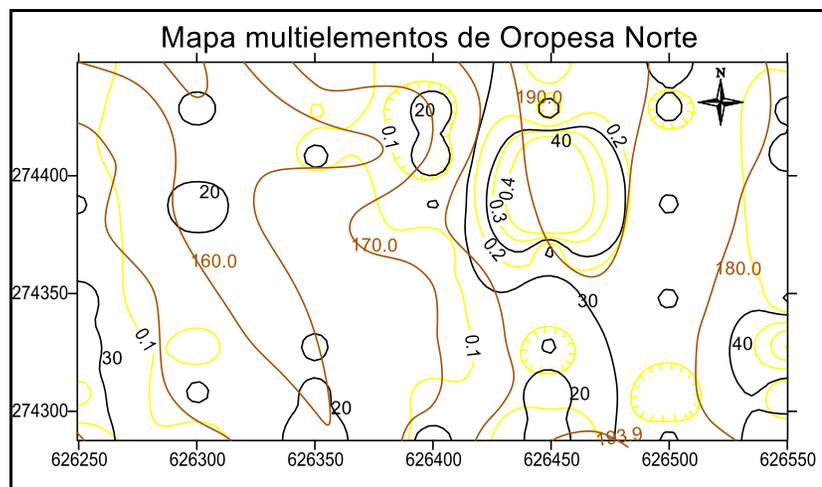


Figura 52.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

Al superponer las aureolas de Ni y Co (Fig. 53) no existe una perfecta correspondencia de las anomalías en el sector Oropesa Norte. Las concentraciones de Ni están distribuidas en toda la región, solo al noreste coinciden los mayores valores de Co y Ni, la coincidencia de altas concentraciones al noreste indica la presencia de rocas ultramáficas, corroborando el criterio litológico.

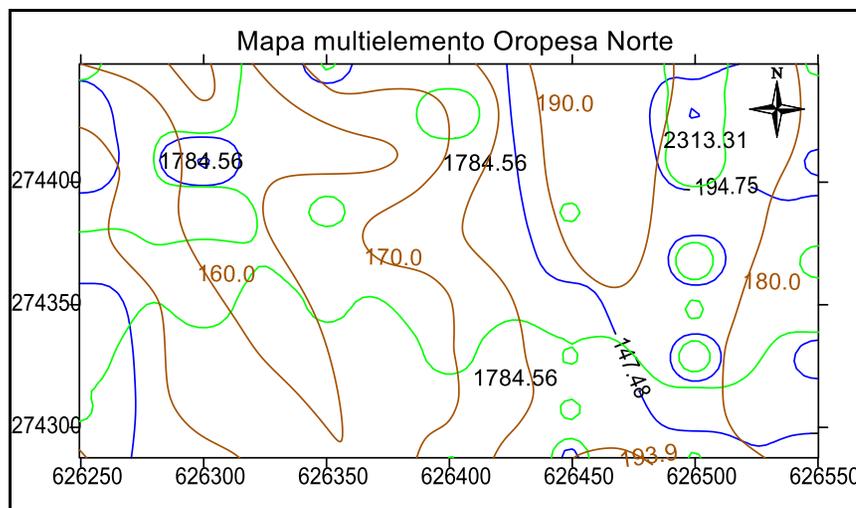


Figura 53.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

3.1.4 Sector Descanso NE

Las concentraciones significativas de oro nativo en este sector varían entre 0.1-0.4 g/t. Existe una alineación en las anomalías de mayor contenido al sur del área (Fig. 54). El sector presenta una anomalía con concentraciones superiores al cutt-off del oro entre 2 y 8 g/t en el noroeste, sus aureolas son de pequeña extensión, entre 10-30 m, con formas redondeadas. La alta concentración del elemento en esta área evidencia la continuidad de la mina Descanso con zonas minerales subyacentes.

Los contenidos de Pb son muy variables en toda el área, entre 100-400 g/t, con los mayores valores están presentes al noroeste y al sureste del sector, estas aureolas tienen una gran extensión quedando abiertas al sur (Fig. 56).

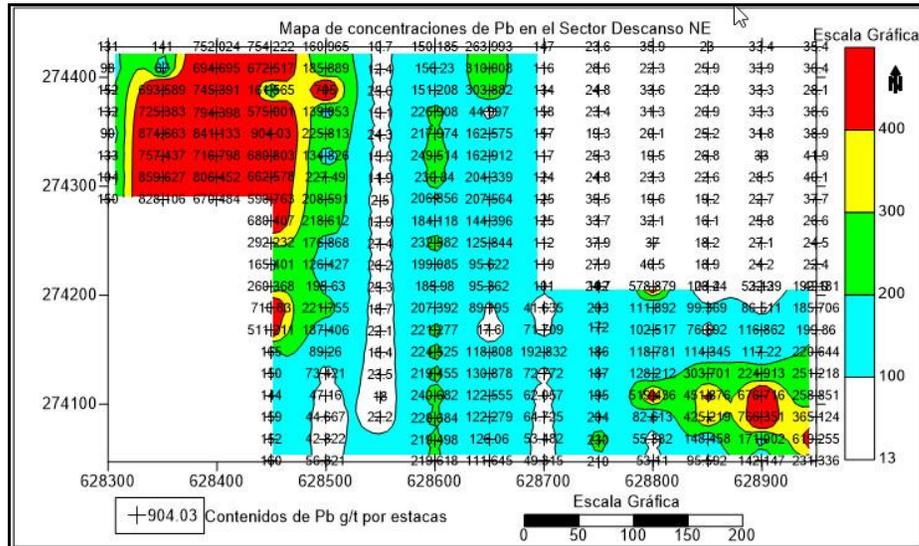


Figura 56.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Co, entre 0.01-0.029 % en el noroeste del sector, indican la presencia de rocas ultramáficas que coinciden con las anomalías de oro, las aureolas presentan gran extensión y quedan abiertas al oeste (Fig. 57).

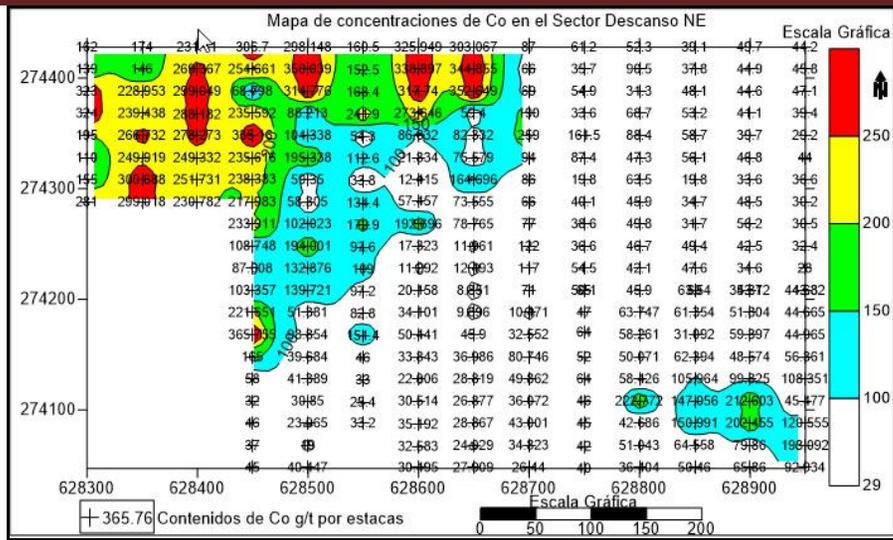


Figura 57.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Ni en el sector oscilan entre 0.1-0.3 % (Fig. 58), pero son inferiores a las concentraciones presentes en Oropesa; estos valores revelan concentraciones anómalas al noroeste y al sureste de la región, las aureolas permanecen abiertas y presentan una gran extensión.

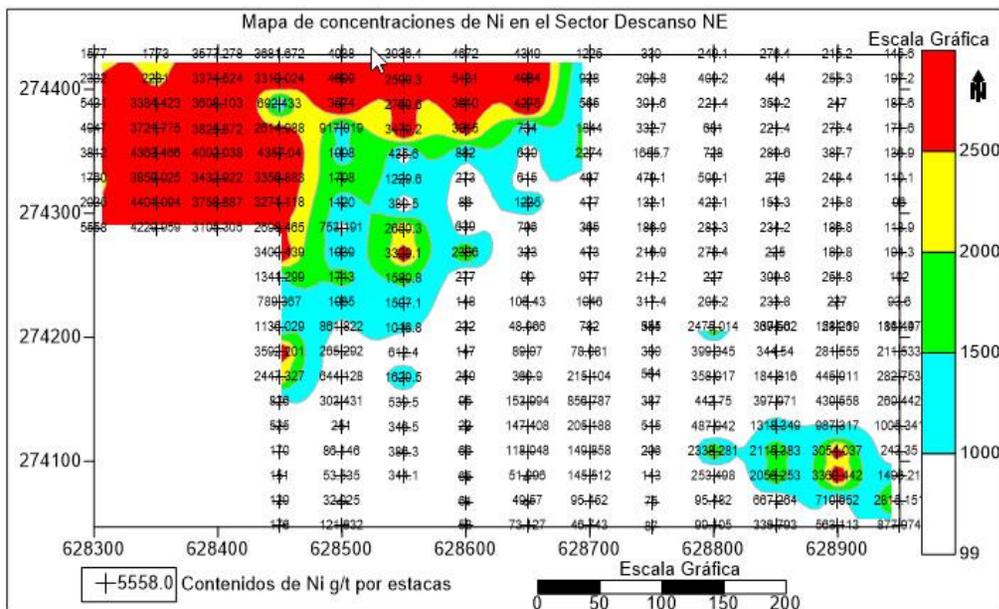


Figura 58.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

Mapas multielementos

La correlación de las aureolas secundarias de oro nativo y arsénico, en el mapa multielementos, muestran coincidencia espacial (Fig. 59). La aureola se ubica en la parte central con pequeño desplazamiento al sur del sector, las concentraciones de 30 g/t de As coinciden con los valores superiores a 0.4 g/t de oro en suelo, pero no existe correlación entre el As y los mayores valores de Au presente al noroeste.

