



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Facultad Geología y Minas
Departamento de Geología

Trabajo de Diploma

En opción al Título de

Ingeniero Geólogo

Título: *Prospección geoquímica del sector Intermedio de la franja aurífera Melonera-Oropesa, Villa Clara*

Autor: *Estelvino Geoveth Correia*

Tutores: *Ms. C Dioelis Rafael Guerra Santiesteban*
Ing. José Carlos Valdés Claro
Ing. Daniel Núñez Elías

Moa, 2018

“Año 60 de la Revolución”

PENSAMIENTOS

“Si no existe organización, después del primer impulso las ideas van perdiendo eficacia, van cayendo en el conformismo y acaban por ser simplemente un recuerdo”.

Ernesto Che Guevara



“El futuro de nuestra patria tiene que ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia, tiene que ser un futuro de hombres de pensamiento, porque precisamente es lo que más estamos sembrando; lo que más estamos sembrando son oportunidades a la inteligencia.”

Fidel Castro Ruz



DEDICATORIA

A mis padres Joaquim Correia y Felismina Antonia, por haberme brindado su apoyo incondicional, su amor y cariño, por darme las fuerzas e inspirarme para que hoy logre mis sueños durante toda mi trayectoria como estudiante.

A mis hermanos Carlos Vieira de Oliveira, José Paulo de Oliveira Mangundo, Sandra Mbinbi Correia, Julia Margarida Correia, Eugenia Tchihongue Correia, Maria de Fátima Correia, João Nambalo Correia, Carlos Kundy Correia, Magda Felismina Correia y a la Doctora Generosa Maria Dungula por brindarme su apoyo, amor y completa preocupación y calor hacia mi persona.

A mi Delvio, Stela, Jussara, Nair, Ariela, Jolmer, Paulinha, Mangundinho, Nelma, Kinilson, Walcir, Wilma, Emerson, Angelina, Janice, Sarita, Diqson, mi querida Jú, Mila, Drambler, Estelvino Geoveth Correia mi tucallo, Sandro, mis sobrinos que por ellos tengo mucho cariño y mis nietas que son la generación de esperanza para mi familia.

A mi querida mamá Maria de Fátima Clemente, mi muñeca mui especial y con un gran significado en lo que soy hoy

AGRADECIMIENTOS

A Dios el altísimo y grandioso, que siempre me ha dado la luz y ha sido el guía de mis pasos.

A mis padres y hermanos por darme todo su apoyo y confiar en que este sueño se haría realidad.

A mis hermanos Eugenio Cango Clemente, Guilhermina Clemente, Yadames Clemente, Herculano Clemente, Francisco Fina, Wilson Clemente, Herlander Clemente, mis amigos Alberto Paulo Bunga, Miguel Pacheco, Emiliandra Bebuchinha, Hortencio, Fausto, Amarildo Vicente, Bruno Yong, Jose Gaspar, Delcio Muangala, Avelino Capingana, wacalama, Jaão Lucamba Vila, Helder Vemba, João Nogueira, Henriques Mario, Almeida Alério, Petra Dicelma, Fausto Aderito, Dumila Fernandes y a todos aquellos compañeros angolanos en Cuba, al colectivo de los estudiantes angolanos del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa por su apoyo y amistad así como a todos aquellos que creen en mí y en especial a aquellos que me tienen como fuente de inspiración y un ejemplo a seguir, por ser la luz y guía de mis pasos.

A mis ilustres hermanos e inolvidables compañeros de múltiples y estresantes batallas vencidas, Albino Ramos, Loide Caliata, Tomas Francisco, Aldmiro Jacinto y Tchiloia Saleth desde que nos conocimos me han brindado consejos y apoyo inolvidables.

Agradecer a mis tutores: Ms. C Dioelis Rafael Guerra Santiesteban, Ing. José Carlos Valdés Claro y el Ing. Daniel Núñez Elías, por los conocimientos que me aportaron y su preocupación por la realización de este trabajo de diploma.

A la Dirección de la Empresa Geominera Centro, que con fe me ha apoyado en la titánica tarea de la Prospección Geoquímica para el oro,

A mis amigos de infancia y vecinos que siempre me apoyaron Amilton Tchimbua, Basílio Nguelessi, Francisco Sacaneno, Miquilina Muteca, Nelson Tiago, Ilídio Tiago, Yuri Cesar, Edmira Alberto, João Baptista Jacinto, Nelson Cambinda Baião.

A Edna Alexandra Miluca Perestrelo, por todo su apoyo incondicional, cariño, confianza y el amor que me ha dado.

Al gobierno Angolano por confiar en mí y darme la oportunidad de llegar a ser un profesional. A la Revolución Cubana, al pueblo cubano y a nuestro Invicto Comandante en Jefe que cito: El futuro de nuestra patria tiene que ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia, un futuro de hombres de pensamiento, por medio de ese legado estoy culminando la etapa de más deseada de mi vida y de mi familia, así como ustedes.

RESUMEN

En nuestro país uno de los sectores más perspectivas para la búsqueda de nuevas reservas de oro es Villa Clara-Tunas, debido a la ubicación en el de la mayoría de los yacimientos explotables actualmente. Esta región es producto hoy en día de la actualización de las reservas de oro existentes a partir del estudio de la concentración de los elementos químicos encontrados en las inmediaciones de los cuerpos minerales declarados, por diferentes métodos de prospección geoquímica, entre los que destacan: el método de Jagua y el de Metalometría.

El presente trabajo investigativo titulado Prospección geoquímica del sector Intermedio de la franja aurífera Melonera-Oropesa, realiza un estudio de la concentración de los elementos químicos en las aureolas geoquímicas primarias, secundarias o flujos de dispersión vinculados a un posible cuerpo mineral, mediante el empleo de métodos geoquímicos de prospección, basados en la determinación de valores umbrales del oro y elementos asociados en las ofiolitas septentrionales de la región central de Cuba.

ABSTRACT

Villa Clara-Tunas is one of the most prospective sectors for the search for new gold reserves, due to the location in most of the currently exploitable fields. This region is currently the product of the updating of existing gold reserves based on the study of the concentration of chemical elements found in the vicinity of declared mineral bodies, by different methods of geochemical prospecting, among which the following stand out: Jagua method and the Metalometry method.

The present research work entitled Geochemical Prospecting of the Intermediate Sector of the Melonera -Oropesa gold belt, performs a study of the concentration of chemical elements in the primary, secondary geochemical aureolas or dispersion flows linked to a possible mineral body, through the use of geochemical methods of prospecting, based on the determination of threshold values of gold and associated elements in the northern ophiolites of the central region of Cuba.

ÍNDICE

<i>PENSAMIENTOS</i>	I
<i>DEDICATORIA</i>	II
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Historia del surgimiento de la prospección geoquímica en el mundo y en Cuba	4
1.3 Regularidades de la prospección geoquímica del oro.....	10
1.4 Marco teórico conceptual	11
1.5 Características físico-geográficas del área de estudio	12
1.5.1 Ubicación geográfica	12
1.5.2 Clima	15
1.5.3 Suelos y vegetación.....	15
1.5.4 Hidrografía.....	16
1.5.5 Accesibilidad.....	16
1.6 Características geológicas regionales.....	17
1.6.1 Geología general	17
1.6.2 Hidrogeología	21
1.6.3 Geomorfología	22
1.6.4 Tectónica	22

1.6.5	Estratigrafía	26
1.6.6	Rasgos metalogénicos de la región.....	28
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....		33
2.1	Introducción.....	33
2.2	Metodología de trabajo.....	33
2.3	Materiales.....	35
2.4	Métodos aplicados	36
CAPITULO III: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS		39
3.1	Introducción.....	39
3.2	Presentación de los datos	39
3.3	Análisis estadístico de los datos	40
3.4	Confección de los esquemas de contenidos de elementos.....	42
3.5	Interpretación de los esquemas de contenido confeccionados	44
3.6	Resultados finales de la interpretación combinada de los esquemas de contenido de los elementos a partir de los datos metalométricos.....	52
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES		56
ANEXOS		60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ubicación geográfica del sector Intermedio de la franja Meloneras-Oropesa.....	14
Figura 2. Esquema geológico regional a escala 1:100 000 (Modificado de: García D. y otros, 2001).....	21
Figura 3. Esquema geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov et al., 1984).....	28
Figura 4. Leyenda del esquema geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov et al., 1984).	28
Figura 5. Esquema de los Principales depósitos de oro en Cuba (Díaz, R, 2010).30	
Figura 6. Flujograma del desarrollo de la investigación.	35
Figura 7. 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 el área de estudio).....	36
Figura 8. Histograma de Au, realizado en Excel.	43
Figura 9. Esquema de contenido de Au en el sector Intermedio.	45
Figura 10 . Esquema de contenido de As	46
Figura 11. Esquema de contenido de Pb	47
Figura 12. Esquema de contenido de Cu	48
Figura 13. Esquema de contenido de W	49
Figura 14. Esquema de contenido de Zn	50
Figura 15. Esquema de contenido de Ni	51
Figura 16. Esquema de contenido de Co	52
Figura 17. Esquema de resultados del método de Jagua	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas Lambert de los vértices de la Franja Meloneras-Oropesa.	13
Tabla 2. Sectores perspectivas dentro de la Franja Meloneras-Oropesa.....	15
Tabla 3. Valores asumidos en la base de datos para los valores límites de detección de los métodos de análisis químicos empleados.	39
Tabla 4. Medidas de tendencia central de las concentraciones de los elementos encontrados mediante el método metalométrico.....	41
Tabla 5. Medidas de dispersión de las concentraciones de los elementos encontrados mediante el método metalométrico.....	41
Tabla 6. Medidas de forma de las concentraciones de los elementos encontrados mediante el método metalométrico.	41
Tabla 7. Tabla del histograma del Au.....	43
Tabla 8.Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la distribución normal del Au en el Sector Intermedio.	44
Tabla 9. Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov para la distribución log-normal del Au en el Sector Intermedio.	44

INTRODUCCIÓN

La búsqueda y prospección geoquímica de oro en el archipiélago cubano, a pesar de su limitado impacto en el desarrollo socioeconómico del país, posee una larga tradición, que va desde la etapa de la conquista hasta la actualidad.

Muchos han sido los estudios realizados a las manifestaciones del metal, distribuidas a lo largo del territorio nacional, por diferentes autores; pero ni siquiera el hecho de que, en los últimos tiempos, se produjera la caída de los precios del oro en la bolsa internacional y las pocas cantidades del metal encontradas en Cuba, ha motivado su retirada de las prioridades del estado cubano.

Es por eso que el tema oro, constituye en nuestros días, todavía un objetivo esencial del gobierno cubano y, por tanto, el Servicio Geológico Nacional continúa las investigaciones con sus limitados recursos, no reportándose hasta el momento resultados positivos en las mismas. Algunos opinan que lo alcanzado por las compañías y por nuestro Servicio refleja la realidad, o sea, que hay muy poco del metal en este territorio.

En este orden de ideas, se hace necesario emprender la actualización de las investigaciones y la búsqueda de nuevas mineralizaciones a partir del estudio de la aureolas y flujos de dispersión de los yacimientos declarados. Esto es posible, partiendo de la idea de que los ambientes geoquímicos pueden producir, durante su formación, zonas enriquecidas en elementos útiles en las rocas encajantes, las cuales pueden ser reveladas mediante el análisis geoquímico, utilizando diversas técnicas analíticas, una cantidad pequeña de muestras, es decir, mediante un muestreo lo menos costoso como sea posible se quiere localizar sectores favorables en un área extendida y reconocida a grandes rasgos.

La búsqueda o prospección geoquímica en el sentido más amplio se define como la parte de las ciencias geológicas que se interesa en la búsqueda de minerales

con potencial económico. La técnica más ancestral, tradicional e de menor coste económico dentro de la prospección, es la prospección aluvionar o prospección con batea. Este método y su técnica asociada al uso de la batea, se ocupa de forma directa de la localización y valoración de depósitos de minerales pesados que dan lugar a los yacimientos denominados placeres o residuales y de forma indirecta de la determinación y en consecuencia la localización de anomalías minerales y por tanto geoquímicas.

Por otro lado, existen otros métodos encaminados a encontrar anomalías a través del estudio de los suelos, originados a partir de las rocas de caja de las mineralizaciones existentes, los cuales pudieron ser redepositados o transportados, a zonas relativamente cercanas del cuerpo mineral. Este tipo de método conocido como metalométrico, es una herramienta útil en el estudio de las aureolas y flujos de dispersión, mencionados anteriormente.

En nuestro país uno de los sectores más perspectivas para la búsqueda de nuevas reservas de oro es Villa Clara-Tunas, debido a la ubicación en el de la mayoría de los yacimientos explotables actualmente. Esta región es producto hoy en día de la actualización de las reservas de oro existentes a partir del estudio de la concentración de los elementos químicos encontrados en las inmediaciones de los cuerpos minerales declarados, por diferentes métodos de prospección geoquímica, entre los que destacan: el método de Jagua y el de Metalometría.

La presente investigación realiza un estudio de la concentración de los elementos químicos en las aureolas geoquímicas primarias, secundarias o flujos de dispersión vinculados a un posible cuerpo mineral, mediante el empleo de métodos geoquímicos de prospección, basados en la determinación de valores umbrales del oro y elementos asociados en el sector intermedio de la franja Melonera-Oropesa presente en las ofiolitas septentrionales de la región central de Cuba.

Problema científico: Necesidad de localizar la continuidad de las zonas minerales auríferas de poca potencia de las minas Descanso y Meloneras.

Objeto de estudio: Aureolas secundarias y flujos de dispersión del sector Intermedio de la franja Meloneras-Oropesa.

Campo de acción: Métodos geoquímicos metalométrico y de concentrados pesados o de Jagua

Objetivo general: Determinar la existencia de nuevas zonas auríferas mediante la aplicación de métodos geoquímicos de prospección para localizar aureolas secundarias o flujos de dispersión del sector Intermedio de la franja Meloneras-Oropesa, Villa Clara.

Hipótesis: Si se realiza la prospección geoquímica del sector Intermedio de la franja Meloneras-Oropesa mediante los métodos geoquímicos metalométrico y de concentrados pesados (Jagua), utilizando técnicas de análisis químico modernas, se podrán definir con exactitud la existencia o no de zonas asociadas a mineralizaciones auríferas en el sector.

Objetivos específicos:

1. Realizar el análisis estadístico de los datos geoquímicos obtenidos de la aplicación del método metalométrico.
2. Interpretar los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método geoquímico de jagua de pendiente.
3. Interpretar los esquemas de contenidos de elementos químicos generados a partir de los datos obtenidos por la aplicación del método metalométrico.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL

1.1 Introducción

En el presente capítulo se brinda una actualización acerca de la prospección geoquímica en el mundo y en Cuba y se destacan las principales características físico-geográficas y geológicas de importancia para el estudio realizado. A partir de la información brindada, se obtiene una visión general sobre el objeto de la investigación.

