

## ENSAYOS DE PROSPECCION GEOQUIMICA PARA ORO EN EL DISTRITO DE EL CALLAO, VENEZUELA

A. P. NASON  
A. QUESADA\*  
V. M. LOPEZ\*  
W. H. DENNEN\*\*  
J. ROTH\*\*

### INTRODUCCION

El Ministerio de Minas e Hidrocarburos y la Corporación Venezolana de Fomento, recientemente han efectuado un estudio de prospección por varios métodos en el Distrito Aurífero de El Callao, para la detección de subafloramientos de vetas de cuarzo aurífero. El trabajo de campo fue realizado por "Geoscience Inc.", de Cambridge, Mass., durante el período de julio a noviembre de 1966.

El estudio de prospección consistió en investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas.

El objeto del presente trabajo es el de esbozar de una manera sucinta los métodos geoquímicos empleados y bosquejar los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio, recomendando aquellas técnicas geoquímicas que rindieron mejor resul-

tado y que pueden convenir a las exploraciones futuras.

### BOSQUEJO DE LA GEOLOGIA DEL DISTRITO EL CALLAO

El Distrito Aurífero de El Callao se encuentra ubicado en el Escudo de la Guayana Venezolana, en una latitud 7° 21' norte y una longitud 61° 50' oeste.

Un grupo de rocas volcánicas Precámbricas constituidas por flujos y mantos denominados Formación El Callao, y sedimentos tobáceos de la misma edad que constituyen la Formación Caballape, forman las principales unidades de rocas expuestas en esta zona. Estas rocas se encuentran fuertemente plegadas y ligeramente metamorfizadas.

La fisiografía del área se encuentra dominada por el tipo de roca ex-

puesta. Al oeste del río Yuruari, donde afloran las formaciones de carácter volcánico, la topografía es de cerillos, ondulantes, bajos y cubiertos por una vegetación densa. Al norte y este del río donde afloran las tobas de la Formación Caballape, la topografía es llana de sabana, de muy escaso relieve.

La geología ha sido descrita recientemente por Korol (1961), y actualmente el Ministerio de Minas e Hidrocarburos está llevando a cabo un estudio detallado, bajo la dirección del doctor Menéndez.

El informe de Playter (1941) reconoce estructuralmente para esta región tres direcciones principales de esfuerzos que han dado origen a las estructuras. Estos esfuerzos se encuentran representados por las estructuras que produjeron así zonas de cizallamiento con dirección ONO y NE, y fracturas de carácter tensional con rumbos N o NNE. Este autor sostiene que las vetas mineralizadas se encuentran localizadas en estos sistemas de estructuras, siendo más intensa la mineralización en las intersecciones de éstas.

El desarrollo de las vetas de mayor potencia se evidencia en las rocas volcánicas de la Formación El Callao, donde aparentemente este tipo de fracturas se encuentra ligado a la gran competencia de estas rocas, que ha permitido su desarrollo más intenso.

La mayoría de las vetas auríferas de cuarzo se encuentra en las zonas de cizallamiento, que por lo general tienen un rumbo paralelo a los pliegues estructurales de los pliegues regionales, con buzamientos, que varían según la estructura en donde ocurren, alejándose de los diques de

gabro en los anticlinales, y acercándose a ellos en los sinclinales.

Las vetas de cuarzo aurífero se presentan en tres formas diferentes según el tipo de esfuerzo que originó la fractura:

- 1° En forma de cuarzo masivo como vetas bien definidas, con paredes de roca limpia.
- 2° En forma de vetas definidas con pequeñas vetas en las paredes de la roca caja.
- 3° En forma indefinida como vetas irregulares en la misma roca.

Se observan al menos tres episodios en la introducción de las soluciones mineralizadoras que depositaron el cuarzo; todas contenían oro nativo y pirita. El emplazamiento de la mineralización a lo largo de las fracturas ha sido acompañado por una alteración sericitica de las paredes de roca, alteración en su gran parte acompañada de cantidades apreciables de cubos de pirita estéril fuera de la zona sericitica; adyacente a ella se encuentra una zona clorítica.