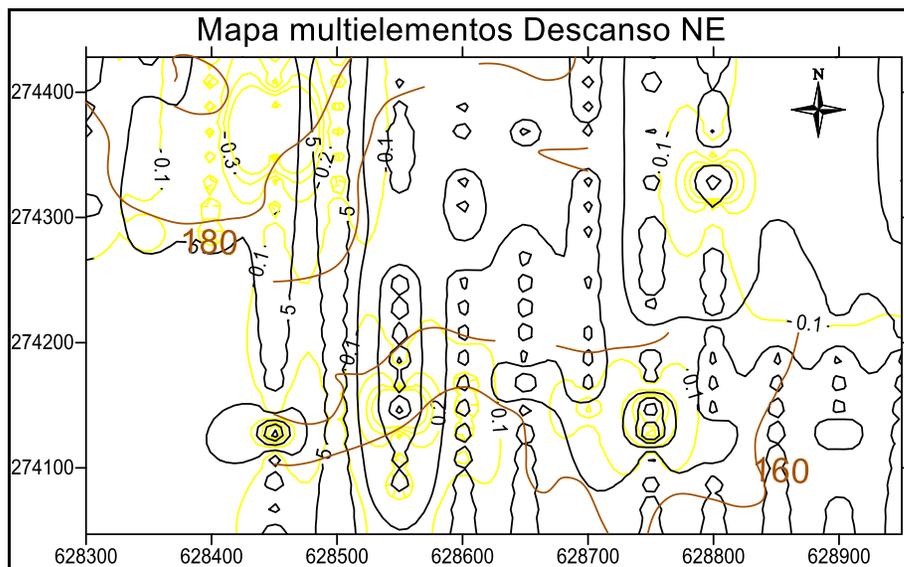


Figura 59.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

La superposición de las aureolas de Ni y Co no evidencia una perfecta correspondencia de las anomalías en el sector, las concentraciones de Ni están distribuidas en toda la región, solo al noreste coinciden los mayores valores de Co y Ni, la coincidencia de estas altas concentraciones indica la presencia de rocas ultramáficas que corrobora el criterio litológico e indica elevada complejidad geológica en el resto del sector.

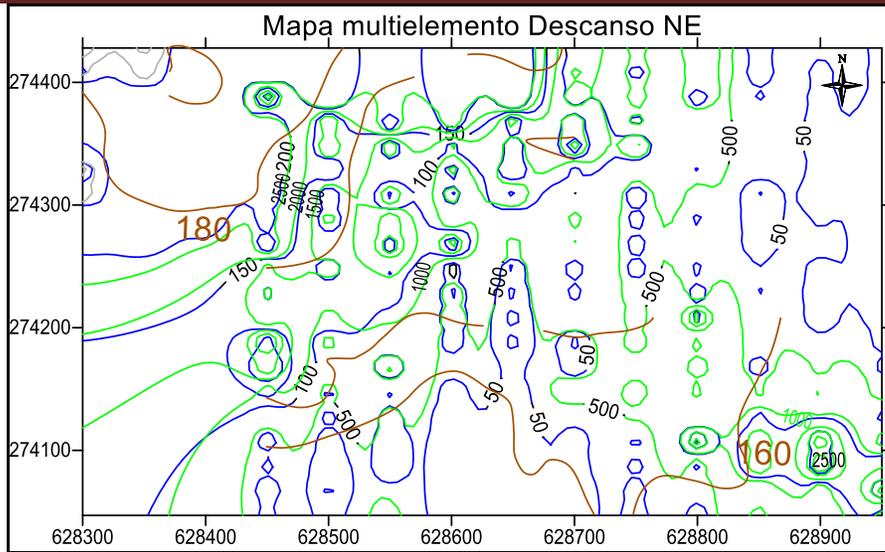


Figura 60 Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

3.1.5 Sector Descanso NW

Los contenidos de oro nativo predominan en la parte oeste del sector con valores entre 0.1-0.4 g/t (Fig. 61), existen contenidos anómalos que evidencian aureolas secundarias de pequeña dimensión y formas sub-redondeadas con un alineamiento de dirección NW-SE y un enriquecimiento superior a los 0.4 g/t.

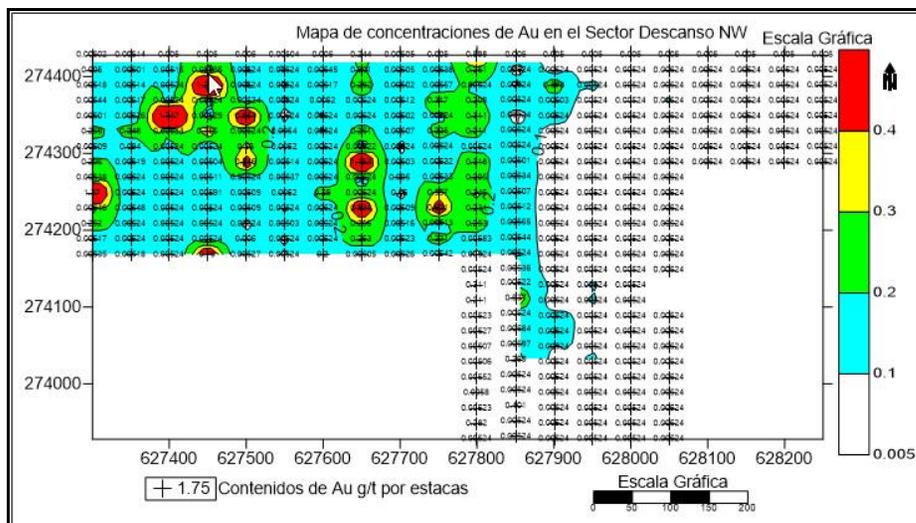


Figura 61.- Mapa de concentraciones de oro nativo en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

El comportamiento del arsénico (Fig. 62) tiende a valores cercanos al fondo geoquímico que se establece para este elemento, los contenidos elevados en el sector coinciden con los valores anómalos de oro en la parte oeste; las anomalías, que aparecen al sureste con contenidos de arsénico que oscilan entre 20-50 g/t, las cuales quedan abiertas al norte del sector.

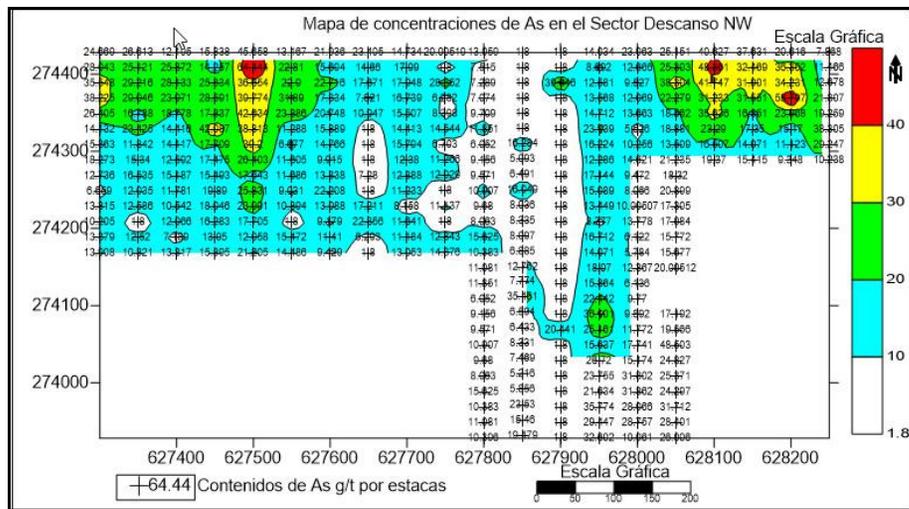


Figura 62.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Las concentraciones de Pb (Fig.63) son muy variables en el sector y suelen ser bajas en comparación con el sector Oropesa; los mayores valores están agrupados en una pequeña anomalía, cerca del perfil central hacia el borde norte del área, la que se encuentra abierta.