1.2 Historia del surgimiento de la prospección geoquímica en el mundo y en Cuba

Desde la edad de los metales, hace unos 6000 años A.C (VI milenio), el hombre comienza a desarrollar técnicas de prospección en busca de cobre, plata y oro basado en análisis mineralógicos ópticos para el desarrollo metalúrgico, así, por ejemplo; el gambusino buscando oro en ríos, visto por la exploración geoquímica moderna, estaría siguiendo flujos de dispersión de yacimientos minerales, y los antiguos mediante la observación de manchas o cambios de coloración en el suelo producto a la oxidación de los sulfuros (gossan) estarían prospeccionando cuerpos minerales ocultos.

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.

Algunos ejemplos del desarrollo de los métodos geoquímicos de prospección son recogidos por Agrícola (1556), citando que el hombre medieval tenía conocimiento

sobre la oxidación de los sulfuros en las vetas, que observaba los cambios de coloración del suelo; que 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.

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

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.

Por otra parte, la aparición de herramientas computacionales que posibilitan un tratamiento más rápido y profundo de los datos a través de los estudios estadísticos, y a las posibilidades que brindan los 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, y sin embargo la demanda de metales de la industria moderna crece constantemente y se diversifica.

Los métodos modernos de prospección y exploración geoquímicos fueron usados primeramente en la 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 (litogeoquímica de aureolas primarias y secundarias de dispersión).

Los primeros trabajos fueron enfocados en la búsqueda de estaño, pero estos fueron seguidos por otros estudios metalométricos (suelos y rocas intemperizadas) para cobre, plomo, zinc, níquel, entre otros metales. Las investigaciones iniciadas por la URSS, fueron seguidas por Suecia y Finlandia, y de esta manera se crean las fuertes escuelas geoquímicas europeas que seguirían los pasos de los investigadores pioneros, como los geoquímicos soviéticos Vernadsky V.I. (creador del primer trabajo en bioquímica) y su estudiante Fersman A.E (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 Malyuga D.P. Así también en Noruega se destaca el trabajo de Goldschmidt V.G. sobre la distribución de los elementos, captando con ello la atención de los geoquímicos alrededor del mundo, no sólo por sus estimaciones cuantitativas sobre la abundancia de elementos trazas importantes en los diferentes tipos de rocas, sino también porque formularía los principios que rigen en los datos observados y a partir de ellos se regirían 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. También en Noruega T. Vogt realizó estudios sobre la dispersión de los productos del intemperismo en suelo, vegetación y agua a partir de los depósitos de sulfuros conocidos. En Finlandia K. Rankama estudia los contenidos de níquel en la vegetación de algunos depósitos níquelíferos en el norte del país.

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 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 la Columbia Británica (Canadá) en 1945, Warren y sus colaboradores emprendieron un programa de investigación acerca de la determinación de los metales en la vegetación con propósitos de exploración. Este primer ensayo de prospección bioquímica en Canadá estableció 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 de acuerdo con Boyle y Smith (1968) sería un factor fundamental para el desarrollo subsecuente de los métodos geoquímicos de prospección en Canadá.

Boyle y Smith (1968) discutieron otros aspectos históricos del desarrollo del uso de la geoquímica de exploración en Canadá, incluyendo los principales fundamentos y contribuciones prácticas del Geological Survey of Canada, el cual se fundó a principios de 1950. Es importante destacar que en 1954 se logró 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 permitía tomar decisiones inmediatas, pero su uso por personal inexperto puede y ha resultado en muchos fracasos.

A principios de los años 50 los programas de exploración geoquímica habían sido conducidos por grandes compañías mineras. Inicialmente las investigaciones del Servicio Geológico de Estados Unidos en las técnicas analíticas de campo fueron dirigidas principalmente a los métodos colorimétricos que en sus inicios eran lentos en cuanto al análisis de grandes volúmenes de muestras, mientras que los soviéticos trabajaban en el espectrógrafo de emisión el cual permitía analizar rápidamente grandes volúmenes de muestras y determinar varios elementos

simultáneamente, pero este traía consigo una gran inversión inicial y la habilitación de un laboratorio muy complejo.

Tiempo después el Servicio Geológico de Estados Unidos compensó el problema de los volúmenes de muestras analizadas con el montaje de modernos laboratorios móviles de campo, que lograron procedimientos muy rápidos y sencillos, ambos métodos están parejos en cuanto a sensibilidad y calidad de la determinación, de estas investigaciones resultaron algunas publicaciones sobre los métodos colorimétricos aplicables a la detección de menas metálicas, fueron aceptados por los buenos resultados obtenidos y aplicados en otras partes del mundo, tiempo después el Servicio Geológico de Estados Unidos también hacía énfasis en el espectrógrafo de emisión.

En Inglaterra el grupo de investigadores de geoquímica aplicada fue establecido en 1954, bajo la dirección del profesor J.S Webb, quien dirigió 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 iniciaron en 1955 y las aplicaciones prácticas en ese país y en sus colonias francesas (parte de África) comenzaron tiempo después.

Actualmente los Servicios Geológicos de EE. UU, Canadá, Francia, Rusia (antigua URSS) y Alemania trabajan y enfatizan en los análisis por Activación Neutrónica (NAA), el cual presenta mejoras con respecto a otras técnicas analíticas en cuanto a sensibilidad y precisión, además de que 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 muy superiores a cualquier técnica analítica, evidenciando resultados certeros donde otras técnicas no

mostraron resultados concretos, se calcula que anualmente se analizan unas 10 000 muestras al año.

En Cuba la prospección se ha realizado en los 3 períodos importantes en el desarrollo de la minería del oro en la isla: colonial, neocolonial y revolucionario (Díaz, 2010).

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

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

Del desarrollo de esos especialistas en centros cubanos de altos estudios como la Universidad “Hermanos Saíz Monte de Oca” (Pinar del Río) y el Instituto Superior Minero Metalúrgico “Antonio Núñez Jiménez” en Moa, Holguín, surgen investigaciones y publicaciones relacionadas.

Además, en estos años otros investigadores realizaron publicaciones basadas en estudios patrocinados por las empresas geólogo-mineras de Cuba, algunos de ellos posteriores a 1978. Predominaron los muestreos regionales de sedimentos de fondo-jagua, los estudios litogeoquímicos en varias variantes, así como los muestreos de suelos 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 y otros, 1984; Rivero y otros, 1989; Rivero y otros, 1992; Romero,

1993), así como de metales base + preciosos (Fernández y otros, 1985; Cerny y otros, 1987; Delgado y otros, 1990, 1991; Gallardo y otros, 2002) Se realizan estudios más detallados en el PTE Oro y Polimetálicos San Martín a escala 1:25 000 (Krasilnikov et al.) en el cual se realizó el muestreo de suelo en red 200x40 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 y Oña, 2010), este último es el antecedente y el impulsor del proyecto que desarrollan Gallardo, Romero, 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)”.

1.3 Regularidades de la prospección geoquímica del oro

La prospección geoquímica del oro se realiza bajo el precepto de encontrar en el campo, anomalías que indiquen una concentración relativa del mineral, principalmente en suelos, sedimentos y rocas. Los métodos más empleados con este fin, han sufrido un proceso de modernización con el desarrollo acelerado de las nuevas tecnologías, entre se encuentran:

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

Geoquímicas 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 (Díaz, 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 (Díaz, 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.

Atmogequímica: 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, (Díaz, 2008).

1.4 Marco teórico conceptual

Relacionados con los métodos de prospección analizados anteriormente, existen conceptos que serán necesario emplear en el desarrollo de la investigación y para ello los traemos a colación.

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

Aureolas primarias: 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).

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).

1.5 Características físico-geográficas del área de estudio

1.5.1 Ubicación geográfica

El Sector Intermedio comprende el espacio entre las áreas Descanso y Meloneras, las cuales están ubicadas en la franja Meloneras-Oropesa, perteneciente al polígono de mineralización San Martín, el cual se ubica en la región central de

Cuba, perteneciendo administrativamente al municipio Placetas, de la provincia Villa Clara.

El punto central del polígono San Martín está ubicado a unos 9 km al oeste-suroeste del poblado Placetas, cabecera municipal, 23 km al sureste de la ciudad de Santa Clara, 10 km al sur del poblado Falcón y unos 5 km al norte del poblado de Guaracabulla.

La franja Meloneras-Oropesa abarca un área de 8,062 Km² con coordenadas Lambert (Sistema Cuba Norte) en los vértices (ver tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas Lambert 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

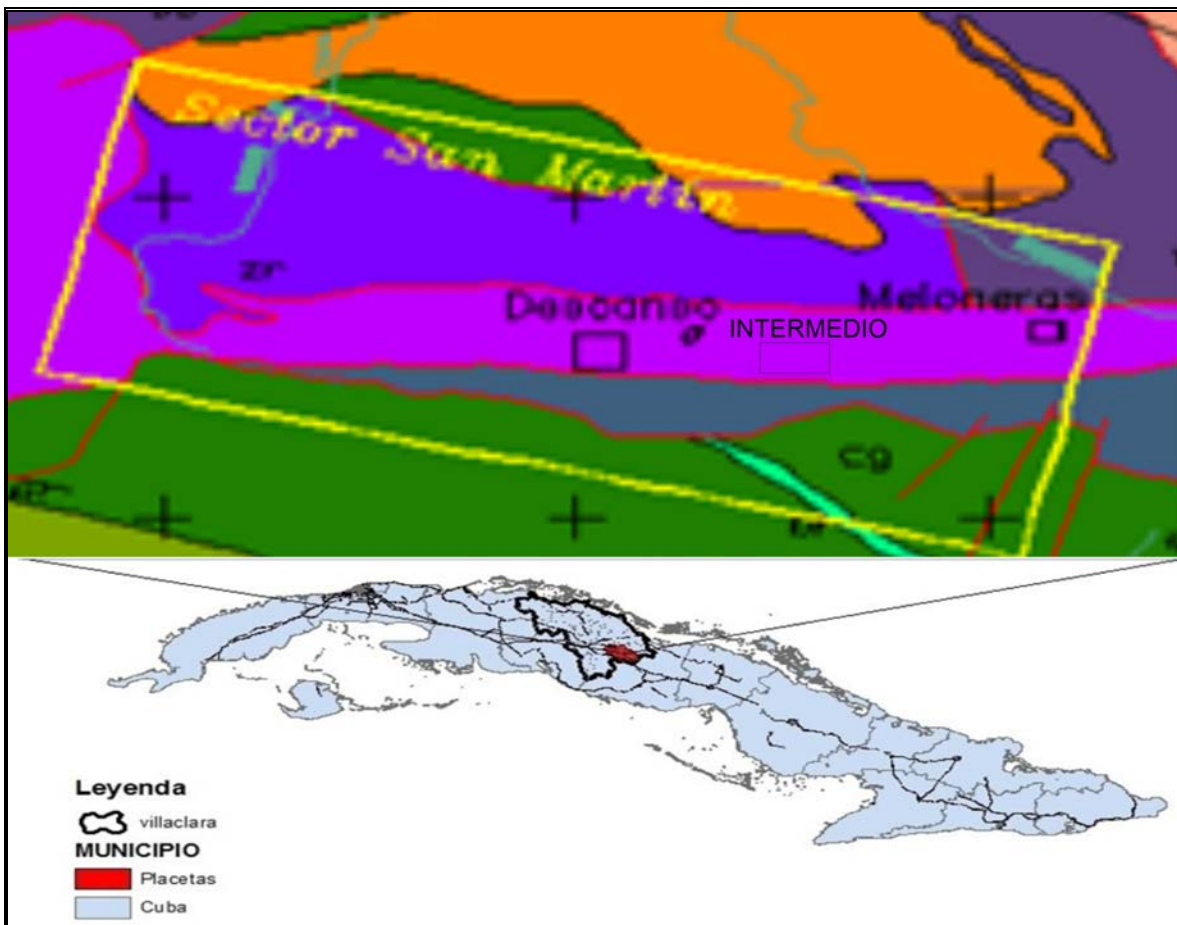


Figura 1. Esquema de ubicación geográfica del sector Intermedio de la franja Meloneras-Oropesa

Es importante esclarecer que se excluyen de esta franja las áreas concesionadas de Descanso y Meloneras, estas concesiones se encuentran en etapa de explotación e investigación de exploración, respectivamente, y se incluyen los 6 sectores perspectivas para la prospección de mineralización aurífera tipo Descanso, conocidos como: Alrededores de Meloneras, Descanso Noreste, Oropesa, Descanso Noroeste, Intermedio y Oropesa Norte. En esta investigación solo estudiaremos el Intermedio.

Tabla 2. Sectores perspectivas dentro de la Franja Meloneras-Oropesa.

Nombre sector	Orden de Prioridad	Área (Km²)	Cantidad de perfiles	Cantidad de estaciones
Alrededores de Meloneras	I-1	0.832	43	910
Descanso Noreste	I-2	0.156	14	278
Oropesa	I-3	0.175	26	208
Descanso Noroeste	II-1	0.238	20	189
Intermedio	II-2	0.880	12	63
Oropesa Norte	II-3	0.048	7	63
Total		2.329km²	244	1711

1.5.2 Clima

El clima es tropical húmedo con dos períodos bien diferenciados, uno cálido y lluvioso (mayo a octubre) y otro seco y templado (noviembre-abril) con temperatura media anual de 23⁰ C. Como es típico en los climas tropicales, 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 al 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 % al 86 %, mientras que en invierno va de 76 % a 85 %.

1.5.3 Suelos y vegetación

Predominan los suelos esqueléticos naturales y ferromagnesiales típicos, situados sobre serpentinitas. Es un suelo poco profundo (0.20 m a 1.60 m) y con un alto contenido de gravas y guijarros, los mismos pueden considerarse ligeramente ácidos en cuya composición química predominan el Fe, Al, Mg, Mn, Co y Ni.

La clasificación agroproductiva de los suelos es clase IV o VI, por su poca profundidad y pendiente. Se destinan principalmente a cultivos forestales y pastos

requiriendo de medidas de conservación de suelos. Todos los suelos se caracterizan por su baja fertilidad. Por las características del relieve no están sometidos a un gran nivel de la erosión, lo cual es un factor que debe ser tomado en consideración.

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.

1.5.4 Hidrografía

La red hidrográfica 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, hacia el extremo este las aguas drenan hacia la cuenca del río Zaza por las subcuencas de los arroyos Aguacate y el Santa Rita. La red hidrográfica está bastante desarrollada y tiene una distribución dendrítica que abarca el área entre las suaves ondulaciones que conforman el relieve predominante.

1.5.5 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 Placetras-Fomento, accediendo por un camino vecinal hasta las inmediaciones de la Mina Meloneras (actualmente en reparación por la Empresa Geólogo-Minera del Centro). Otro acceso por el sur se realiza desde la Autopista Nacional al poblado de Guaracabulla, y del mismo por un camino vecinal reparado recientemente para dar acceso 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, otros accesos dentro del área tendrían 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.

1.6 Características geológicas regionales

1.6.1 Geología general

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: el Substrato Plegado y el Neoautoctóno.