La meteorización de las rocas del Distrito ha sido intensa. Acompañó a este proceso de meteorización una oxidación en la zona mineralizada de las vetas. Tanto la zona meteorizada de la roca, como la oxidación de las vetas, alcanzan a tener unos cincuenta metros de espesor. La zona meteorizada puede dividirse en dos partes diferentes la una de la otra, de este modo: directamente sobre la roca no meteorizada se encuentra un material muy alterado que todavía presenta vestigios de la textura original de la roca (seudomorfismo), que localmente se le de-

\* Universidad Central de Venezuela.

\*\* Universidad de Kentucky.

nomina como cascajo. A este cascajo se encuentra superpuesta una capa extremadamente alterada, donde la roca ha perdido completamente su composición original y su textura formando un suelo de tipo laterítico.

#### PROPIEDADES GEOQUIMICAS DE LOS ELEMENTOS POTENCIALMENTE INTERESANTES PARA LA PROSPECCION

El oro nativo es un mineral altamente resistente y que sólo puede ser destruido al sufrir una intensa atrición, al ser acarreado junto con otros minerales más duros, o por la formación de cloruros complejos solubles debido a la presencia de cloro y agentes fuertemente oxidantes. Vina-gradov (1959) explica que "el oro se oxida en la presencia de  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{++}$ , óxidos de nitrógeno y otros elementos, convirtiéndose en material soluble". Estas condiciones existen en la zona de El Callao, donde cloruros y abundante óxido de manganeso se encuentran en la zona de oxidación.

Se observa que ha habido una migración de oro al presentarse un enriquecimiento en los niveles superiores de algunas de las minas; sin embargo, la presencia de buenos tenores de oro en los frentes de trabajo en los niveles inferiores indica que este proceso de solución y enriquecimiento es limitado a profundidad.

La rápida descomposición de los sulfuros que contienen oro, mediante el proceso de oxidación, al disolverse el oro lo libera de las inclusiones en que ocurre este elemento en los minerales que lo contienen. Parte de este oro liberado, junto con el oro que se encuentra en la ganga cuar-cífera, es disuelto y reconcentrado a mayor profundidad, originando la zona de enriquecimiento, quedando **in situ** la parte que no se disuelva

en la zona de oxidación. El movimiento del suelo y otros procesos de traslación tienden a dispersar el oro residual que queda **in situ** en forma de aureola o halo en la vecindad de las vetas; por lo tanto, este material residual que queda sobre las vetas en forma de subafloramiento, está enriquecido en oro por el proceso de oxidación y puede ser detectado por procedimientos geoquímicos.

El oro en El Callao se presenta en forma de aleación con plata en un 10 por ciento. Bajo los procesos de meteorización y de oxidación esta aleación puede persistir, o la plata puede entrar en solución y formar cloruros insolubles. Trazas de plata pueden encontrarse también en la roca madre, pero el enriquecimiento de la plata debido a su liberación de las vetas auríferas puede ser detectado y distinguido como tal.

Algunos metales básicos en pequeñas cantidades pueden encontrarse en la piritita, asociada con las vetas auríferas en forma de ganga, o también pueden presentarse en las rocas que forman las paredes de las vetas.

Pueden encontrarse pequeñas cantidades de los siguientes minerales: esfalerita, calcopirita, galena, etc., en la mineralización, y los elementos metálicos de estos minerales, tales como zinc, cobre, plomo, derivados de su oxidación, pueden encontrarse dispersos en el perfil de la masa de material producido por la meteorización. La oxidación de piritita ( $FeS_2$ ) en presencia del agua produce ácido sulfúrico y sulfatos férricos solubles que actúan sobre los sulfuros de zinc y cobre para producir sulfatos solubles de dichos metales.