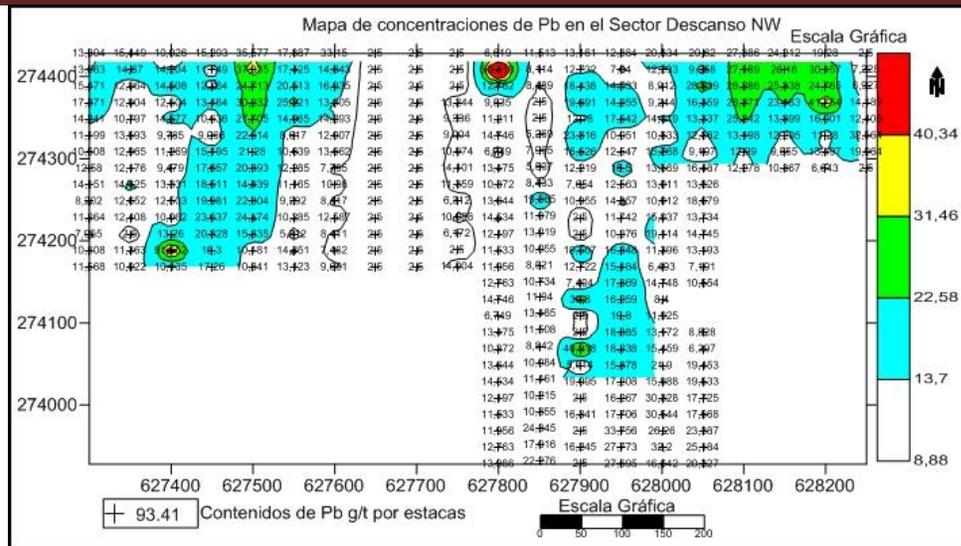


Figura 63.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Co (Fig. 64) oscilan entre 0.02-0.045 %, revelan concentraciones anómalas al oeste y centro del sector, las aureolas débiles limitan con la mina el Descanso, son abiertas y presentan gran extensión lo cual indica la presencia de rocas ultramáficas que demuestran una continuidad litológica.

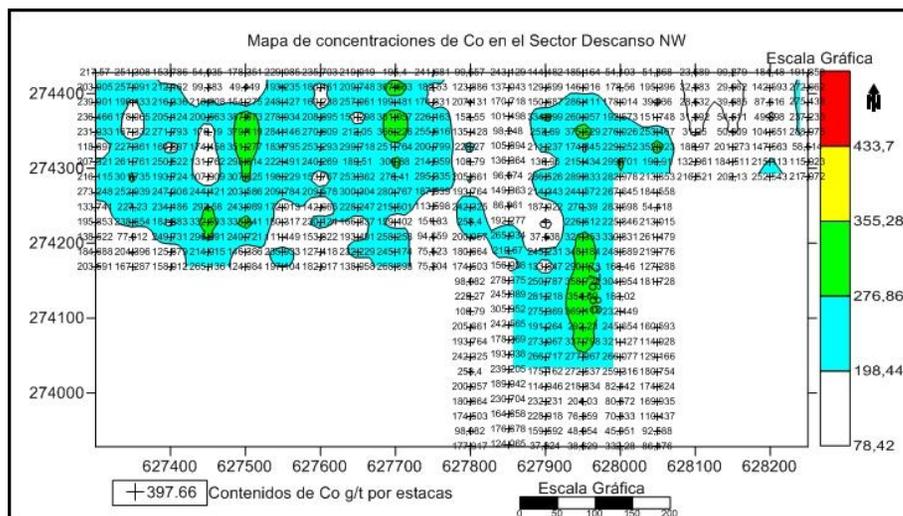


Figura 64.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Ni (Fig. 65) oscilan entre 0.13-1 %, revelan concentraciones anómalas al oeste y centro del sector, las aureolas débiles limitan con la mina el Descanso, presentan gran extensión y quedan abiertas, lo que indican la presencia de rocas ultramáficas, lo que demuestran una continuidad litológica, esas aureolas coinciden con las aureolas de Co.

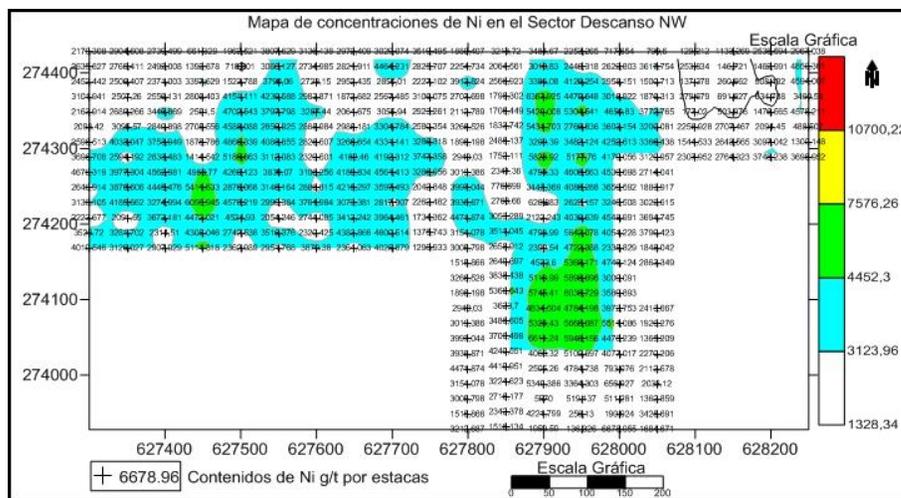


Figura 65.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

Mapas multielementos

El mapa (Fig. 66) refleja un vínculo espacial entre las aureolas de oro y arsénico al oeste del sector con anomalías de concentraciones de 40 g/t de As por 0.5 g/t de oro, en el resto del área no existe correlación espacial.

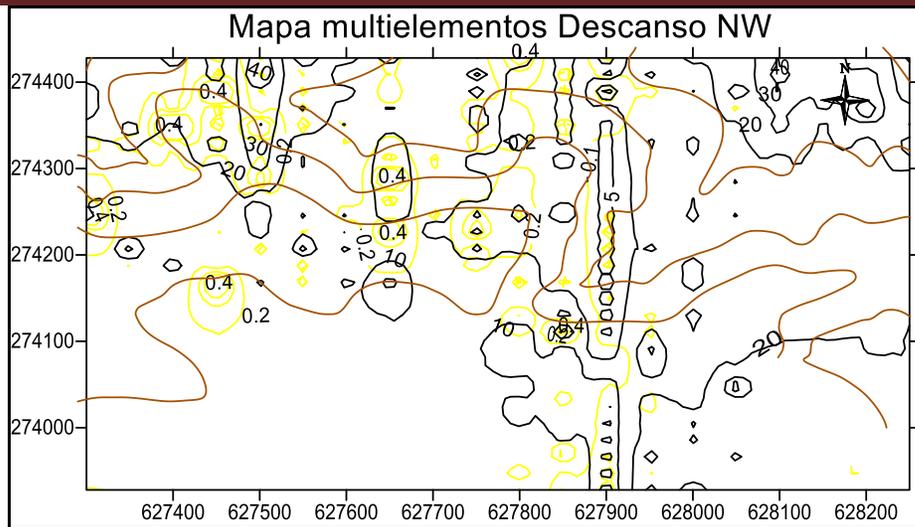
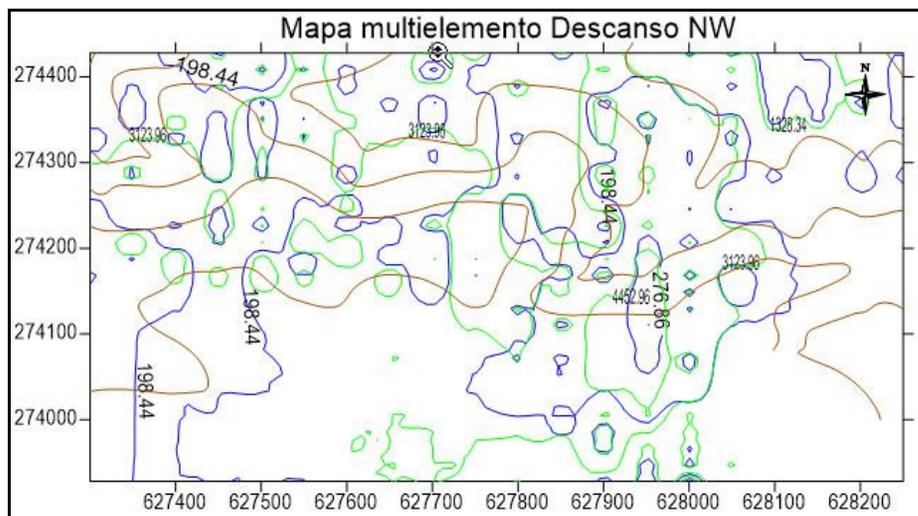


Figura 66.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

La superposición de las aureolas de Ni y Co (Fig. 67) evidencian perfecta correspondencia de las anomalías en el sector, las coincidencias de altas concentraciones de estos elementos indican la presencia de rocas ultramáficas y corroboran el criterio litológico.