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 probablemente 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, acreción que ocurrió 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: sólo 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 y hasta el Maastrichtiano.

Flanco sur de la paleoplataforma de Bahamas y los depósitos del protoCaribe: justo 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 (Furrazola y otros, 1997) y 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, 2011).

❖ Unidades de naturaleza oceánica (Iturralde-Vinent M., 1998):

Dentro de estas unidades se encuentran las ofiolitas septentrionales y las secuencias del arco volcánico cretácico.

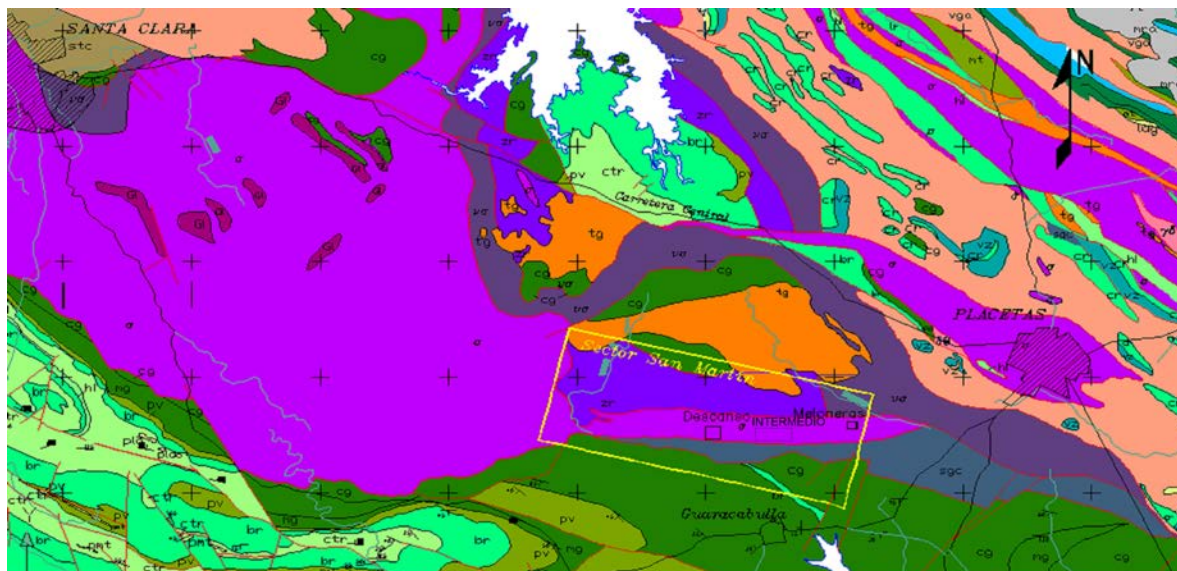
Al sur de la zona Camajuaní se dispone una sutura tectónica de primer orden, a lo largo de la cual se encuentra un melange de serpentinitas, gabros y anfibolitas muy deformadas (Iturralde-Vinent, M., 1998). Dentro de ésta se localizan los terrenos de Placetas junto con las unidades litoestratigráficas mejor preservadas de la cuenca proto-caribeña, aquí representadas por una secuencia de rocas siálicas muy antiguas (posible Neoproterozoico) cubierta por arcosas, silicitas y calizas de edad desde el Jurásico Superior Thitoniano hasta el Maestrichtiano. (Furrazola y otros, 1997).

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 muestran imbricados en potentes mélanges. Sus diferentes secciones son: Complejo Peridotítico (tectonitas),

Complejo Transicional (no bien documentado como tal en la región central del país), Complejo Cumulativo (cúmulos máficos y ultramáficos, rocas hospederas de la mineralización tipo oro orogénico), Complejo de Diques de diabasas y, por último, el Complejo Basáltico con sedimentos pelágicos asociados datados recientemente como del Jurásico Superior Thitoniano (Llanes A.I., y otros, 1998) hasta Cretácico Inferior (Neocomiano). Estas secuencias están emplazadas alóctonas sobre las secuencias sedimentarias del margen continental y a su vez están sobrecorridas por las vulcanitas del arco volcánico 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 (basaltos de la Formación Sagua la Chica) cada una con sus características propias, entre las cuales las más estudiadas son las localizadas en los cúmulos ultramáficos.

Las rocas del arco volcánico cretácico ocupan una gran parte del territorio central de Cuba y están representadas por un complejo vulcano-sedimentario que abarca un área aproximada de 2200 km², desde el occidente de Cienfuegos hasta el este de Sancti Spíritus y con edad desde el Cretácico Inferior (Neocomiano) hasta el Cretácico superior (Campaniano). Las investigaciones han permitido diferenciar al menos dos etapas principales de la actividad volcánica, mostrándose dos complejos separados por un hiatus cuyo rango tiene definición imprecisa, pero se supone en parte del Coniaciano-Santoniano (Díaz de Villa villa, et al, 1997). 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, la que refleja una mayor complejidad en la actividad volcánica que transcurre en el Cretácico Superior (Santoniano – Campaniano) formaciones Arimao, Bruja, La Rana, Dagamal, Hilario, Cotorro y Pelao).

En el área de prospección geoquímica está representada 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 serpentización, destacándose varios tipos de peridotitas, peridotitas plagioclásicas, piroxenitas, y en menor medida dunitas (todas ellas parcial o totalmente serpentizadas), además de cuerpos alóctonos de gabros, diabasas y pórfidos dacíticos. Se observan cuñas, bloques o macrobudinas de serpentinitas de aspecto masivo, rodeadas de escamas de serpentinitas foliadas y esquistosas 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 mucha menor proporción se presentan variedades de serpentinita 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, y que se presentan intruidos por enjambres de diques de diabasas Zurrupandilla. En el polígono estas rocas están representadas mayoritariamente por secuencias de la formación Cabaiguán (de edad Albiano-Cenomaniano), constituida por secuencias de tobas vitroclásticas de composición riolito-dacítica, tobas de composición básica y lavas andesíticas, dacíticas y en menor medida andesito-basálticas.



SIMBOLOGÍA:

<p>CUENCAS SUPERPUSTAS</p> <ul style="list-style-type: none"> (P₁-P₂^{va}) Fm. Vega Alta (P₁-P₂^{tg}) olistostroma Taguasco <p>ARCO VOLCÁNICO CRETÁCICO</p> <ul style="list-style-type: none"> (K₂^{prnt}) Fm. Palmarito (K₂^{ctr}) Fm. Cotorro (K₂^{plo}) Fm. Pelao (K₂^{hi}) Fm. Hilario (K₂^{br}) Fm. Bruja (K₂^{so}) Fm. Seibabo (K₁^{pv}) Fm. Provincial (K₁^{cg}) Fm. Cabaiguán (K₁^{mg}) Fm. Mataguá 	<p>ASOCIACIÓN OFIOLÍTICA.</p> <ul style="list-style-type: none"> J₂^{sgc} Fm. Sagua la Chica v₂-zr Diabasas Zurrupandilla vσ₂-zr Gabroides σ₂-zr Ultramafitas serpentinizadas <p>BLOQUES EXÓTICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Es₂^{cl} Esquistos cloríticos, otros GIK₂^{gl} Esquistos glaucofánicos. <p>TERRENO PLACETAS</p> <ul style="list-style-type: none"> (K₂^{er}) Fm. Carmita (K₁st) Fm. Santa Teresa (J₂-K₁^{vz}) Fm. Veloz 	<p>OTROS SIMBOLOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Contacto Contacto supuesto Límite tectónico. Falla comprobada. Carreteras. Ciudad. Ríos. Presa Concesión minera
--	--	--

Figura 2. Esquema geológico regional a escala 1:100 000 (Modificado de: García D. y otros, 2001)

1.6.2 Hidrogeología

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 m -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 metros. La variación se produce en la siguiente forma:

Julio y agosto: Se produce un aumento de 1 - 5 m.

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

1.6.3 Geomorfología

El área ocupa una pequeña porción en la subregión Alturas del Noroeste de Las Villas muy cercana al parte agua central de Cuba que atraviesa el área en su porción más oriental, representando por un relieve de llanuras onduladas con algunas colinas aisladas de pendientes suaves y cimas redondeadas con 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.

1.6.4 Tectónica

Krasílnikov et al. (1984) consideran como primer piso estructural el constituido por las rocas de la asociación ofiolítica, 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 Maestrichtiano-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 (Iturralde-Vinent, 1981) que dio origen de la asociación ofiolítica, la cual sirvió de sustrato a las secuencias del arco volcánico cretácico, estimándose la edad mínima de formación de las ofiolitas como Jurásico Superior Oxfordiano a partir de dataciones con el método K-Ar (Iturralde-Vinent, 1998) y más seguramente Pre-Thitoniano (Iturralde-Vinent, 1996, 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 sub-complejos separados por un hiatus con edad Coniaciano-Santoniano.

En cuanto a las rocas del arco insular volcánico, el complejo inferior de edad K_1 Neocominano – K_2 Cenomaniano corresponde a la parte inferior del mismo, cuyas secuencias se depositaron probablemente en discordancia sobre las ofiolitas. Este sub-piso está caracterizado por el surgimiento de la orogénesis sub-hercínica 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 ($80-310^\circ$). Los mencionados autores 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 (Maestrichtiano-Eoceno Medio) corresponde a un período de levantamiento y erosión profunda de los terrenos del arco dando lugar a conglomerados de rocas volcano-plutónicas entre las secuencias campaniano-maestrichtianas (Iturralde-Vinent, 1996, en 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 Maestrichtiano 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-regresivos, 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 y negativas que, complicadas 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 Fm. Mataguá, sobreyacidas concordantemente (y con transiciones laterales) por la Fm. Cabaiguán. Estas secuencias a su vez presentan contactos tectónicos con las ofiolitas infrayacentes. Hacia el eje del sinclinal yacen las secuencias del sub-piso estructural superior, compuestas por dacito-andesitas, tobas, tufitas, areniscas, aleurolitas, margas y calizas de las formaciones Seibabo, Bruja, Hilario, Pelao y Cotorro, aumentando el 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 Fms. Bruja y Cotorro, que sobreyacen a las tobas de la Fm. Cabaiguán y sobreyacidas a su vez por secuencias del olistostroma Taguasco. Estas secuencias presentan una yacencia suave, discordante sobre las rocas de la asociación ofiolítica (Krasilnikov et al., 1984). Según estos autores, las secuencias de la parte meridional del sinclinal Falcón y la parte septentrional del sinclinal Seibabo pertenecieron a una misma estructura sinclinal más amplio, que

fue separada en estructuras menores por los movimientos orogénicos que provocaron el emplazamiento de la asociación ofiolítica.

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 sub-latitudinal corresponde al periclinal de dicha antiforma (Kantchev et al., 1978).

Según Iturralde-Vinent (1996), las rocas del arco volcánico yacen actualmente en contacto tectónico con las ofiolitas septentrionales y con los terrenos de tipo continental (en nuestro caso las secuencias metamórficas del Escambray), 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, encontrándose olistostromas en los planos de contacto.

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 sólo por su aflorabilidad, sino también por sus propiedades mecánicas, favorables para la formación de fracturas.

El sistema de fallas sub-latitudinal es el más antiguo y está relacionado con la estructura geológica regional. En el polígono San Martín este sistema limita la franja serpentinitica central de la secuencia diabasa-basáltica y a ésta última de las secuencias del arco volcánico cretácico circundantes. Estas fallas con dirección sub-latitudinal se estima que están relacionadas con la orogenia sub-hercínica. 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.

Un segundo sistema en edad presenta dirección 320 -345° hasta sub-longitudinal y provoca la separación de la franja serpentínica 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.

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.

1.6.5 Estratigrafía

La información de la estratigrafía fue tomada fundamentalmente del Informe de la Prospección San Martín (Krasílnikov et al., 1984), del Informe sobre el Levantamiento geológico-búsqueda de la Región Norte-Las Villas II Jíbaro-Báez (Vasíliev et al., 1988) y de (Iturralde-Vinent, 1998), actualizada con los cambios ocurridos en el Léxico Estratigráfico de Cuba.

En el área de estudio las rocas al parecer más antiguas pertenecen al complejo ofiolítico septentrional, formado aquí por rocas intrusivas y por las vulcanitas de la Fm. Sagua la Chica de edad Jurásico Superior (Thitonano) hasta Cretácico Superior.

Limitadas con las anteriores por contactos tectónicos, afloran también 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 Fm. Cabaiguán de edad Albiano hasta Cenomaniano, sobre las cuales yacen discordantemente en un pequeño sector al este, las secuencias de lavas de composición ácida a media de la Fm. Bruja de edad Coniaciano-Santoniano. En el sector intermedio está presente fundamentalmente la formación Cabaiguán.

Fm. Cabaiguán. K₂^{al-cm} cg

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-andecítica. Participan también subordinadamente lentes de tufitas aleurolíticas 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 a litovitroclásticas, vitroclásticas, cristaloclasticas, cristalolitoclasticas, vitrocristaloclasticas y cineríticas. En mucha menos proporción participan las lava-brechas, las tobas andesíticas. Los lentes de tobas aleurolíticas hasta areniscas afloran poco frecuentemente, 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 3, muestra una reinterpretación de simbología del mapa geológico presentado por los autores de la Prospección San Martín (Krasilnikov et al., 1984), que se ha respetado dado que los datos reales del levantamiento geológico, realizado durante esos trabajos, se han perdido por completo (Romero. O, 2011). En dicha reinterpretación se ha 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).

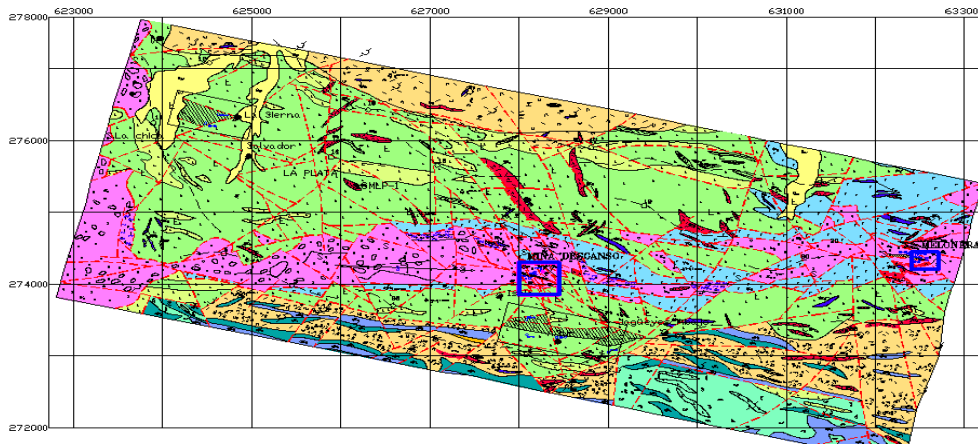


Figura 3. Esquema geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov et al., 1984).