Los sulfuros de plomo son más difíciles de ser atacados, pero can-

tidades suficientes de sulfatos solubles de este elemento se forman en la presencia de  $H_2SO_4$  y  $Fe_2(SO_4)_3$ .

#### METODOS DE PROSPECCION GEOQUIMICOS UTILIZADOS

Toda prospección geoquímica debe tomar en consideración las dimensiones, la geometría y el tenor económico del yacimiento que se va a estudiar, así como también la naturaleza de los elementos presentes y los posibles movimientos de migración de estos elementos bajo procesos geológicos superficiales.

Es posible que la presencia de los elementos, objeto de estudio, pueda ser directamente comprobada, o que en circunstancias especiales los elementos asociados a ellos puedan ser utilizados como guía indirecta, para comprobar su existencia. De cualquier manera los elementos, o aquellas partículas de mineral liberado de las concentraciones originales, entran a formar parte del medio meteorizado, donde su procedencia puede ser comprobada por métodos químicos sensibles. Algunos de los elementos se mueven rápidamente en las aguas del subsuelo en forma de iones o soluciones complejas; otros forman parte de minerales que resisten a este tipo de cambio, y otros, al ser liberados, reaccionan en forma rápida para formar sólidos secundarios, o para ser absorbidos por partículas del suelo inmediato a su transferencia. De este modo, permanecen en las cercanías de su origen.

El lugar de procedencia de los elementos metálicos o minerales puede ser localizado a distancia, examinando los limos de las quebradas o de los suelos, al pie de los bancos en sus orillas, o muestreando los suelos

y vegetación que cubren al área mineralizada. La prospección en gran escala, por lo general, toma ventaja de esta dispersión sufrida por la mineralización, por los procesos mencionados, muestreando las quebradas y sus bancos, siguiendo las anomalías aguas arriba y, finalmente, concentrándose al muestreo de los suelos que forman los flancos de los cerros, que limitan los cauces de las quebradas.

En El Callao, la distribución superficial de muchas de las vetas es conocida. Es interesante hacer notar que los descubrimientos originales, como ha sucedido en otros distritos, fueron efectuados al seguir paso a paso, aguas arriba, la presencia de oro en las quebradas.

El problema particular que se confronta en El Callao es el de desarrollar técnicas que puedan revelar la existencia de nuevas estructuras mineralizadas bajo la fuerte capa de roca meteorizada que las cubre.

El rumbo general, el espesor y el tenor de las vetas auríferas de este distrito han sido revelados por los extensivos trabajos mineros que se han efectuado en la región; de manera que la extensión requerida de una veta para su explotación económica puede ser calculada de estos datos. Vetas con un espesor medio de 1 + metros, de tenor medio de 12 + gramos por T/M, y de 200 metros en profundidad, deben contener por lo menos 100.000 T/M de mineral explotable, de donde se deduce que la extensión mínima para que una veta de las dimensiones mencionadas sea de interés, debe tener por lo menos unos 500 metros de longitud.

La extensión del halo de dispersión de los elementos sobre los subaflora-

mientos puede estimarse aproximadamente si se asume que se extiende la misma distancia en que se encuentran fragmentos de cuarzo aurífero derivados de la veta. Estos halos de material desprendidos del afloramiento de la veta se encuentran a veces hasta 50 metros a ambos lados de la estructura. Es de presumirse entonces de que el halo de dispersión alcance esa misma distancia.

De estas observaciones se desprende que un sistema de muestreo del suelo capaz de detectar acumulación aurífera de alguna significación, debe efectuarse a lo largo de una serie de líneas, perpendiculares al rumbo regional de la veta, y estar espaciados a una distancia no mayor de 500 metros. Las muestras tomadas a lo largo de estas líneas no deben estar a más de 100 metros una de otra, o mejor aún, a 50 metros o con preferencia a 25 metros.