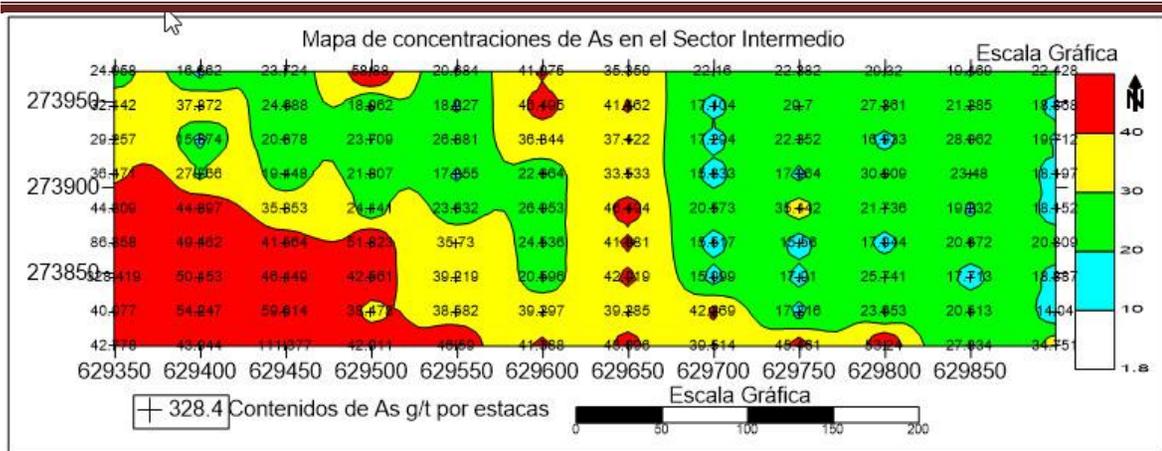


Figura 69.- Mapa de concentraciones de As en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

En la figura 70 se revelan las concentraciones de Pb en el área, predominan las concentraciones superiores a los 20 g/t en el suroeste del sector, las anomalías quedan abiertas hacia el oeste y sur del área, con un desarrollo de mediana extensión.

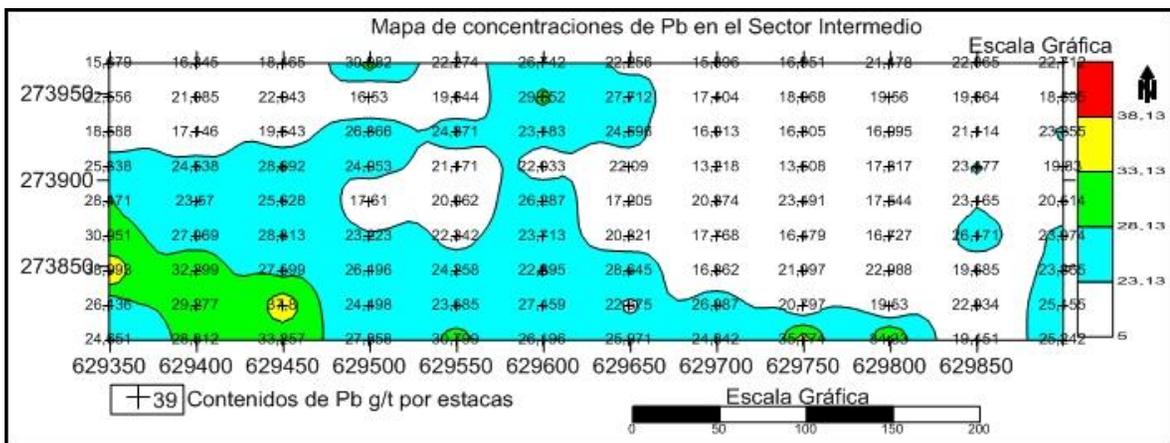


Figura 70.- Mapa de concentraciones de Pb en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Los contenidos de Co oscilan entre 0.02-0.05 % en toda el área (Fig. 71), es importante resaltar que las aureolas de Co se excluyen de las aureolas de Pb a

través de una alineación de dirección NW-SE, lo que evidencia un cambio litológico que se refleja en la composición química de las rocas presentes.

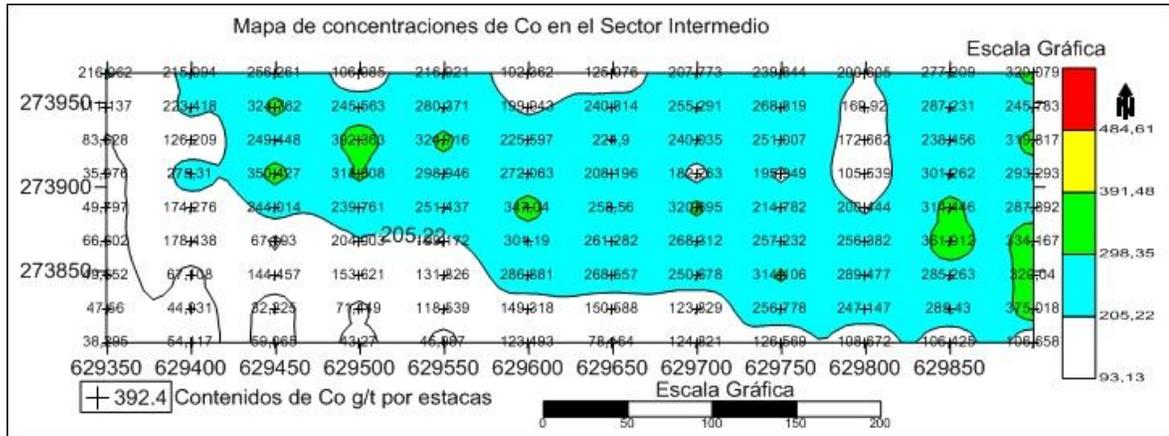


Figura 71.- Mapa de concentraciones de Co en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Similar ocurre con los contenidos de Ni del área que oscilan entre 0.2-0.8 % (Fig. 72), donde las aureolas de Ni también se excluyen de las aureolas de Pb a través de una alineación de dirección NW-SE, reafirmando el cambio litológico.

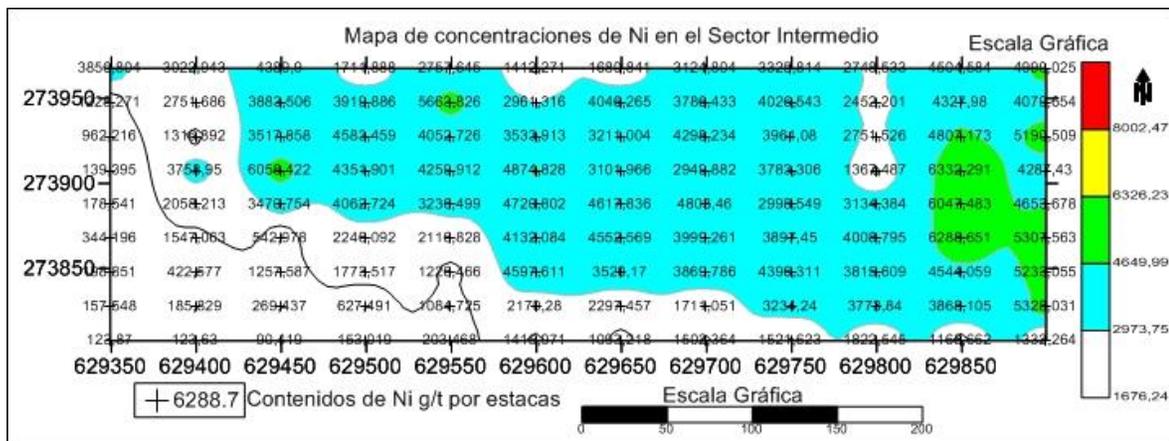


Figura 72.- Mapa de concentraciones de Ni en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Mapas multielementos

La correlación de los valores de arsénico y oro (Fig. 73), muestran al suroeste una perfecta combinación de las aureolas de ambos elementos químicos, esta afinidad brinda un criterio acertado sobre la presencia de un posible cuerpo mineral oculto (aureola primaria).

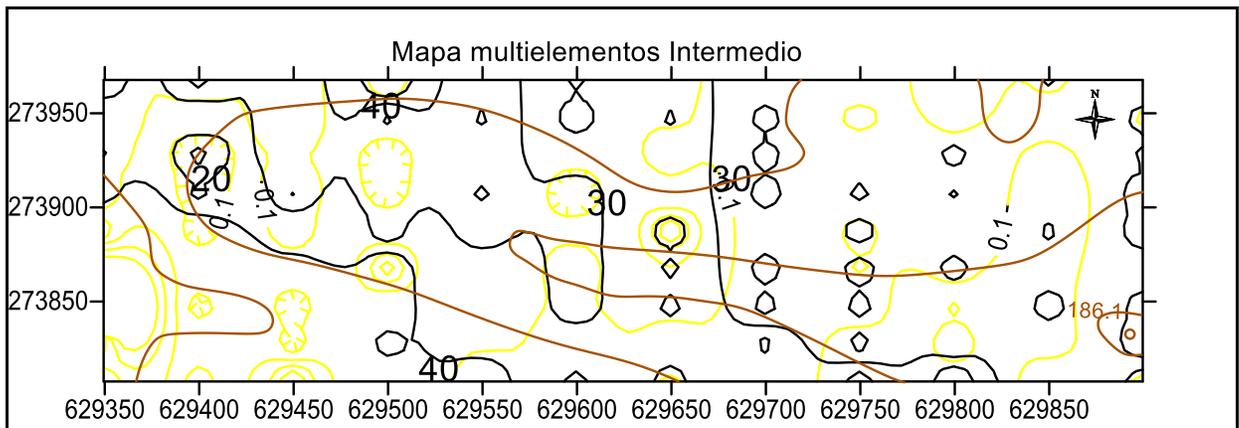


Figura 73.- Mapa multielementos de Au (líneas amarillas) y As (líneas negras) en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

Al visualizar los contenidos de Ni y Co (Fig. 74) se afirma que estos coinciden espacialmente y corrobora la presencia de ultramafitas en la porción centro-este del sector Intermedio.