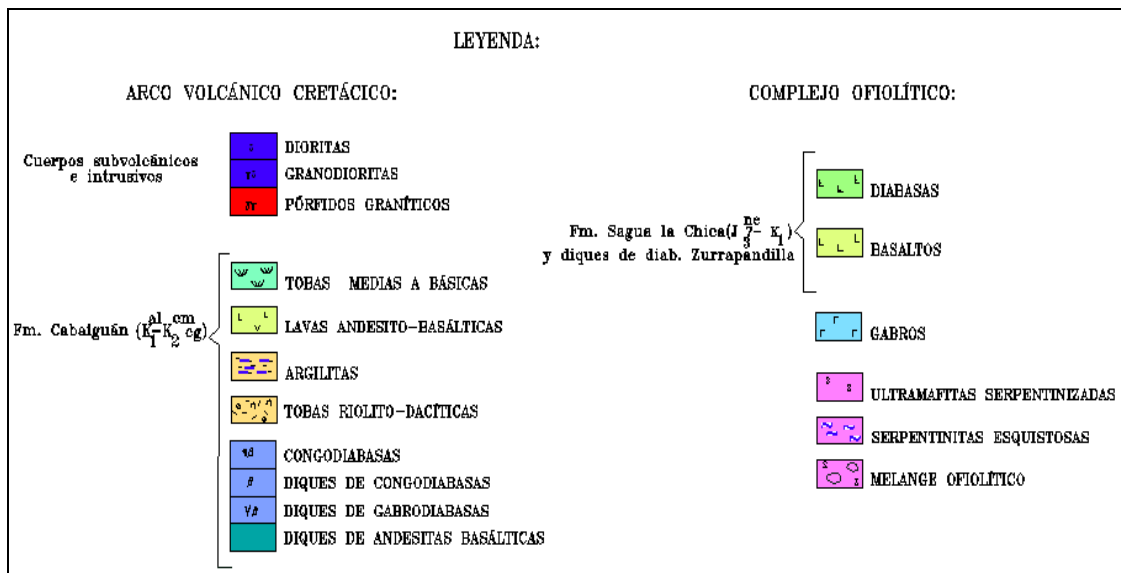


Figura 4. Leyenda del esquema geológico del polígono de prospección “San Martín” a escala 1:25 000, (Modificado de Krasilnikov et al., 1984).

1.6.6 Rasgos metalogénicos de la región

En la constitución geológica de la isla de Cuba se distinguen seis episodios metalogénicos principales bajo la perspectiva de la tectónica de placas, dentro de los cuales se reconocen depósitos de diferentes génesis como depósitos Sedex de metales base (Zn-Pb-Cu) y de Mn, con oro y plata, depósitos

volcanogénicos de sulfuros masivos (tipo Kuroko y tipo Chipre), depósitos de skarn de hierro y polimetálicos, de pórfido cuprífero y epitermales de Au-Ag, (J. A. Proenza, Melgarejo, Draper, Joan Carles, 1998.), estos se distribuyen por todo el territorio nacional.

En cuanto a los principales episodios metalogenéticos para el oro la constitución geológica de Cuba reconoce 4 momentos: 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 metalogenética de aproximadamente 400 Km extendiéndose desde la porción sur de Santa Clara hasta el norte de Holguín, (Figura 5). En correspondencia con la modelación geológica de yacimientos minerales (Ariosa-Iznaga y Díaz-Martínez, 2001; Ariosa-Iznaga, 2002; Atkinson, 2003) y sobre la base del incremento del conocimiento geológico de la isla se han elaborado diferentes clasificaciones (López-Kramer *et al.*, 1998; 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.

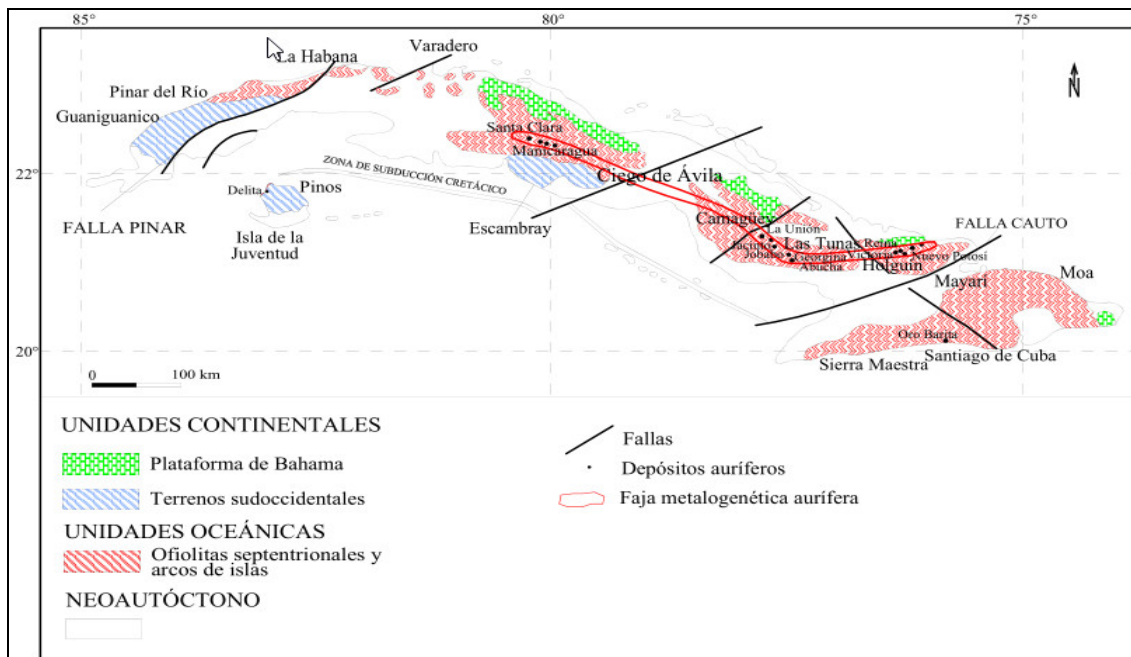


Figura 5. Esquema de los Principales depósitos de oro en Cuba (Díaz, 2010).

Con respecto a la mineralización auríferas de los complejos ofiolíticos las publicaciones 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 (Castroviejo, et al. 2010) 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 orogénica 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, en el cual incluye 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, (Rodríguez y Díaz, 2001) se incluyen un grupo de depósitos que van desde Yagruma (Pinar del Río), Mina Margot (Matanzas) hasta los campos minerales Pedro Barba y Jobosí –

Trillón situados al norte de Cuba central. Se mencionan también, asociados a estos dos tipos (pero mayormente al primero), algunas manifestaciones auríferas de placer en terrazas aluviales.

Según Rodríguez y Díaz (2001), 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 debió comenzar durante la propia serpentización de las ultramafitas primitivas (Descanso, Meloneras, Nuevo Potosí), a la cual siguió la cloritización y carbonatización de las rocas.

Sobre la composición sustancial de estas menas, le dan gran importancia a 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 (Antonio Rodríguez Vega Y Roberto Díaz Martínez. 2001). En el caso de Descanso, la asociación mineral de la mena se completa con la presencia de los óxidos magnetita, cromita (altamente descompuesta hacia la zona mineral) e ilmenita, galena, trazas de sulfuros de cobre, altaíta (PbTe) y oro nativo.

No obstante, los propios autores citados reconocen que en el depósito Descanso la alteración listvanítica se diferencia de lo descrito en la literatura por la ausencia de cuarzo, la presencia mayoritaria de clorita (clinocloro) que le aporta a la roca una cantidad considerable de Al_2O_3 , y la intensa carbonatización de la roca (dolomita, calcita).

Por otra parte, Rivero (1998) ha 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. Según este autor, con el nivel más profundo del corte ofiolítico (las tectónitas ultramáficas) relacionado con el melange serpentinitico que aflora en los alrededores de la ciudad de Santa Clara, se asocia una mineralización de oro nativo disperso que se ve 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 más específicamente a la intrusión de los diques de diabasas que intersectan aquellas rocas.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

El objetivo fundamental de este capítulo es describe la metodología empleada para llevar a cabo la investigación planificada y se ofrecer una descripción de los métodos y materiales empleados en la obtención de los datos geoquímicos, así como la realización del análisis estadístico de los datos.

2.2 Metodología de trabajo

El desarrollo de la investigación estuvo dividido en tres etapas fundamentales de trabajo, encaminadas al cumplimiento de los objetivos trazados de manera satisfactoria. En cada etapa se desarrollaron acciones propias que condujeron al logro de los objetivos específicos.

En la primera etapa (revisión bibliográfica) se consultaron escritos, compuestos por libros, artículos y tesis de diplomado, maestría y doctorado que abordan el tema de prospección geoquímica de oro, también se hizo revisión de reportes técnicos realizados por las empresas, Geominera Centro en la franja Melonera-Oropesa donde está incluido el sector Intermedio, esto incluye informes geológicos, mapas e informaciones digital del área de estudio. El resultado de esta etapa fue la elaboración del Estado del arte (Trabajos relacionados con la prospección geoquímica de oro en el mundo y en Cuba) y la recopilación de las principales características geológicas del área de estudio

En etapa de obtención de los datos, fueron realizadas 10 salidas desde la Empresa Geólogo Minera del Centro, hacia el sector Intermedio, dentro el campo menífero Descanso-Meloneras presentes en las ofiolitas septentrionales de la franja Meloneras-Oropesa donde hemos realizado el muestreo geoquímico. Se tomaron en total de 123 muestras en las cuales 15 empleando el método de concentrados pesados y 108 empleando Metalometría, se realizó también en esta

misma etapa el análisis químico de las muestras metalométrica en el laboratorio “José Isaac del Corral” que radica en la Habana y un análisis mineralógico óptico para las muestras de jagua. Esta etapa culmina con la confección de las bases de datos geoquímicas generada en el Microsoft Excel.

Se utilizaron estos métodos de prospección geoquímicos basados en la determinación de valores umbrales del oro y los elementos asociados (As, Ag) para la detección de anomalías, con el objetivo de revelar aureolas geoquímicas, secundarias o flujos de dispersión vinculados con un posible cuerpo mineral.

Por último, en la etapa de análisis de los resultados se realizó el análisis estadístico de los valores de concentración de los elementos, se confeccionaron los mapas (esquemas) de contenido de oro y elementos asociado, así como la interpretación de los esquemas generados en el software Surfer.

A continuación, se expone el flujograma que resume el trabajo realizado en la investigación:



Figura 6. Flujograma del desarrollo de la investigación.

2.3 Materiales

En la realización y desarrollo del presente trabajo se emplearon varios recursos, principalmente en el trabajo de campo, dirigidos a la toma de muestras, estos son: GPS, picos, palas, bolsas de polipropileno, tamices, bateas de madera, cubetas lupas y nylon (ver anexos 1, 2 y 3)

2.4 Métodos aplicados

Método geoquímico metalométrico

En la aplicación del método metalométrico se realizó el muestreo del horizonte B del suelo, zona de enriquecimiento con presencia de minerales pesados $> 5 \text{ g/cm}^3$ (figura 7) en una red regular de 50 m x 20 m, es decir, en cada perfil y estaca proyectados en la red topográfica de exploración, teniendo en cuenta que la potencia promedio de los suelos formados sobre las ofiolitas septentrionales en el área de estudio oscila entre 0.2 m y 0.8 m (ver anexo 4). El peso de las muestras osciló entre 2- 4 Kg como peso inicial representativo para una constante de heterogeneidad de 0.5 y una granulometría (diámetro máximo de partículas) de 2.5 mm. Estas muestras se enviaron al laboratorio LACEMI "José Isaac del Coral" para su análisis.

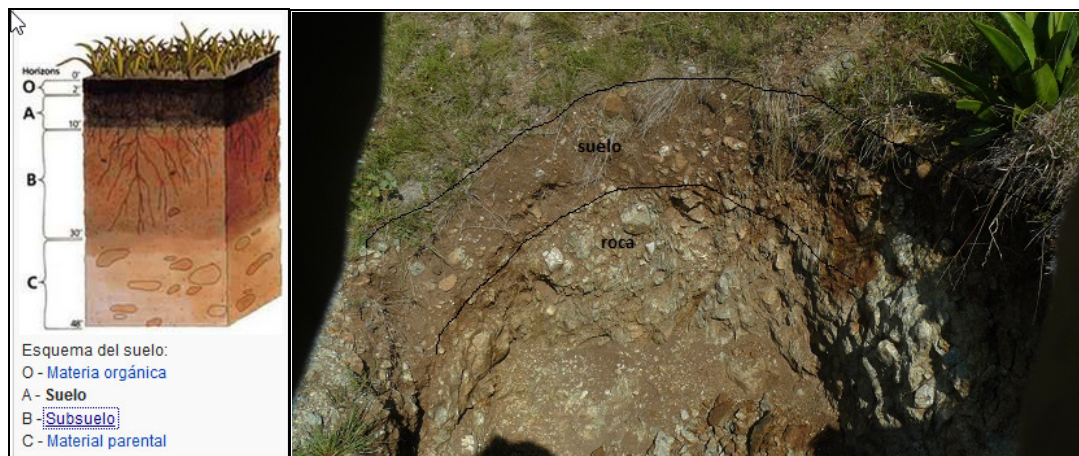


Figura 7. Capas del suelo (foto de la izquierda, tomada de Wikipedia y foto de la derecha, toma desde una cabeza de una trinchera reflejando la capa del suelo residual formada sobre las rocas ultramáficas en el área de estudio)

El laboratorio comercial escogido para realizar los ensayos analíticos radica en La Habana y exhibe más de 50 años de servicios prestados a la investigación geológica y la minería, certificado con el sistema de gestión de la calidad según ISO 17025.

Las concentraciones están expresadas en g/t; en el caso del Au (elemento blanco) la determinación 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. Otros elementos como Ag, As, Pb, Cu, Zn, Hg, Mo, Co, Ni (elementos asociados) se determinarían por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES) < 5 g/t.

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 lo que se envió el 10% de los duplicados para control interno de la calidad del laboratorio. Determinando después el error casual y el error medio relativo que para el Au como elemento buscado en la investigación.

Método de concentrados pesados o de Jagua natural

Este método se aplicó en sus variantes: Jagua natural y Jagua natural de laderas. Ambas variantes tienen el objetivo de estudiar los minerales pesados o las fracciones pesadas > 5 g/cm³ mediante 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 rutilo, esfena, leucoxeno y zircón, entre otros minerales indicadores directos para la búsqueda de yacimientos minerales sólidos correspondientes.

El muestreo de Jagua natural; se realizó en los sedimentos aluviales de la red fluvial depositados en las zonas de menor velocidad de las corrientes del río como recodos, lentes o lenguas de tierra, detrás de los salientes de las orillas abruptas, en sedimentos poco clasificados por los ríos (arenas o gravas gruesas) (ver anexos 4 y 5); en una red irregular de 50 m, con una cubeta de 20 litros (0.02 m³).