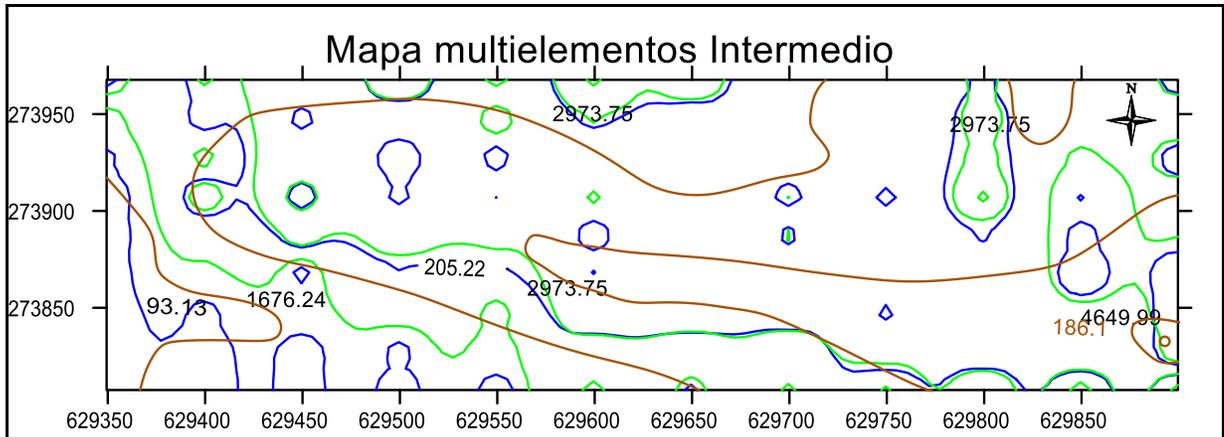


Figura 74.- Mapa multielementos de Ni (líneas verdes) y Co (líneas azules) en suelos en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

3.2 Interpretación de los mapas de concentración de oro en la Franja Meloneras-Oropesa.

De un total de 284 muestras tomadas en toda la red fluvial y zonas eluviales-deluviales (Ver Anexo 1), 95 resultaron positivas en el análisis mineralógico óptico para oro, estas muestras se distribuyen en toda la concesión; los contenidos de oro varían desde concentraciones de pocos granos (pepitas), placas, hasta concentraciones superiores a los 100 granos; y en anómalas concentraciones de hasta 1 % de oro con respecto a la cantidad de partículas minerales presentes en la muestra, la forma de los granos varía de sub-redondeadas a redondeadas, con dimensiones que no sobrepasan los 0.3 cm, la información interpretada permite discriminar sectores como Descanso NE Y NW, Intermedio, Oropesa Norte; y se resaltan las áreas de influencia dentro de los polígonos de Oropesa y Alrededores de Meloneras.

3.2.1 Sector Oropesa

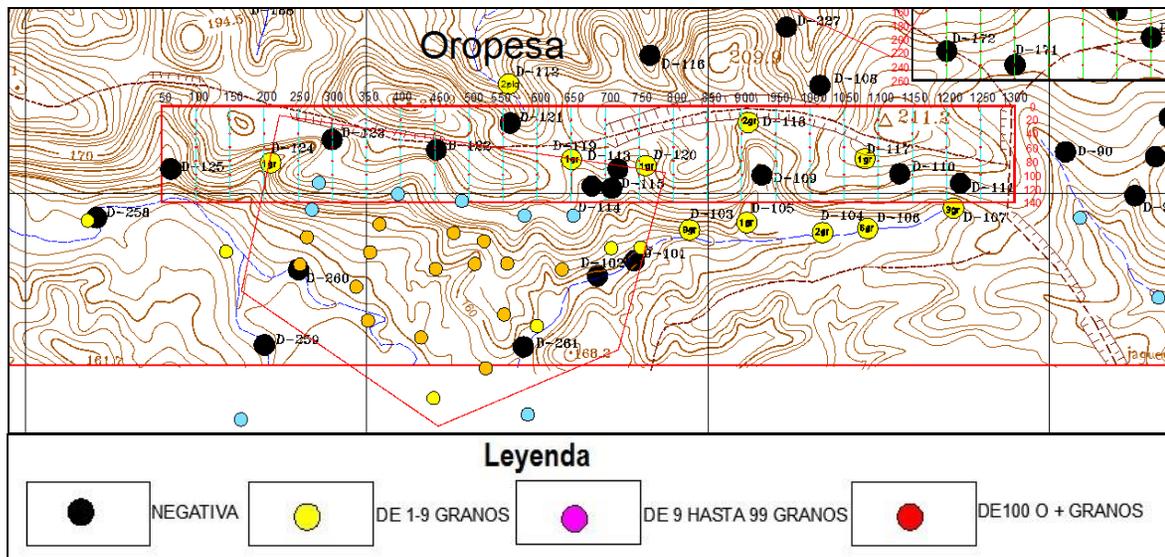


Figura 75.- Mapa de distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector Oropesa (Valdés Claro, 2017).

El sector de Oropesa no presenta red fluvial muy densa pero el muestreo del arroyo Oropesa, al sur del polígono, reveló un flujo de dispersión a lo largo del mismo que corrobora los resultados de anteriores investigaciones de la compañía CaribGold efectuadas en 1991. Se tomaron 10 muestras en el arroyo y afluentes intermitentes, de las cuales 5 aportaron resultados positivos que permitieron, con la información adquirida de los archivos, proceder al muestreo de las zonas deluviales-eluviales dentro del sector Oropesa separado del cauce del arroyo. De las 17 muestras tomadas en las pendientes, sólo 6 contenían oro; el estudio posterior estableció las zonas o conos de influencia en la parte meridional y sur del sector.

3.2.2 Sector Alrededores de Meloneras

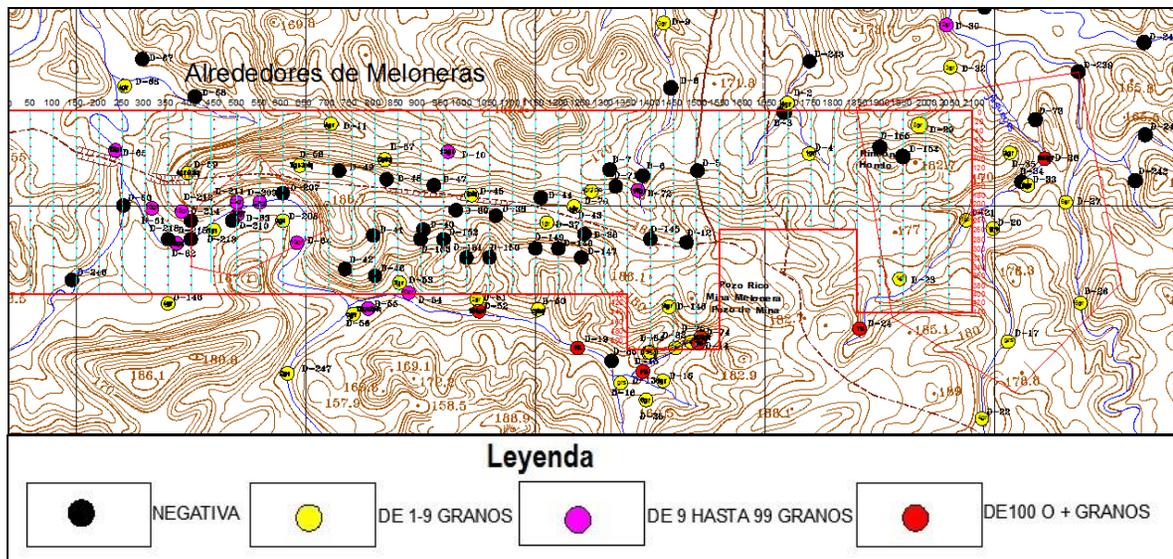


Figura 76.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector Alrededores de Meloneras (Valdés Claro, 2017).