Una vez confirmada la presencia de minerales indicadores en las muestras de la red fluvial entonces se aplica el muestreo de Jagua natural de laderas; este

variante consiste en muestrear los suelos transportados o residuales formados en depósitos eluviales-deluviales, se realiza desde la red fluvial hacia las laderas o zonas eluviales-deluviales, tomando una muestra en una red irregular de 50 m de distancia entre muestras y comenzando 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 una serie de perfiles paralelos entre ellos y a la red fluvial, su continuidad está en dependencia de los resultados positivos.

Las muestras tomadas en las dos variantes se beneficiaron mediante la tamización con un tamiz alemán de maya < 6.3 mm y lavado de las fracciones hasta llegar a la jagua gris (ver anexo 8), después se registraron y tomaron los datos de ubicación geográfica y enumeración por lotes, fueron depositadas en envases preparados, se secaron y se realizó la separación de la fracción magnética, electromagnética y no electromagnética, posteriormente se realizó el análisis mineralógico óptico por parte de los especialistas en Mineralogía de la Empresa Geominera del Centro (ver anexo 7).

Durante la interpretación se trabajó con los datos del análisis mineralógico óptico, estos datos se agruparon en bases de datos formadas en Excel, conformada para el sector Intermedio. Entonces se confeccionó el mapa de ocurrencia de minerales meníferos, después se estableció los conos de influencia para determinar la proyección los posibles depósitos eluviales-deluviales a través de las muestras de jaguas positivas.

CAPITULO III: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Introducción

En el presente capítulo, se exponen los principales resultados con su correspondiente interpretación, obtenidos de la aplicación en el área de estudio, de los métodos de prospección geoquímica mencionados anteriormente. Las interpretaciones elaboradas partieron de la confección de una base de datos con los resultados de la concentración de minerales en el área, obtenidas a partir de la correcta aplicación de los métodos metalométrico y de jagua.

3.2 Presentación de los datos

Los valores de concentración de los elementos químicos encontrados en el área de estudio fueron obtenidos de los ensayos de oro y elementos asociados realizados en el laboratorio “José Isaac del Corral” a las muestras metalométrica, mediante las técnicas de AAS y ICP-AS, y mediante el análisis mineralógico óptico en el caso del método de concentrados pesados. Estos datos se agruparon en dos bases de datos (una para cada método) en formato Microsoft Excel.

Es importante aclarar que los resultados obtenidos para los elementos químicos analizados en esta investigación por debajo del límite de detección de los equipos analíticos de AAS y ICP-AES se reflejaron en las bases de datos por convenio como la mitad de valor del límite de detección y en el caso de los valores por anómalos, se clasificaron como “y mayores” en los histogramas de frecuencia.

Tabla 3. Valores asumidos en la base de datos para los valores límites de detección de los métodos de análisis químicos empleados.

Técnica analítica	Límite de detección	Base de datos
AAS (Au)	0.1 g/t	0.05 g/t
ICP-AES (Ag, As, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Zn, Pb)	5.0 g/t	2.5 g/t

Las bases de datos fueron sometidas a un proceso de validación que permitió corregir los errores comunes que ocurren en la confección de las mismas y que

podieran distorsionar los resultados. La ubicación geográfica de las muestras se hizo corresponder con el levantamiento topográfico, como parte de este proceso.

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.

3.3 Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los contenidos minerales obtenidos del estudio de las muestras se realizó con el objetivo de evaluar la distribución y estructura espacial de los datos geoquímicos. Sobre este aspecto se hizo un análisis univariado que permitió el cálculo de los estadígrafos fundamentales de tendencia central, dispersión y forma, además de la construcción de los histogramas para cada mineral encontrado. Este análisis se realizó para cada uno de los elementos químicos registrados en las bases de datos correspondientes al método metalométrico, la atención será prestada al elemento Au por ser el objetivo de la investigación.

El método metalométrico arrojó, en cuanto al análisis univariado que el elemento oro posee una concentración variable con valores que oscilan entre 0.05-3.03, y un valor esperado (media) muy pequeño (0.13) en comparación con el valor máximo (3.04), dado por la elevada varianza (0.8) que afirma que los datos están muy dispersos con respecto a la media. Estos datos, unidos al coeficiente de asimetría (9.08) que apunta que la distribución es asimétrica irregular, sugiere que la distribución del elemento en el suelo no se rige por una distribución normal, lo

cual justifica la realización de un análisis de Kolmogorov-Smirnov para la bondad de ajuste de los datos a una distribución determinada. (ver tablas 4,5,6)

Tabla 4. Medidas de tendencia central de las concentraciones de los elementos encontrados mediante el método metalométrico.

Elementos (ppm)	Mínimo	Máximo	Moda	Mediana	Media
Au	0,05	3,03	2,98	0,10	0,13
Ag	<2	<2	<2	<2	<2
As	14,02	328,41	314,37	27,12	34,13
Co	32,22	392,36	360,13	224,15	205,22
Cu	8,52	128,12	119,60	38,68	43,50
Ni	90,41	6332,29	6241,87	3235,37	2973,95
Zn	10,67	192,01	181,34	86,54	83,51
Pb	13,22	38,99	25,78	22,96	23,13
Wo	118,00	1223,26	1105,26	312,44	472,91

Tabla 5. Medidas de dispersión de las concentraciones de los elementos encontrados mediante el método metalométrico.

Elementos ppm	Desv. Estander	Varianza
Au	0,29	0,08
Ag	<2	<2
As	32,10	1030,71
Co	93,13	8674,81
Cu	20,25	410,07
Ni	1676,24	2809794,00
Zn	32,75	1073,02
Pb	5,03	25,33
W	312,64	97747,23

Tabla 6. Medidas de forma de las concentraciones de los elementos encontrados mediante el método metalométrico.

Elementos ppm	Curtosis	Coef. Asimetría
Au	89,00	9,08
Ag	<2	<2
As	65,84	7,37
Co	-0,97	-0,27
Cu	3,68	1,58
Ni	-0,97	-0,18
Zn	0,22	-0,08
Pb	0,56	0,60
Wo	-1,24	0,48

Una vez realizado este análisis se procedió a la realización de los histogramas acumulativos, los cuales permitieron conocer la frecuencia de distribución de los elementos en la población, agrupados en clases. Los mismo se realizaron para cada elemento obtenido como resultado del método metalométrico y arrojaron detalles sobre la distribución espacial de los elementos químicos encontrados.

La confección de estos histogramas permitió la realización de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (con un 95% de confianza) para la determinación del ajuste o no de los datos geoquímicos a la distribución normal. Esta prueba se realizó utilizando el Golden Software Surfer y permitió establecer los umbrales a través de dos métodos:

1. Si el elemento químico presenta una distribución no normal entonces los umbrales (treshold) se establecieron a partir del método de Criterio de Expertos
2. Si el elemento químico presenta una distribución normal entonces los umbrales se establecieron mediante el método basados en la media y la desviación estándar.

En caso del elemento oro que es el objetivo central de la investigación se rige por una distribución no normal por lo que sus valores de umbral fueron definidos a partir de criterio de expertos. En el caso del resto de los elementos su distribución aparece establecida en los anexos del 9 al 32.

3.4 Confección de los esquemas de contenidos de elementos

Los esquemas de contenidos se generaron para cada elemento mediante el método de estimación Inverso de una Potencia de la Distancia (IPD) y partiendo del análisis estadístico realizado previamente.

En caso de los elementos cuyos resultados se encuentren por debajo del límite de detección en su totalidad no se generaron mapas, son estos los valores de Hg y Mo, los cuales son negativos o por debajo del límite de detección.

Tabla 7. Tabla del histograma del Au.

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
0,05	51	47,22%	0,3484	52	48,15%
0,3484	52	95,37%	0,05	51	95,37%
0,6468	4	99,07%	0,6468	4	99,07%
0,9452	0	99,07%	y mayor...	1	100,00%
1,2436	0	99,07%	0,9452	0	100,00%
1,542	0	99,07%	1,2436	0	100,00%
1,8404	0	99,07%	1,542	0	100,00%
2,1388	0	99,07%	1,8404	0	100,00%
2,4372	0	99,07%	2,1388	0	100,00%
2,7356	0	99,07%	2,4372	0	100,00%
y mayor...	1	100,00%	2,7356	0	100,00%

Al observar la frecuencia de distribución para el Au, concluimos que el 47.22% de los resultados se encuentran por debajo del límite de detección con un valor de 0.05, 52 resultados son la clase predominante en el sector y se establecen como el fondo geoquímico del Au en el Sector Intermedio el valor 0.3484. Los restantes valores ocupan la segunda clase predominante y se encuentran entre 0.6468 y 2.7356, restando solo los valores de mayores concentraciones.

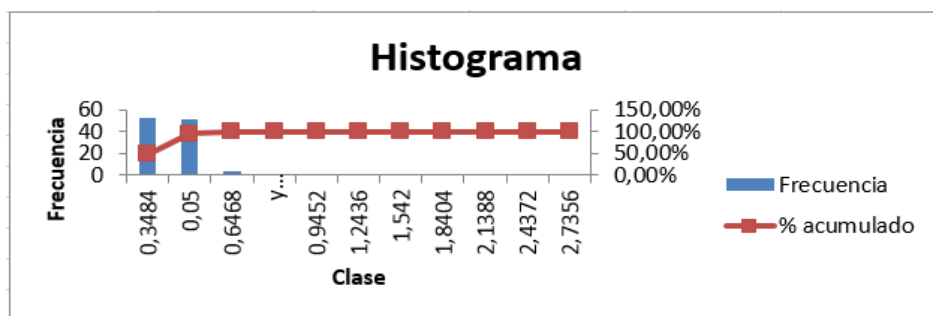


Figura 8. Histograma de Au, realizado en Excel.

Los resultados del análisis univariado, arrojan la no distribución normal ni log-normal, lo cual fue corroborado por la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la bondad de ajuste. Los resultados de la prueba (ver tabla 8) confirmaron los resultados del análisis univariado.

Tabla 8. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la distribución normal del Au en el Sector Intermedio.

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,393	0.39>0.12
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	negativo

Tabla 9. Resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov para la distribución log-normal del Au en el Sector Intermedio.

Distribución log-normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,265	0.26>0.12
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	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 el “Método de Criterio de Experto”, para establecer los valores umbrales y así generar los mapas de anomalías mediante un método de estimación.

3.5 Interpretación de los esquemas de contenido confeccionados

Au

El área de estudio está cubierta casi en su totalidad por zonas donde los contenidos de Au oscilan entre 0.1 y 0.2 g/t, así como por las zonas donde los contenidos están por debajo de estos valores. Por lo tanto, podemos inferir, que existe muy poco enriquecimiento en cuanto a los contenidos de oro en el área (ver figura 9). Sin embargo, se destacan algunas áreas dentro del sector, donde los valores son más elevados de lo normal. Así encontramos hacia el Oeste-Suroeste del sector, la anomalía más notable, donde se alcanzan valores de hasta más de 0.4 g/t de Au, siendo esta zona la de mayor amplitud, por lo tanto, la más perspectiva para definir la existencia de aureolas secundarias de dispersión de oro. Se observan además otras zonas anómalas en la parte central y hacia el Suroeste, donde los valores rondan también los 0.4 g/t, pero las dimensiones de

estas zonas son más pequeñas. Se aprecia cierta alineación entre las zonas con contenidos elevados del Au desde la parte central hacia el Oeste de todo el sector, lo cual debería corroborarse con la información brindada en otros esquemas para definir la posible existencia de una o varias aureolas secundarias en el sector.

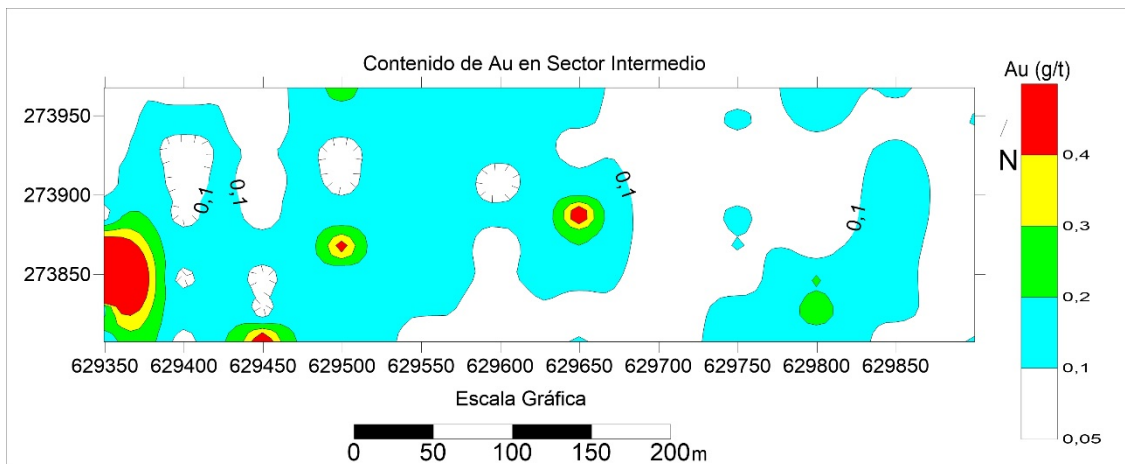


Figura 9. Esquema de contenido de Au en el sector Intermedio.

As

En todo el sector, hay una distribución bastante irregular del As, con valores que demuestran un incremento de la concentración del elemento, desde Este hacia Oeste. El extremo Este del sector está caracterizado por valores de contenido de As que oscilan entre 10 y 20 g/t (ver figura 10), a medida que nos desplazamos hacia el interior del sector es notorio el aumento de la concentración alcanzando valores de más de 30 g/t. En algunos puntos de la parte central y en el Suroeste del sector la concentración está más representada por valores similares y superiores a los 40 g/t; además existen puntos dentro de esta misma zona con mayor enriquecimiento, llegando a alcanzar valores de hasta 80 g/t. El enriquecimiento no se observa en la parte Noroeste donde los valores bajan nuevamente hasta cerca de los 30 g/t, siendo este rango de valores uno de los más representativos en el sector. Es importante destacar que la parte del sector donde se encuentran las anomalías más enriquecida en cuanto al contenido de As, coincide con las mayores anomalías de Au (ver figura 9).