El sector de Alrededores de Meloneras presenta hacia el oeste y el este una red fluvial muy densa, en la misma se tomó el mayor volumen de muestras. Los arroyos intermitentes de Jagüeyes, localizados al este y oeste, presentan los contenidos más elevados de oro en jagua, lo que evidencia un flujo de dispersión proveniente del norte y del noreste. Con la información disponible se establecen dos conos de influencia principales, el primero al este del sector y el segundo al oeste, ubicado justo después del derrisco (mayor elevación del sector). Las concentraciones importantes de oro al sur, cercanas a la mina Meloneras, son producidas por la acumulación de minerales útiles en estos arroyos debido al escurrimiento superficial de las aguas que drenaron la mina en explotación durante largos períodos, por lo que la acumulación de oro, debido a factores antrópicos, permitió desechar la búsqueda en zonas minerales en sus alrededores.

3.2.3 Sector Oropesa Norte

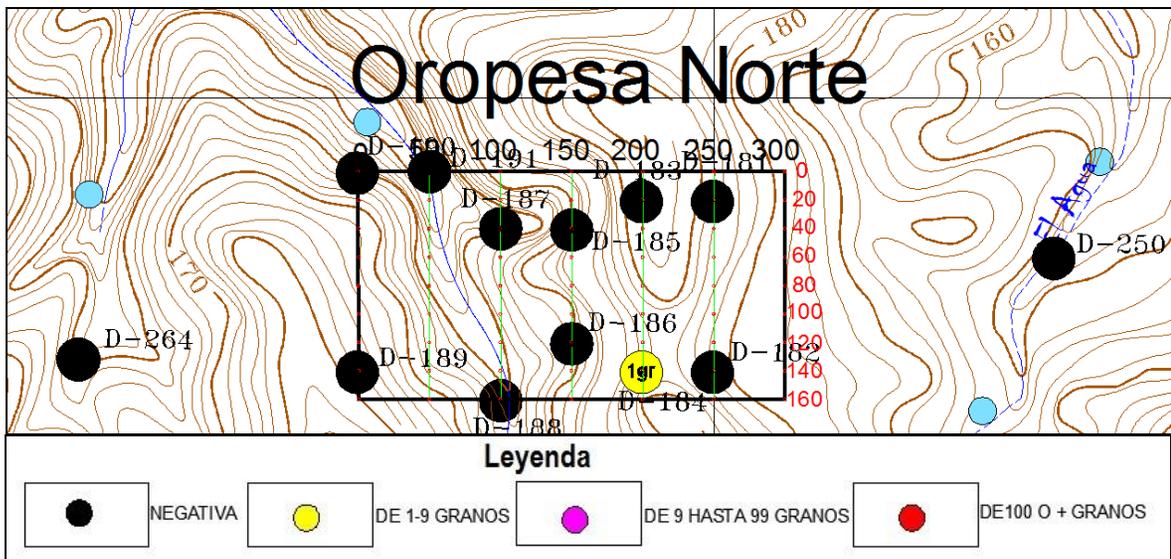


Figura 77.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector Oropesa Norte (Valdés Claro, 2017).

El sector de Oropesa Norte no presenta una red fluvial muy densa, solo un arroyo intermitente al oeste, los resultados de las jaguas naturales fueron negativos en el sector, solo un grano de oro se encontró en una jagua de pendiente, no se evidenciaron flujos de dispersión.

3.2.4 Sector Descanso NE

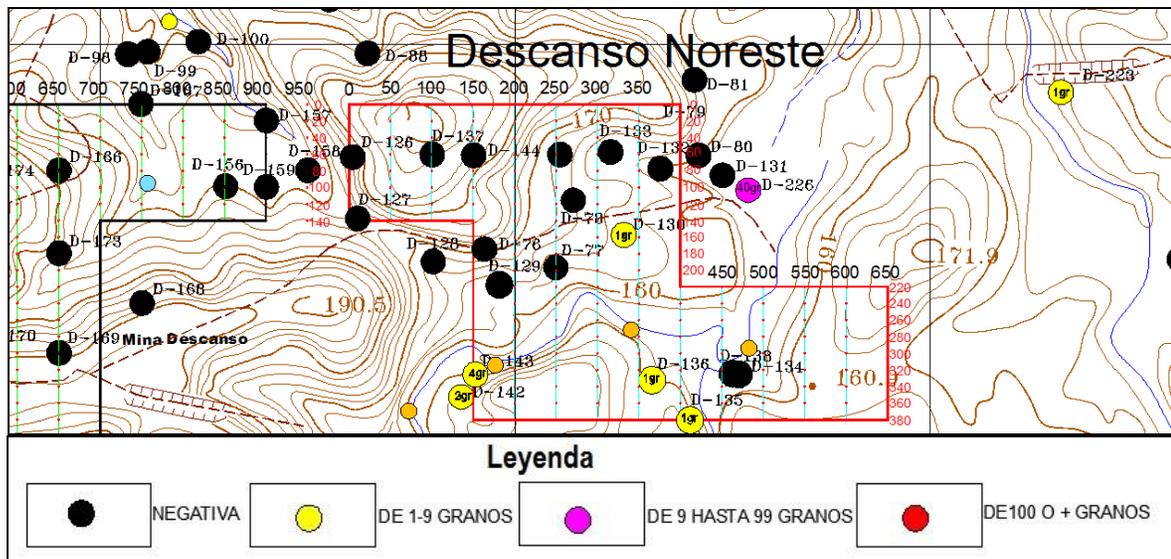


Figura 78.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en el sector Descanso NE (Valdés Claro, 2017).

El sector Descanso NE no presenta una red fluvial muy densa, solo un arroyo intermitente al este, los resultados de las jaguas naturales evidencian un flujo de dispersión muy débil con concentraciones positivas al sur del sector con escasos granos de oro y concentraciones negativas al norte en jaguas de pendiente. Este débil flujo de dispersión es provocado por el arrastre de minerales provenientes de la mina Oro Descanso que limita al oeste con el sector y con el arroyo en especial.

3.2.5 Sector Descanso NW

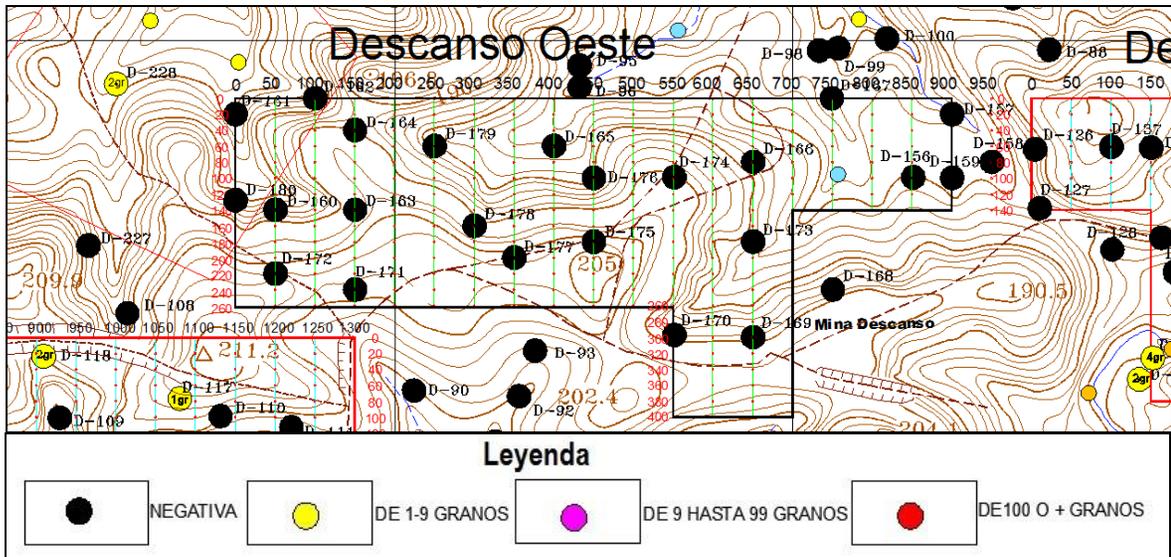


Figura 79.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en el sector Descanso NW (Valdés Claro, 2017).

El sector Descanso NW no presenta red fluvial, los resultados de las jaguas de pendientes fueron negativos en el sector, no se evidencian flujos de dispersión ni presencia de oro.

3.2.6 Sector Intermedio

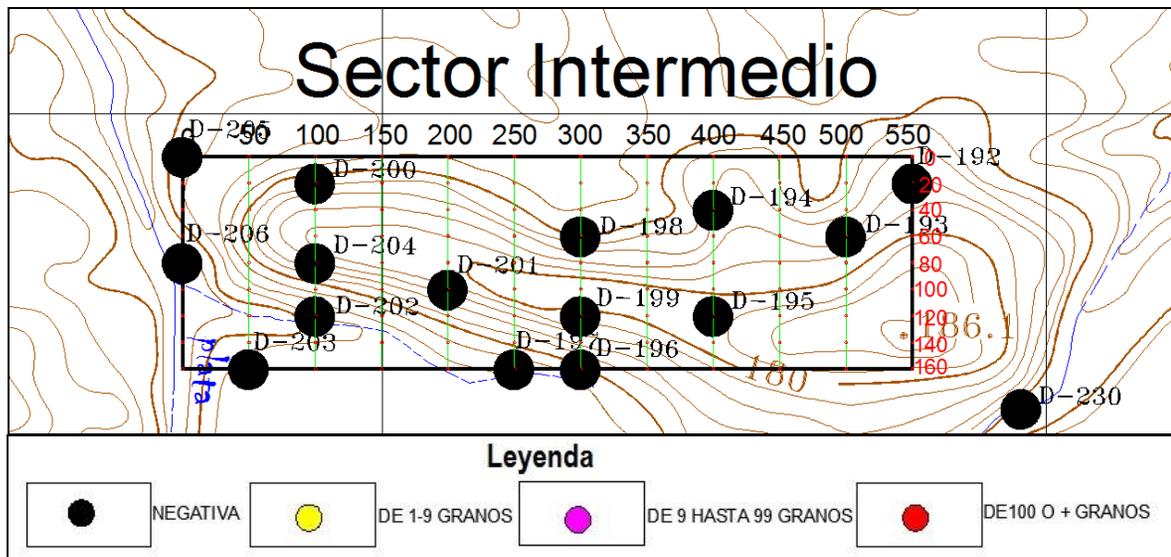


Figura 80.- Mapa de la distribución de las concentraciones de oro nativo en el sector Intermedio (Valdés Claro, 2017).