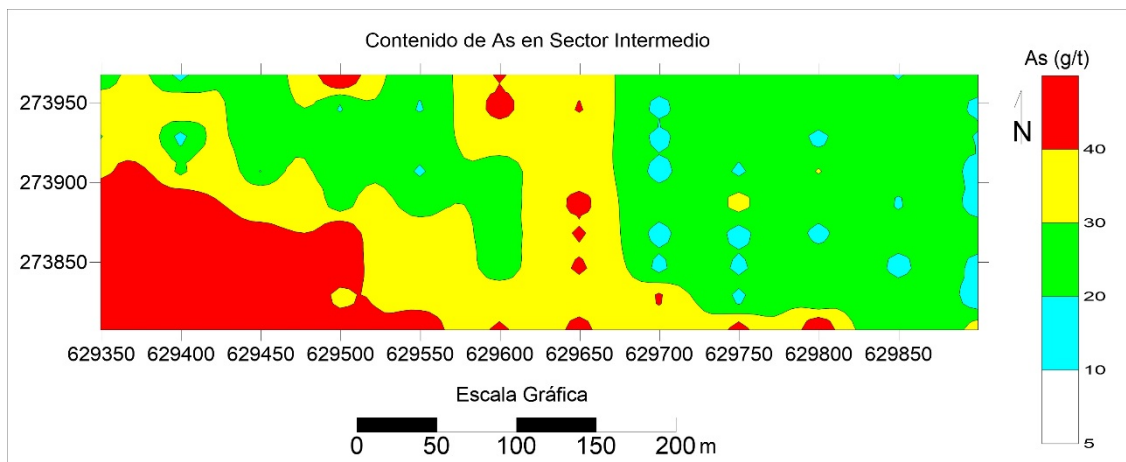


Figura 10 . Esquema de contenido de As

Pb

El área está cubierta casi en su totalidad por zonas donde los contenidos de Pb oscilan por debajo de los 23,13 g/t, como se puede notar en el extremo Este del sector (ver figura 11). Estos mismos valores que representan un bajo enriquecimiento del Pb aparecen también en la parte noroccidental del sector por esta razón podemos inferir, que predominan los contenidos relativamente bajos de Pb en el área de estudio. Se deben destacar algunas áreas donde los valores son más elevados, así encontramos la anomalía más notable en el sector, donde se alcanzan valores entre 33,13 y 38,13 g/t de Pb, siendo esta zona la de mayor amplitud en cuanto a los valores elevados del contenido de dicho elemento; por lo tanto, la más perspectiva para definir la posible existencia de aureolas de dispersión de Pb. Se observan además otras pequeñas zonas anómalas hacia el Sureste del área, donde los valores rondan también los 28,13 g/t, aunque las dimensiones nos permiten asociarlas más a variaciones puntuales en los contenidos del elemento. Se puede apreciar como la anomalía con los contenidos más elevados y a la vez, con mayor amplitud en cuanto a la concentración de Pb, está ubicada en la porción Suroeste del sector; misma área, donde se encontraron las anomalías más significativas de los elementos Au y As.

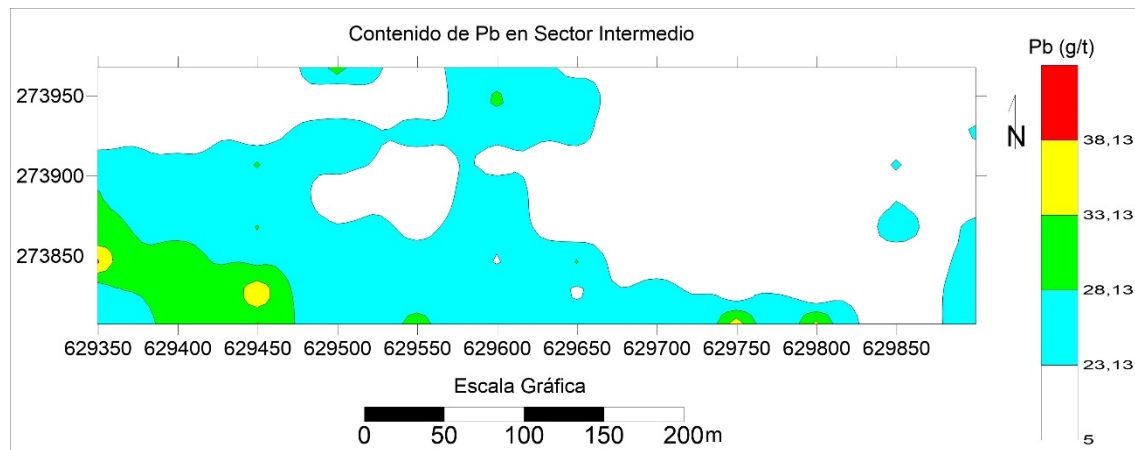


Figura 11. Esquema de contenido de Pb

Cu

Al igual que en el análisis del elemento anterior es destacable el predominio de las zonas con contenidos relativamente bajos de Cu. En gran parte del sector predominan los valores inferiores a 43,5 g/t. La distribución espacial es irregular; existe un segundo nivel de desarrollo de áreas con contenidos de Cu entre 43,5 y 63,75 g/t, las cuales cubren casi totalmente el resto del área de estudio como muestra la figura 12. El extremo Oeste del sector sigue siendo la parte donde mejor se desarrolla el enriquecimiento de los elementos analizados, pues igualmente es la parte del sector donde encontramos las mayores concentraciones del Cu, donde los contenidos alcanzan puntualmente valores superiores a los 104,25 g/t aunque estos valores puntuales se hayan dentro de zonas donde aparecen valores superiores a los 63,75 g/t. Se encuentra una anomalía con contenidos similares a los mencionados anteriormente un poco más al Norte, pero con dimensiones demasiado pequeñas como para ser tomada en cuenta para interpretaciones conjuntas. Por lo tanto, se mantiene la porción occidental y suroccidental del sector como la señalada para localizar una aureola de dispersión, por mantener nuevamente la concentración más elevada de Cu, abarcando las mayores dimensiones.

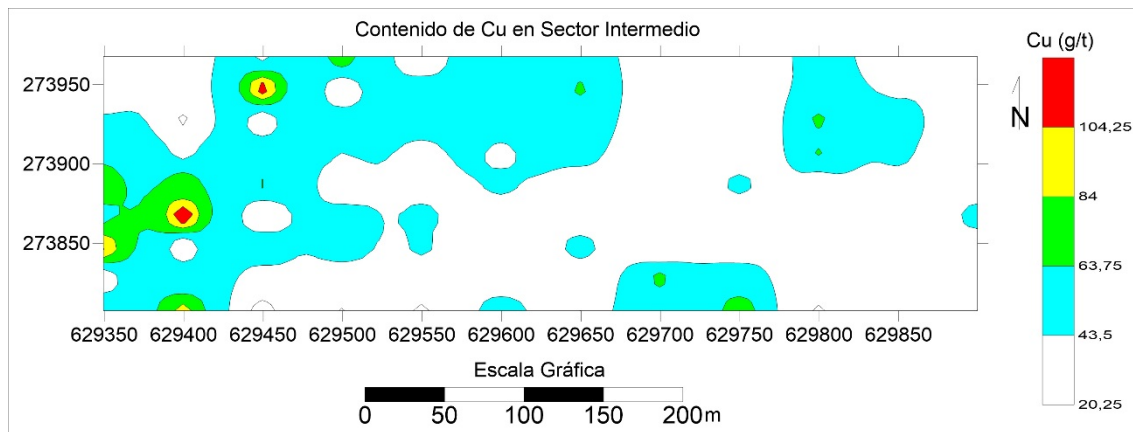


Figura 12. Esquema de contenido de Cu

W

En cuanto al W el área de estudio está cubierta en su mayoría por zonas donde los contenidos son relativamente bajos. El sector está cubierto casi en su totalidad por una alternancia de zonas con contenidos que oscilan entre 312,64 y 472,9 g/t, así como entre 472,9 y 785,54 g/t (ver figura 13). Sin embargo se puede observar en el sector algunas áreas, donde los valores son más elevados. A medida que nos movemos del centro hacia el Oeste por toda la zona Sur del sector es apreciable el aumento de la concentración, alcanzando valores que sobrepasan los 785,54 g/t y puntualmente superan los 1098,18 g/t; además aumentan las dimensiones de la zona con estos contenidos elevados. Esta zona es la más enriquecida en W y, por lo tanto, la más perspectiva para definir la existencia de aureolas de dispersión con respecto a este elemento.

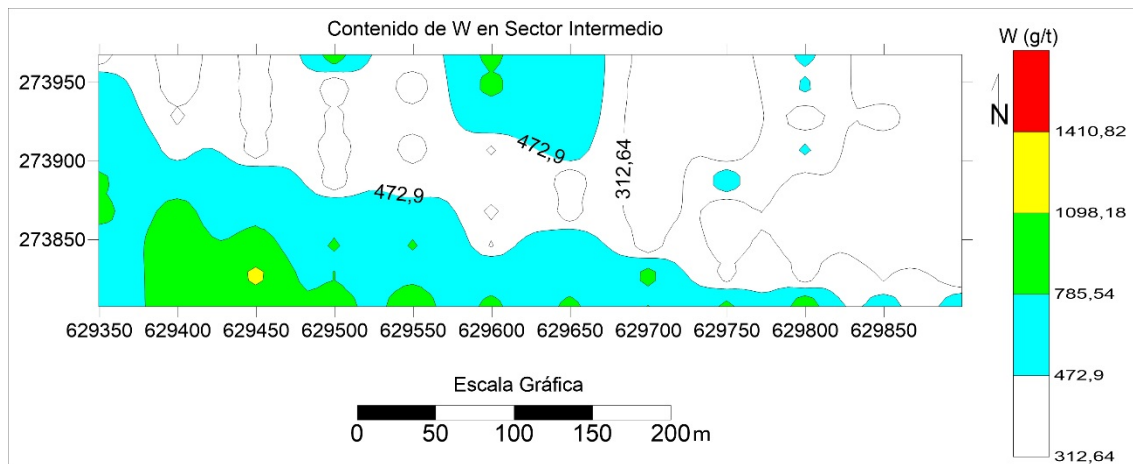


Figura 13. Esquema de contenido de W

Zn

El elemento Zn tiene una distribución espacial notablemente distinta de los demás elementos analizados hasta el momento, como podemos ver en el esquema de la figura 14 y como analizaremos a continuación. La mayor extensión del área está cubierta por valores de medios a bajos, los que se mantienen oscilando entre 83,51 y 116,26 g/t. En comparación con otros elementos el Zn se asemeja al Au y As, como los únicos elementos donde no predominan los contenidos más bajos, sino aquellos contenidos de medios a bajos, que aún pueden considerarse como anómalos. La mayor diferencia de las concentraciones de este elemento con los demás estudiados radica en que los contenidos más bajos se localizan en la porción Sur y Oeste del sector; cuando esta anteriormente siempre fue la zona más enriquecida en cuanto a los contenidos de los demás elementos. Aun así, en la porción Oeste aparecen algunos puntos con contenidos elevados del Zn, alcanzando hasta más de 149,01 g/t, pero es un área demasiado pequeña para ser tomada en cuenta para establecer posibles aureolas a partir de este elemento. Las anomalías de mayores dimensiones y valores en el sector para el Zn aparecen hacia el Este del sector, con valores oscilando establemente entre 116,26 y 149,01 g/t. Por lo tanto, podemos asumir que la zona Este del sector es sin dudas la más enriquecida en cuanto a los contenidos de Zn.

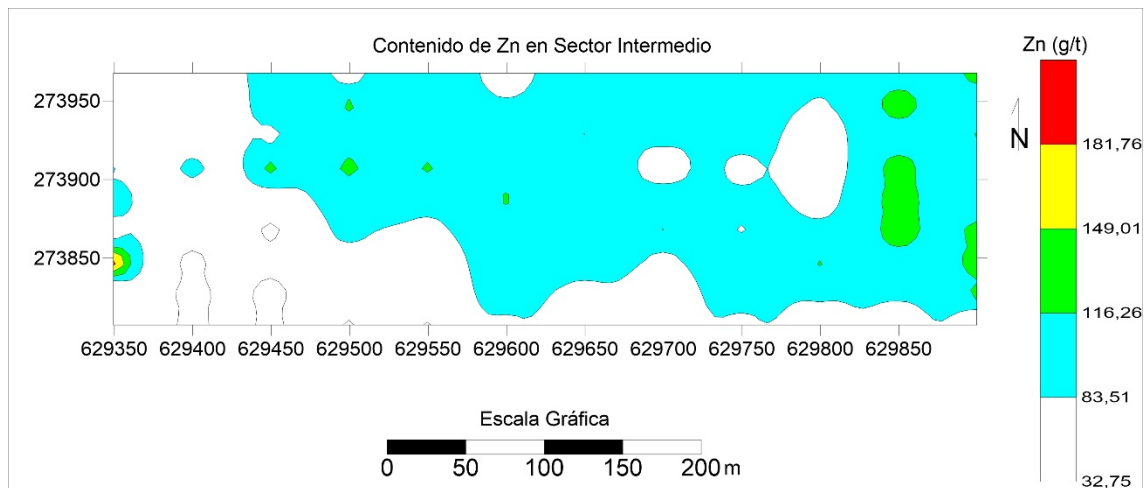


Figura 14. Esquema de contenido de Zn

Ni

El Sector Intermedio está cubierta en gran parte por zonas donde los contenidos de Ni se encuentran entre 2973,75 y 4649,99 g/t, los cuales consideramos en el presente trabajo, como contenidos de medios a bajos. Como podemos observar toda la parte central del área está cubierta por estos contenidos, así como la mayor parte de la parte Este del sector (ver figura 15). En segundo lugar, se desarrollan áreas con contenidos bajos (inferiores a los 2973,75 g/t) en todo el Sur del área, aumentan sus dimensiones hacia el Oeste del sector, llegando a estar cubierta esta zona totalmente por valores bajos. Por estas razones, podemos decir, que existe un pobre enriquecimiento en cuanto a los contenidos de Ni en el área. Sin embargo, se puede observar zonas dentro del sector, donde los valores son más elevados, encontrando así la anomalía más notable en el extremo Este del sector, alcanzando valores de concentración superiores a los 4649,99 g/t de Ni, siendo esta zona la más perspectiva para definir la existencia de aureolas de dispersión de Ni. Podemos concluir que en cuanto a los contenidos de Ni, las zonas anómalas están totalmente desvinculadas a las destacadas en las interpretaciones de la mayoría de los elementos anteriores (lo mismo sucede con el Zn).

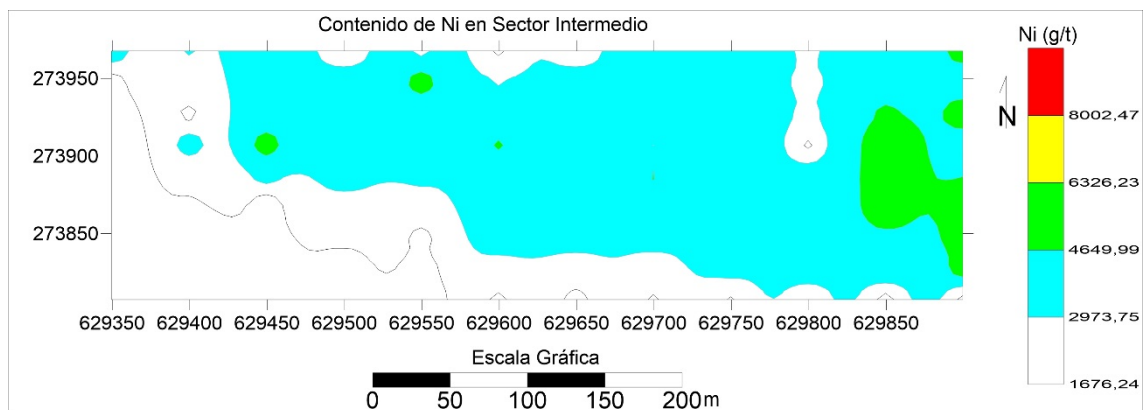


Figura 15. Esquema de contenido de Ni

Co

El Sector Intermedio está cubierta en gran parte por zonas donde los contenidos de Co se encuentran entre 205,22 y 298,35 g/t, los cuales consideramos en el presente trabajo, como contenidos de medios a bajos. Como podemos observar toda la parte central del área está cubierta por estos contenidos, así como la mayor parte de la parte Este del sector (figura 16). En segundo lugar, se desarrollan áreas con contenidos bajos (inferiores a los 205,55 g/t) en todo el Sur del área, aumentan sus dimensiones hacia el Oeste del sector, llegando a estar cubierta esta zona totalmente por valores bajos. Por estas razones, podemos decir, que existe un pobre enriquecimiento en cuanto a los contenidos de Co en el área. Sin embargo, se puede observar zonas dentro del sector, donde los valores son más elevados, encontrando así la anomalía más notable en el extremo Este del sector, alcanzando valores de concentración superiores a los 391,48 g/t de Co, siendo esta zona la más perspectiva para definir la existencia de aureolas de dispersión de Co. Podemos concluir que en cuanto a los contenidos de Co, las zonas anómalas están totalmente desvinculadas a las destacadas en las interpretaciones de la mayoría de los elementos anteriores.