El sector Intermedio no presenta red fluvial densa, solo el arroyo intermitente La plata cruza al suroeste del sector, los resultados de las jaguas naturales y de pendientes fueron negativos en el sector, no se evidencian flujos de dispersión ni presencia de oro.

3.3 Interpretación del mapa de minerales meníferos en la Franja Meloneras-Oropesa.

En el área de investigación se encuentran contenidos variables de cromita, magnetita, ilmenita, esfena y rutilo, que constituyen los minerales primarios formados en el proceso de cristalización de las rocas ultramáficas de la Franja Melonera-Oropesa; existen minerales de alteración como hidróxidos de hierro y algunos minerales sulfurosos como pirita, calcopirita y arsenopirita, este último aparece en elevadas concentraciones en Oropesa y Alrededores de Meloneras (Ver Anexo 2).

3.4 Caracterización de los flujos de dispersión

Los flujos de dispersión se caracterizan en los seis sectores de la concesión como flujos de pequeña extensión con contenido de oro muy variables oscilando entre pocos granos, pepitas o plaquitas hasta contenidos superiores a los 80 granos, presencia de minerales típicos de los suelos residuales ferromagnesiales formados sobre rocas ultramáficas, predominan los contenidos elevados de minerales como cromita, magnetita e hidróxidos de hierro, y presencia más escasa de pirita, calcopirita, arsenopirita, ilmenita, esfena y rutilo.

3.5 Caracterización de las aureolas secundarias

Las aureolas formadas en suelos residuales se caracterizan por su pequeña extensión y formas redondeadas a sub-redondeadas, el estudio de las aureolas de Au son un índice mineralógico y geoquímico directo, éstas oscilan entre 10-40 m de longitud con concentraciones anómalas entre 0.4-8 g/t presentes en todos los sectores, el comportamiento de las aureolas de arsénico es similar pero la diferencia más visible es el incremento de movilidad geoquímica del elemento que evidencia aureolas de dimensiones entre 30-100 m con contenidos entre 10-60 g/t, la correlación espacial entre ambas aureolas indica la presencia de aureolas primarias subyacentes de mineralización aurífera. Las aureolas de Ni y Co presentan las mayores extensiones y sus concentraciones anómalas evidencian la existencia de suelos residuales formados sobre rocas ultramáficas subyacentes con altos porcentajes de olivino en su paragénesis mineralógica.

CONCLUSIONES

1. Se demuestra que los sectores de la Franja Melonera-Oropesa se caracterizan por presentar aureolas secundarias y flujos de dispersión de pequeña extensión; con contenidos variables de oro nativo y concentraciones elevadas de mineralización típica de suelos ferromagnesiales.
2. Se corroboró mediante el estudio metalométrico, que las aureolas secundarias identificadas de Au, As, Ni y Co, permitieron establecer concentraciones anómalas entre 0.4-8 g/t para la mineralización aurífera en el suelo residual, lo que evidencia la presencia de aureolas primarias subyacentes.
3. Se generaliza la información geoquímica de los mapas de concentraciones de Au, As, Ni y Co determinando la presencia de zonas auríferas en el centro y el este del sector Oropesa, al oeste en Alrededores de Meloneras y bordeando la concesión de Meloneras en su totalidad; en el sector Descanso NW y NE se ubican al noroeste, al suroeste en el sector Intermedio y en el sector Oropesa Norte en el centro.
4. Se generaliza la información geoquímica obtenida de los mapas de distribución de oro en jagua evidenciando la presencia de flujos de dispersión con resultados negativos de oro nativo en los sectores Intermedio, Oropesa Norte, Descanso NW, Descanso NE y positivos en los sectores Alrededores de Meloneras en el área del derrisco, al este de Meloneras y en la parte central de Oropesa.

RECOMENDACIONES

- 1- Comprobar la existencia real de aureolas primarias que subyacen las anomalías de suelos (aureolas secundarias) mediante laboreos mineros (trincheras) y realizar el muestreo litogeoquímico en la base de las paredes de las trincheras.
- 2- Integrar la información geoquímica de los mapas de anomalías de Au, la información geofísica de los mapas de cargabilidad y polarizabilidad y la información geológica para seleccionar las posibles zonas con mayor perspectiva en la Concesión.
- 3- Utilizar técnicas analíticas (ICP-MS espectrometría de masa con plasma inductivamente acoplado) que permita bajar el límite de detección para el oro hasta el nivel del Clarke.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Aquilera, A,1993. Informe estudio de factibilidad del yacimiento oro Descanso Meloneras, UST, Habana, inédito.
2. Buisson, G. L. M. (1985). "Gold in Carbonatized Ultramafic Rock from Ophiolite Complexess." *Economic Geology* 80(2028-2029): 2.
3. Ceccioni R, A. (2008). "Exploración Geológica y Negocios Mineros ": 57.
4. Díaz Martínez, R. P. F., Joaquín (2005). "Metalogenia asociada a las ofiolitas y el arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba " *Minería y Geología* 21 No 1: 40.
5. Emmons, W. H. (1917). "El enriquecimientos de los yacimientos" *Servicio Geológico de UU.EE, Departamento del Interior.* 625: 537.
6. Enghag, P. (2005). *Enciclopedia de los Elementos Químicos.*
7. Esteban, J. J. C., Julia; Tubía, J. M; Velazco, Francisco; Vegas, Néstor (2011). "Características Petrográficas y Mineralógicas de la Birbiritas derivadas de las Peridotitas de Ronda (Cordilleras Béticas)." *Sociedad Geológica de España* 50(1).
8. Egoro, Luege, 1965. *Hidrogeología de Cuba, ONRM, Habana.*
9. F, G. D. I. G. R. J. G.-M. M. H. S. G. R. (1997). "Oro Gold Deposit: A Proposed Classification in the Context of Their Crustal Distribution and Relationship Other Gold Deposit Types." *Ore Geologic Reviews* 7(27): 21.
10. Fernández de Castro, J., 1864. Oro Guaracabulla. *Boletin de minas. Archivo ONRM, Habana.*
11. García, D. Gallardo, E. *et al*, 2010. Recopilación, elaboración e interpretación de la información geológica existente de prospectos para oro en la región central. ONRM, Inédito.
12. Gislason, B.G., 1961. Reporte sobre la Mina Loma Anca o Perseverancia (Descanso). Guaracabulla, Placetas. ONRM La Habana, Inv. 442.
13. Gutarra, E. (2004). "Geología, Prospección y muestreo de yacimientos auríferos ".
14. Información, O. N. d. E. e. (2010). "Anuario Estadístico de Cuba." 12.

15. Iturbe García, J. L. (2003). "Análisis por activación neutrónica." Memorias del Congreso Nacional de Educación Química: 4.
16. Iturralde-Vinent, M. A. (1998). "Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba " Acta Geológica Hispánica 33: 56.
17. Iturralde- Vinent, e. a. (2009). Geología de Cuba para todos. La Habana, Editorial Científico-Técnica.
18. Informaciones de la AEI Caribgold Mines Inc-Geominer SA. Archivos digitales. EGMC.
19. J, G. "Mother Lode Gold Deposit (Low Sulphide Au Quartz Veins). "
20. J, G. (2005). "Depósitos de Oro (Mineralización y Alteración)." 16.
21. John, M. C. E. (347). Anomalías Geoquímicas y Mapeo de Prospectividad Geoquímica en SIG, (Libro de Mano de Exploración y Geoquímica Ambiental).
22. Kraipeerapum, P. F, Chung Che; Brown, Warick (2005). "Assessment of Uncertainty in Mineral Prospectivity Predictions Using Interval Neusotropic Set."
23. Kantshev, I., ed. 1976. Geología de la provincia de Las Villas. Resultado de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1:250000. Academias de las Ciencias de Cuba y Bulgaria. Instituto de Geología y Paleontología, 1480 pp. y mapas (Inédito, ONRM, Habana).
24. Krasilnico, V., Leal, R. et al, (1983). Informe de la búsqueda orientativa de polimetálicos y oro San Martín, escala 1:25 000. ONRM, (Inédito).
25. Lastra, 2008; Díaz Martínez, 2008. Libros de Geoquímica general y aplicada.
26. Laznicka, P. (2006, 2010). Los Depósitos Metálicos gigantes. Las Fuentes futuras de Metales Industriales. Springer-Verlag Berlín Heidelberg.
27. Lavandero, R.M., Bravo, F., 1994, Ambientes geodinámicos y su relación con los yacimientos minerales metálicos en la isla de Cuba (resumen), en Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería: Santiago de Cuba, Sociedad Cubana de Geología, 97.

28. Lavandero, R.M., Estrugo, M., Santa Cruz-Pacheco, M., Bravo, F., Melnikova, A.A., Cabrera, R., Trofinov, V.A., Romero, J., Altarriba, I., Álvarez, P., Aniatov, I.I., Badamgavin, B., Barishev, A.N., Carrillo, D.J., Cazañas, X., Cuellar, N., Dovbnia, A.V., Formell, F., García, M., González, D., Gue, G.G., Janchivin, A., Krapiva, I.J., López, J., Lozanov, I., Montenegro, J., Pantaleón, G., Stefanov, N., Vázquez, O., Zaagoskin, A.M., Zhidkov, A.Y., 1988, Mapa de yacimientos minerales metálicos y aguas minerales de la República de Cuba, Escala 1:500 000, Ciudad de la Habana, Cuba, 4 hojas.
29. López Kramer, J. M. P., Higinio; Hevia, Gandarillas; Redwood, Stewart; Pérez Vazquez, Ramón Guillermno (2009). "Depósitos de Au y Ag del Archipiélago Cubano." Ciencias de la Tierra y el Espacio: 14.
30. López-Kramer, J., Moreira, J., Pantaleón, G.J., Lavandero, R.M., Montano, J., Cruz-Martín, J., 1998, Tipos mineralógicos de algunos yacimientos auríferos de Cuba (resumen), en III Congreso Cubano de Geología y Minería: La Habana, Cuba, Sociedad Cubana de Geología, 371-374.
31. Millán, G., 1996. Metamorfitas de la asociación ofiolítica de Cuba. In Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba (Ed. Iturralde-Vinent, M.A.). IGCP Project 364 Special Contribution 1, Miami, USA, pp. 147-153.
32. Morón, F et al, (1957-1963). Informe sobre las minas de oro Perseverancia y Nueva Perseverancia, Guaracabulla, Placetas. ONRM, Exp. 1333, La Habana.
33. McQueen, M. C. "Identifying geochemical anomalies " Australian National University.
34. M, F. J. "Litogeoquímica y métodos mineralógicos para metales bases y exploración de oro." Servicio Geológico de Canadá, Ottawa, Ontario.: 18.
35. M. Carrazana, E. J. H., Martin (2001). "Geologically Constrained Fuzzy Mapping of Gold Mineralization Potencial, Baguio Distrit, Philippines." Natural Resource Research 10(2): 12.
36. Mari Mut, J. A. (1998-2003). "Manual de Redacción Científica." edicionesdigitales.info: 110.

37. MINEM (1978). "Norma Cubana 92-02 Control Geológico de la Calidad de los Resultados Analíticos." 23.
38. MINEM (1981). "NRIB-348-1981 Control externo del laboratorio para el área de geología."
39. MINEM (1985). "NRIB-269-85 Control Interno de la reproducibilidad de los análisis básicos cuantitativos para materia prima mineral, área de geología."
40. Moon, J. C. W. M., K. G; M. Evans, Anthony. (2006). Introducción a la exploración mineral, Blackwell.
41. Normand, C. W.-J., Anthony E (2007). "Physicochemical conditions and timing of rodingite formation: evidence from rodingite-hosted fluid inclusions in the J M
42. Nuñez Jiménez, D. (2017). "Estudio Comparativo de la efectividad del Kriging Puntual e Inverso de una Potencia de la Distancia, em la estimación 3D de Ni, Fe, Co." ISMM: 82.
43. Pardo, G. (2005-2006). The Geology of Cuba.
44. Paz, O.L., Milián, E. *et al*, Proyecto Gobernadora Cerro Jíbaro. ONRM, Habana, inédito.
45. Pérez, J. *et al*, 2009. Re-evaluación de recursos de oro Descanso, EGMC (versión digital).
46. Pérez-Pérez, C., 1997. Principales estructuras geológicas de Cuba determinadas por medio de la teledetección. En G. Furrázola Bermúdez, K. Núñez Cambra (eds.). Estudios sobre geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, 69-74 (publicado en marzo de 1998).
47. Proenza, J. V. I., Manuel (2007). "The Origin and Evolution of the Caribbean: Evaluation of Pindell Model." 28.
48. Proenza, J.A. Melgarejo, J.C. (2009) Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. <http://www.monografia.com>.

49. Pushcharovsky, Y., 1989. Tectonics of the Republic of Cuba. Explanatory note to the tectonic map of Cuba scale 1:500 000 (en ruso): Ed. Nauka, Moscow, 77 p.
50. Ranjan Sahoo, N. P. S. (1999). "Integration of Sparse Geologic Information in Gold Targeting Using Logistic Regression Analysis in the Hutti-Maski Schist Belt, Raichur, Karnataka, India-A Case Study." *Natural Resource Research* 8(3): 18.
51. Rivero, J., *et al*, 1991a. Informe de la prospección detallada de oro Meloneras, ONRM, (inédito).
52. Rivero, J., *et al*, 2000b. Base de datos Descanso-Meloneras, EGMC. (Inédito).
53. Rivero, J. *et al*, 2000c. Base de datos Gobernadora Cerro Jíbaro, EGMC. (Inédito).
54. Rivero, J. *et al*, 2000d. Base de datos Ofiolitas Cuba Central, EGMC. (Inédito).
55. Romero, O. *et al*, 2009a. Base de datos depósitos oro región central, EGMC. (Inédito).
56. Romero, O. *et al*, 2011b. Informe pronóstico de la mineralización de tipo oro orogénico en el polígono San Martín (sector Placetas). ONRM, (inédito).
57. Romero, O. *et al*, 2009c. Proyecto Exploración Meloneras. ONRM, Habana, (inédito).
58. Robert, F. B., R; Bourne, B. T; Dobak, P. J; McEwan, C. J; Rowe, R. R; Zhoe X "Models and Explorations Methods for Major Gold Deposit Types " *Ore Deposit and Geologic Technology*.
59. Robert, F. P. K. a. D., B. Gold Deposit and Their Geological Clasification (Geological Survey of Canada).
60. Rodríguez Vega, A. D. M., Roberto (2001). "La Mineralización Aurífera en Cuba: Clasificación y Rasgos Geológicos-Geoquímicos para la Prospección." *Minería y Geología* XVIII No 1 (2001): 20.
61. Rodríguez Vega, A. Libro de Geoquímica General, 268 pág.
62. Romero Loynaz, O. (2010). Pronóstico de la Mineralización de Tipo Oro Orogénico en el Polígono San Martín, Provincia Villa Clara. Facultad de Geología y Minería, Universidad de Pinar del Río, Hermanos Saíz Monte de Oca.: 81.

-
63. Shervais, J. W. (2001). "Birth, Dead, and Resurrection: The life cycle of suprasubduction zone ophiolities." *The Geochemical Society* 2: 45.
 64. Shein, V.S., ed., 1985. Mapa Tectónico de Cuba (cinco hojas) y texto explicativo. *Rev. Tecnológica*, 15(1), 37-39.
 65. Smirnov, 1982; Muñoz Gómez, 2007. *Geología de Yacimientos minerales sólidos*.
 66. Somin, M., Millán, G., 1976. The amphibolitic complex of southcentral Cuba and problems concerning the tectonic position of the eugeosynclinal series of the island (Ruso). *Bull. MOIP Moscú, Geology*, 5, 73-93.
 67. Soto-González, L.D., 1981, *Apuntes sobre la historia de la minería cubana: Santiago de Cuba*, Editorial Oriente, 121p.
 68. Stanik, E. *et al*, 1981. Informe levantamiento 1:100 000 Escambray I. ONRM, Habana, inédito.
 69. Vladimírovich L. O. y Ariosa I. J.D., 1990. Búsqueda, exploración y evaluación geólogo-económica de yacimientos minerales sólidos, Parte I y II.
 70. Vasiliev, E. *et al*, 1989. Informe Levantamiento geológico 1:50 000 y búsqueda norte Las Villas II Jíbaro-Báez. ONRM, Habana (inédito).
 71. Wassall, H., 1956. The relationships of oil and serpentinite in Cuba. *Memoria XX International Geological Congress*, Sect. 3, 65-77.
 72. Y Barra, R. *Valuación del Oro*, eBook YBarra.

ANEXOS GRÁFICOS:

- 1- Mapa de distribución de las concentraciones de oro nativo en jagua en la Franja Meloneras Oropesa.
- 2- Mapa de distribución de los minerales meníferos en la Franja Meloneras-Oropesa.
- 3- Mapa de minerales petrogénicos en la Franja Melonera-Oropesa.
- 4- Mapa de datos reales del muestreo en la Franja Melonera-Oropesa.