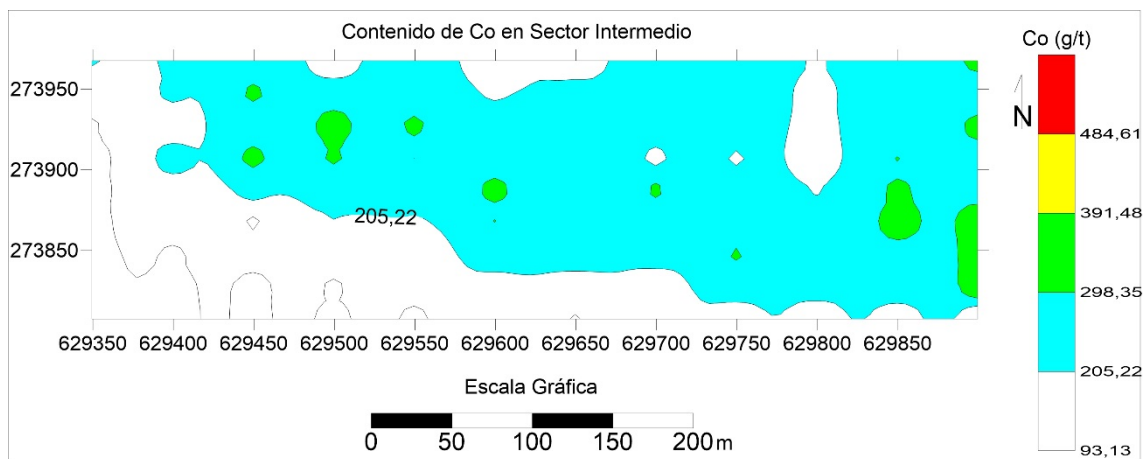


Figura 16. Esquema de contenido de Co

3.6 Resultados finales de la interpretación combinada de los esquemas de contenido de los elementos a partir de los datos metalométricos

Han sido analizados con anterioridad esquemas individuales confeccionados con los contenidos de los elementos: Au, As, Pb, Cu, Zn, Ni y Co; a partir de los datos obtenidos como resultado de la aplicación del método metalométrico.

Para realizar una interpretación conjunta de los resultados de estos esquemas debemos tomar en cuenta dos nuevos factores que influyen en los resultados obtenidos: la topografía y la geología del sector.

La topografía influye con gran fuerza en la correcta aplicación del método metalométrico, pues este por ser un método aplicable fundamentalmente al suelo, necesita de condiciones geológicas favorables para el desarrollo y conservación de dicho suelo. En este caso, por ser un sector reducido reviste mayor importancia la topografía como elemento condicionante del desarrollo de procesos meteorizantes y erosivo-acumulativos; ya que en general las condiciones climatológicas no van a sufrir más variaciones de una parte del sector a otro.

En el caso de la geología adquiere relevancia pues como se ha explicado con anterioridad, se estuvo trabajando en una zona asociada a las rocas ofiolíticas. Por lo tanto, se muestran en los esquemas contenidos elevados de ciertos elementos, los cuales están relacionados directamente con la roca encajante en lugar de estar relacionados con la mineralización aurífera como tal. De esta manera podemos definir que los elementos químicos Au, As, Pb, Cu y Zn van a estar más relacionados con la mineralización aurífera como tal; en cambio los contenidos de Ni y Co, van a estar más controlados por el desarrollo de la roca encajante de dicha mineralización.

Después de las aclaraciones pertinentes y tomando en consideración los análisis realizados y explicados en párrafos anteriores podemos definir como la zona destacada para establecer la presencia de una aureola secundaria de una mineralización aurífera, la porción Suroeste del Sector Intermedio. En esta zona aparecen las anomalías de mayores dimensiones y valores para los elementos Au, As, Pb y Cu. Además, es la zona más llana del sector, por lo tanto, es el lugar hacia donde corren las aguas y, por ende, el área donde se acumulan aquellos sedimentos arrastrados durante los procesos erosivos. Asociados entonces a estos sedimentos arrastrados vamos a encontrar los elementos mencionados con anterioridad, pues son aquellos que cuentan con una mayor movilidad geoquímica.

La parte Este del sector tiene los contenidos más elevados de elementos tales como Zn, Ni y Co; lo cual está relacionado con la presencia en esta zona de la mayor elevación del sector, por lo tanto, coincide con el área de menos desarrollo de suelo a partir de la acumulación de arrastre de sedimentos, desarrollándose entonces suelo directamente encima de la roca preexistente. Al desarrollo de este tipo de suelo y la menor movilidad geoquímica de estos elementos debemos entonces que sea esta parte del sector la enriquecida en estos elementos.

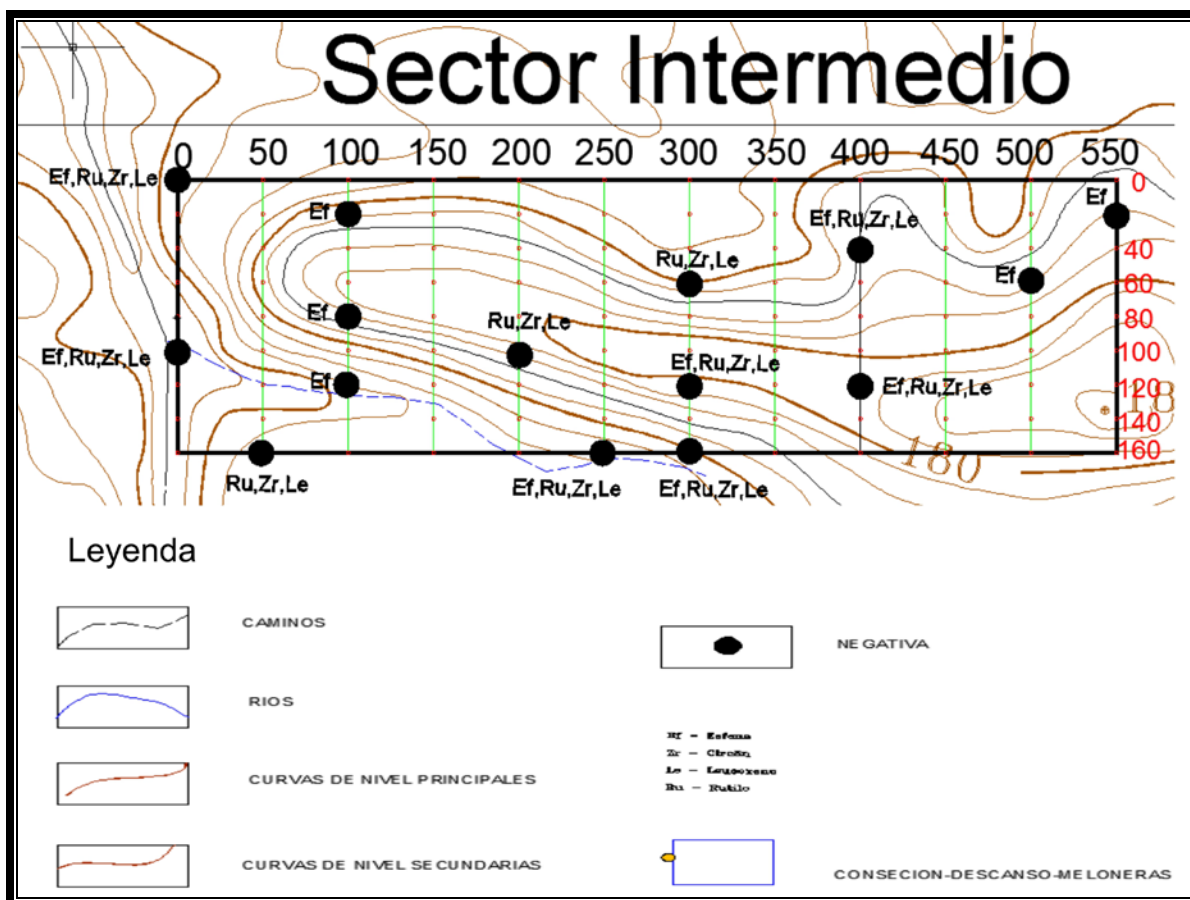


Figura 17. Esquema de resultados del método de Jagua

En el presente esquema tenemos la representación de los elementos químicos encontrados en los puntos donde se tomaron las muestras en depósitos aluviales (jagua natural) y en depósitos eluviales-deluviales (jagua natural de laderas), Como podemos observar, estos puntos negros significan que no se encontraron contenidos de oro, por lo tanto, el método arrojó un resultado negativo para la mineralización aurífera, pero demostró la presencia de minerales pesados circón, esfena, leucoxeno y rutilo.

CONCLUSIONES

- ❖ Según el análisis estadístico la mayoría de los elementos se rigen por una distribución normal a excepción del Au, el As y la Ag, lo cual dificulta la posible modelación y la obtención de sus fondos geoquímicos.
- ❖ Se determinó la existencia de un flujo de dispersión, caracterizado por la aparición de minerales como zircón, rutilo y esfena, entre otros; los cuales parecen estar asociados al proceso hidrotermal que origina la mineralización aurífera en toda la región.
- ❖ Fue establecida una aureola secundaria de la mineralización aurífera en la porción suroccidental del sector Intermedio, pues en esta zona se localizan las anomalías de mayores dimensiones y con los valores más elevados para elementos tales como: Au, As, Pb y Cu.
- ❖ Las anomalías de los elementos Ni y Co no contribuyen a la ubicación de aureolas secundarias de la mineralización aurífera; ya que las mismas están relacionadas con el desarrollo de suelo a partir de las rocas encajantes a los cuerpos minerales.

RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la bondad del ajuste a otra distribución.
- ❖ Se recomienda combinar la información geoquímica obtenida de los mapas de anomalías de Au, la información geofísica, la información geológica para seleccionar las posibles zonas con mayor perspectiva en el sector.
- ❖ Se recomienda comprobar mediante métodos técnicos como trincheras la existencia real de las aureolas primarias (zonas minerales).

BIBLIOGRAFÍA

- Burga Dávila, J. (2011). Diccionario Geológico. G. Art- Altuna, Geotechnical and Instrumentación. Perú: 901.
- Castroviejo, R. "El Oro en Ofiolitas ": 69.
- Central Cuba: Preliminary Results " MINERAL RESOURCES IN A SUSTAINABLE WORLD • 13th SGA Biennial Meeting 2015 1: 59.
- Costrafeda Mustelier, J. L. (2016). "Características Generales del Campo Mineral de Aguas Claras." IX Jornada Científico-Técnico de la Sociedad Cubana de Geología. Filial Holguín.: 12.
- CSRM.But (2005). "Modelos de Exploración y Procesos, Dispersión Geoquímica." CRC LEME, CSIRO Exploration an Mining, P. O, Box 1130, Bentley, WA 6102.: 26.
- Díaz Martínez, R., Lastra Rivero J. F. (2008). Geoquímica aplicada: introducción a los métodos geoquímicos de prospección. P. 1-17. Editorial Universtaria.
- Díaz Martínez, R. (2010). "La pequeña minería del oro en Cuba: historia, metalogenia y perspectiva." Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 62, núm. 1, 2010, p. 187-198: 187-198.
- Díaz Martínez, R., Fernández Joaquín, P. (2005). "Metalogenia asociada a las ofiolitas y el arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba " Minería y Geología 21 No 1: 40.
- Emmons, W. (1917). "El enriquecimiento de los yacimientos." Servicio Geológico de UU.EE, Departamento del Interior. 625: 537.
- Enghag, P. (2005). Enciclopedia de los Elementos Químicos.
- Franklin, M. "Litogeoquímica y métodos mineralógicos para metales bases y exploración de oro." Servicio Geológico de Canadá, Ottawa, Ontario.: 18.
- Smirnov, V. I. (1982) "Geología de yacimientos de minerales sólidos". Editorial mir Moscú p. 332-357.
- Hernández Acosta, I.; Delgado Ortega, A.; Salgado Machín, I.; Castellanos Suárez, J (2008). "estudio de patentes y tendencia en Minerales auríferos " XI Congreso Cubano de Geología Taller Prospección, Explotación y Procesamiento de Oro 15.

- Iturralde- Vinent, M. A., et al. (2009). Geología de Cuba para todos. La Habana, Editorial Científico-Técnica
- Iturralde-Vinent, M. A. (1998). "Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba " Acta Geológica Hispánica 33: 56.
- Laznicka, P. (2006, 2010). Los Depósitos Metálicos gigantes. Las Fuentes futuras de Metales Industriales. Springer-Verlag Berlín Heidelberg.
- Muico Carranza, E. J. (1962). Anomalías Geoquímicas y Mapeo de Prospectividad Geoquímica en SIG, (Libro de Mano de Exploración y Geoquímica Ambiental).
- Mari Mut, J. A. (1998-2003). "Manual de Redacción Científica." Ediciones digitales.info: 110.
- MINEM (1978). "Norma Cubana 92-02 Control Geológico de la Calidad de las Resultados Analíticos." 23.
- MINEM (1981). "NRIB-348-1981 Control externo del laboratorio para el área de geología."
- MINEM (1985). "NRIB-269-85 Control Interno de la reproducibilidad de los análisis básicos cuantitativos para materia prima mineral, área de geología."
- Moon Charles J., Whateley Michael, K. G. and Anthony Evans, M. (2006). Introducción a la exploración mineral, Blackwell
- Núñez Elías, D. (2017). Estudio comparativo de la efectividad del Kriging Puntual e Inverso de una Potencia de la Distancia, en la estimación 3D de Ni, Fe, Co. Bloque O48, yacimiento Punta Gorda. ISMM: 82.
- Vladimirovich Lepin, O., Ariosa Iznaga, J. D. (1987). "Búsqueda, Exploración y evaluación Geológico-Económica de Yacimientos Minerales Sólidos." Pueblo y Educación calle 3ra. A No 4605. entre 46 y 60. playa. Ciudad de La Habana 1986: 191.
- Robert, F. Poulsen, KH. and Dubé, B. Gold Deposit and Their Geological Clasificación Servicio Geológico de Canadá.
- Diaz Martínez, R. (2010). "La Pequeña Minería de Oro en Cuba: historia, metalogenia y perspectiva." Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 62(1): 187-198.

- Rodríguez García, D; Villanova-de-Benavent, C; Butjosa, L; Aiglsperger, T.; Carles Melgarejo, J; Departamento de Cristalografía, Mineralogía i Dipòsitos Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain., et al. "Au Mineralisation in "Listvenites" from Mina Descanso,
- Rodríguez Vega, A., Diaz, Martinez, R (2001). La mineralización aurífera en Cuba: clasificación y rasgos Geológico-Geoquímicos de la prospección." Revista Minería y Geología Vol. XVIII, No. 1 2001: 22.
- 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.
- Sampol, M., Pérez, R., Díaz, R., Carrera L y Boggio W. (2011). "caracterización mineralógica y morfológica de minerales pesados de los sedimentos del río paragua, estado bolívar. " geociencias. sociedad cubana de geología, habana, 2011.: 11.
- Suárez Rojas, A. (1), Capote Morrero, C. (2001). "Nuevos sectores favorables para la prospección de oro en la zona cascorro, camagüey." iv congreso de geología y minería.
- Rivero, J. (1998). Características metalogénicas del complejo ofiolítico de Cuba Central. Memorias del III Congreso de Geología y Minería, La Habana, 611-613.

ANEXOS



Anexo 1. Bolsas de polipropileno, nylon, Picos y palas



Anexo 2. GPS y Bateas de madera



Anexo 3. Tamices, Cubeta de 20litros y Lupas



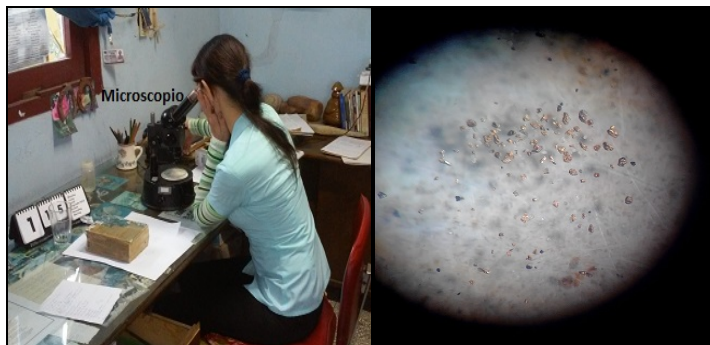
Anexo 4. Toma de muestras de suelo



Anexo 5. Muestreo en recodos, orillas, lenguas de tierra



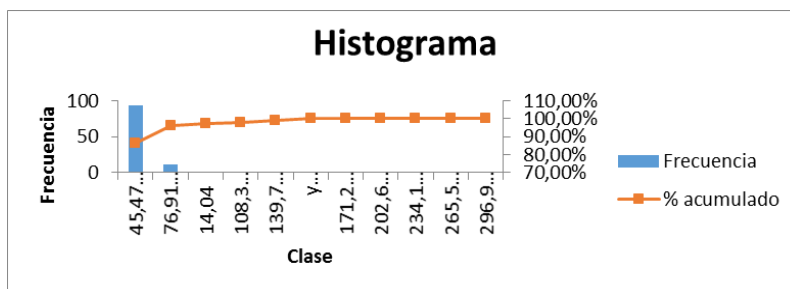
Anexo 6. Lavado del material geológico (sedimentos y suelos)



Anexo 7. Mineralogista realizando el análisis mineralógico óptico



Anexo 8. Muestras lavadas, jagua con presencia de minerales densos



Anexo 9. Histograma de del As

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,272	0.27>0.12
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	negativo

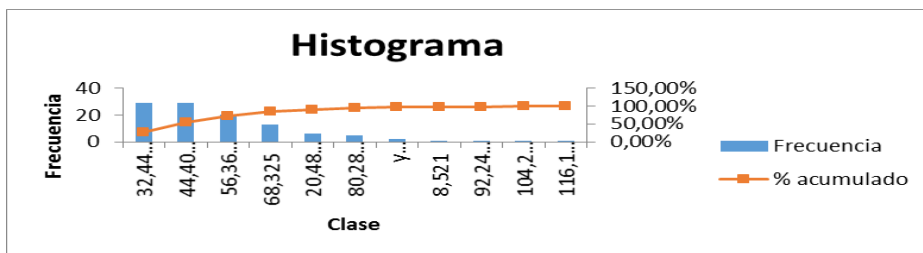
Anexo 10. Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el As

Distribución log-normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,104	0.10<0.12
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	positivo

Anexo 11. Distribución log-normal del As

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
14,04	1	0,93%	45,4779	93	86,11%
45,4779	93	87,04%	76,9158	11	96,30%
76,9158	11	97,22%	14,04	1	97,22%
108,3537	1	98,15%	108,3537	1	98,15%
139,7916	1	99,07%	139,7916	1	99,07%
171,2295	0	99,07%	y mayor...	1	100,00%
202,6674	0	99,07%	171,2295	0	100,00%
234,1053	0	99,07%	202,6674	0	100,00%
265,5432	0	99,07%	234,1053	0	100,00%
296,9811	0	99,07%	265,5432	0	100,00%
y mayor...	1	100,00%	296,9811	0	100,00%

Anexo 12. Histograma acumulativo del As



Anexo 13. Histograma del Cu

Distribución Normal				
	Incremento	Umbral de Anomalías Geoquímicas		
μ	σ	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu+3\sigma$
43,5	20,25	63,75	84	104,25

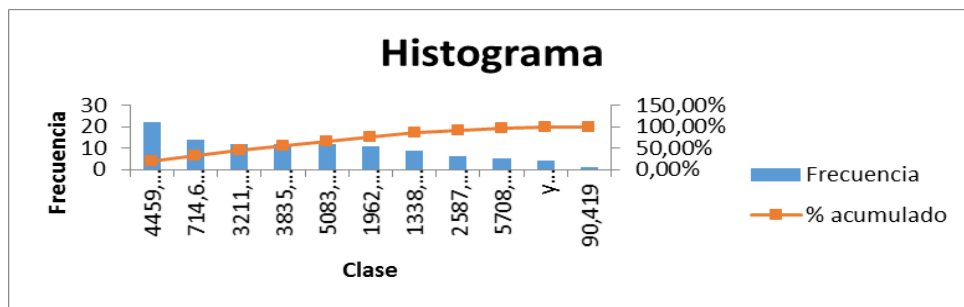
Anexo 14. Método basado en los valores de la "Media y la desviación estándar

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,128	0.128<0.129
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	positivo

Anexo 15. Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Cu

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
8,521	1	0,93%	32,4426	29	26,85%
20,4818	6	6,48%	44,4034	29	53,70%
32,4426	29	33,33%	56,3642	20	72,22%
44,4034	29	60,19%	68,325	13	84,26%
56,3642	20	78,70%	20,4818	6	89,81%
68,325	13	90,74%	80,2858	5	94,44%
80,2858	5	95,37%	y mayor...	2	96,30%
92,2466	1	96,30%	8,521	1	97,22%
104,2074	1	97,22%	92,2466	1	98,15%
116,1682	1	98,15%	104,2074	1	99,07%
y mayor...	2	100,00%	116,1682	1	100,00%

Anexo 16. Histograma acumulativo del Cu



Anexo 17. Histograma del Ni

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,124	0.124<0.129
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	positivo

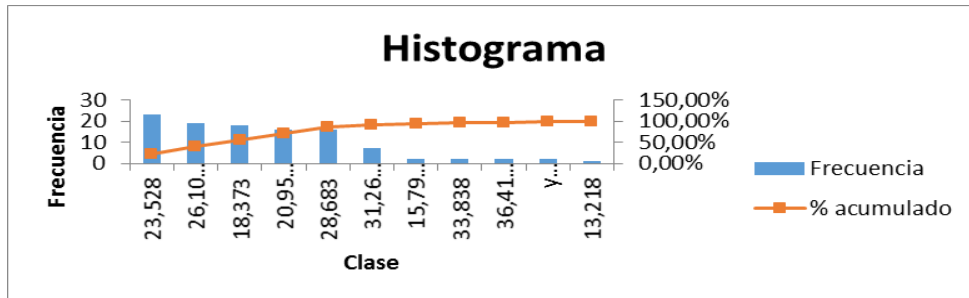
Anexo 18. Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Ni

Distribución Normal				
	Incremento	Umbral de Anomalías Geoquímicas		
μ	σ	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu+3\sigma$
2973,75	1676,24	4649,99	6326,23	8002,47

Anexo 19. Método basado en los valores de la Media y la desviación estándar

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
90,419	1	0,93%	4459,7294	22	20,37%
714,6062	14	13,89%	714,6062	14	33,33%
1338,7934	9	22,22%	3211,355	12	44,44%
1962,9806	11	32,41%	3835,5422	12	55,56%
2587,1678	6	37,96%	5083,9166	12	66,67%
3211,355	12	49,07%	1962,9806	11	76,85%
3835,5422	12	60,19%	1338,7934	9	85,19%
4459,7294	22	80,56%	2587,1678	6	90,74%
5083,9166	12	91,67%	5708,1038	5	95,37%
5708,1038	5	96,30%	y mayor...	4	99,07%
y mayor...	4	100,00%	90,419	1	100,00%

Anexo 20. Histograma acumulativo del Ni



Anexo 21. Histograma del Pb

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,052	0.052 < 0.129
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	positivo

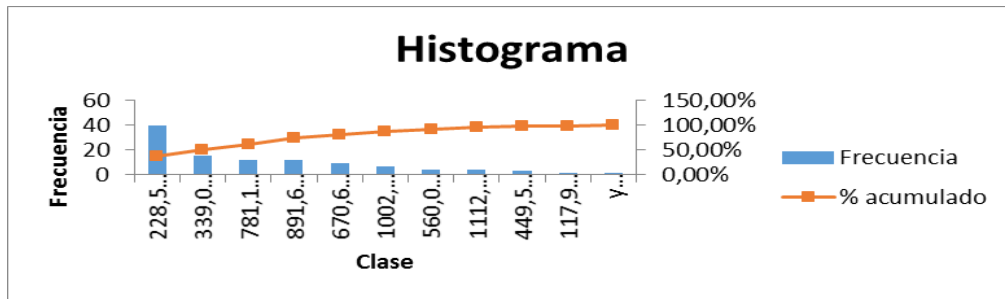
Anexo 22. Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Pb

Distribución Normal				
	Incremento	Umbral de Anomalías Geoquímicas		
μ	σ	$\mu + \sigma$	$\mu + 2\sigma$	$\mu + 3\sigma$
23,13	5	28,13	33,13	38,13

Anexo 23. Método basado en los valores de la "Media y la desviación estándar

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
13,218	1	0,93%	23,528	23	21,30%
15,7955	2	2,78%	26,1055	19	38,89%
18,373	18	19,44%	18,373	18	55,56%
20,9505	16	34,26%	20,9505	16	70,37%
23,528	23	55,56%	28,683	16	85,19%
26,1055	19	73,15%	31,2605	7	91,67%
28,683	16	87,96%	15,7955	2	93,52%
31,2605	7	94,44%	33,838	2	95,37%
33,838	2	96,30%	36,4155	2	97,22%
36,4155	2	98,15%	y mayor...	2	99,07%
y mayor...	2	100,00%	13,218	1	100,00%

Anexo 24. Histograma acumulativo del Pb



Anexo 25. Histograma de Wo

Distribución Normal				
	Incremento	Umbral de Anomalías Geoquímicas		
μ	σ	$\mu + \sigma$	$\mu + 2\sigma$	$\mu + 3\sigma$
472,9	312,64	785,54	1098,18	1410,82

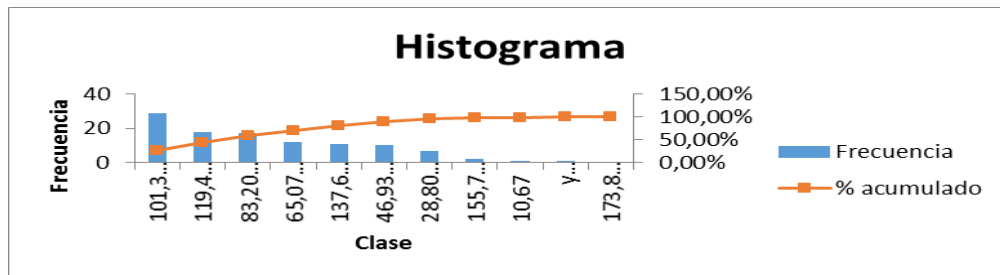
Anexo 26. Método basado en los valores de la "Media y la desviación estándar

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,206	0.206 < 0.129
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	positivo

Anexo 27. Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Wo

Histograma acumulativo					
Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
117,995	1	0,93%	228,5212	40	37,04%
228,5212	40	37,96%	339,0474	15	50,93%
339,0474	15	51,85%	781,1522	12	62,04%
449,5736	3	54,63%	891,6784	12	73,15%
560,0998	4	58,33%	670,626	9	81,48%
670,626	9	66,67%	1002,2046	7	87,96%
781,1522	12	77,78%	560,0998	4	91,67%
891,6784	12	88,89%	1112,7308	4	95,37%
1002,2046	7	95,37%	449,5736	3	98,15%
1112,7308	4	99,07%	117,995	1	99,07%
y mayor...	1	100,00%	y mayor...	1	100,00%

Anexo 28. Histograma acumulativo del Wo



Anexo 29. Histograma del Zn

Distribución normal		
Kolmogorov-Smirnov stat	0,086	0.086 < 0.129
Critical K-S stat, alpha=.05	0,129	positivo

Anexo 30. Resultados de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el Zn

Distribución Normal				
	Incremento	Umbral de Anomalías Geoquímicas		
μ	σ	$\mu + \sigma$	$\mu + 2\sigma$	$\mu + 3\sigma$
83,51	32,75	116,26	149,01	181,76

Anexo 31. Método basado en los valores de la Media y la desviación estándar

Histograma acumulativo					
<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>	<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
10,67	1	0,93%	101,3385	29	26,85%
28,8037	7	7,41%	119,4722	18	43,52%
46,9374	10	16,67%	83,2048	17	59,26%
65,0711	12	27,78%	65,0711	12	70,37%
83,2048	17	43,52%	137,6059	11	80,56%
101,3385	29	70,37%	46,9374	10	89,81%
119,4722	18	87,04%	28,8037	7	96,30%
137,6059	11	97,22%	155,7396	2	98,15%
155,7396	2	99,07%	10,67	1	99,07%
173,8733	0	99,07%	y mayor...	1	100,00%
y mayor...	1	100,00%	173,8733	0	100,00%

Anexo 32. Histograma acumulativo del Zn