Utilizando este sistema de distribución de las muestras, es muy improbable que se deje de notar la presencia de mineralización aurífera de alguna significancia y posiblemente ayudaría también a descubrir áreas mineralizadas de valores subeconómicos.

La evaluación de los resultados obtenidos en la prospección geoquímica requiere que las dimensiones de cada anomalía dada por una muestra sean determinadas dentro de la interpolación de la red de muestreo del suelo. Si la anomalía es de importancia, se justifica hacer otras investigaciones usando otros métodos tales como: análisis para detectar plata, métodos geofísicos, excavación de trincheras o taladros de poca profundidad que permitirían ubicar la estructura con precisión.

En las exploraciones de reconocimiento en áreas donde el rumbo de las vetas es desconocido, es necesario que las redes de muestreo se hagan con la mayor densidad posible.

Una red de tipo rectangular o hexagonal con muestras tomadas con una frecuencia de 100 metros, probablemente podría ser utilizada con ventaja.

#### TECNICAS ANALITICAS

Ciertos métodos analíticos son utilizados en geoquímica con preferencia a otros, debido a su alto grado de sensibilidad, o porque presenten costos más bajos por determinación, o por la posibilidad de poder manejar con estos procesos mayor cantidad de muestras en corto tiempo. Estos métodos preferenciales pueden separarse en dos categorías:

- 1º Procedimientos químicos colorimétricos: donde el color tomado por la reacción química indica la presencia y cantidad del elemento buscado.
- 2º Procedimientos físicos: donde es examinado el espectro de energía del elemento excitado.

Este último procedimiento es realizado por medio de espectrógrafos de emisión, espectrógrafos de absorción atómica, activación neutrónica, o cualquier otro método similar. El que menos se utiliza hoy día, pero que es el único que todavía se usa en El Callao, es el de ensayo por vía seca al fuego. La sensibilidad de estos métodos es, por lo general, más baja que el valor del "Clarke" local, de manera que hay que recurrir a procesos químicos y físicos más sensibles para determinar la presencia de elementos en cantidades muy pe-

queñas, pero que sirven de guía para analizar zonas de mineralización.

Los diferentes métodos utilizados en el Distrito de El Callao, durante el

proceso de prospección, objeto de este estudio, se dan en el Cuadro Nº 1, y se describen someramente en los párrafos siguientes.

Cuadro Nº 1

#### MÉTODOS GEOQUÍMICOS Y ANALÍTICOS UTILIZADOS EN LA PROSPECCION DE EL CALLAO

Método	Elementos buscados	Analista	Beneficiación empleada	Exito
Absorción atómica	Au	USGS, Denver	QUIMICA	SI
Absorción atómica	Au	JACO, WALTHAM	NINGUNA	PARCIAL
Activación de neutrones	Au	M.I.T. REACTOR	NINGUNA	SI
Colorimetría	Au	USGS, Denver	QUIMICA	NO
				Interferencia de Fe
Colorimetría	Cu, Pb, Zn	GEOSCIENCE	NINGUNA	PARCIAL
Espectrógrafo de emisión	Ag	CSL MIT	NINGUNA	SI
Ensayo de fuego	Au	M. M. H.	BATEA	SI

Los métodos de **absorción atómica** y de **análisis colorimétrico** son los utilizados por H. W. Lakin en los Laboratorios del Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S.), en Denver, Colorado, empleándose el proceso de preconcentración de las muestras (Lakin y Nakagowa, 1963). En este proceso de preconcentración, una muestra de dos gramos se incinera y se digiere en una mezcla de ácido de hidrobromico y bromato de sodio de un día para otro, después de lo cual el exceso de bromo se extrae hirviendo la mezcla hasta que la solución de ácido hidrobromico es reducida a la mitad de su volumen original. El oro de esta solución es extraído añadiendo metyl-isobutyl-ketone; el ketone se lava en una solución 0,1 normal de ácido hidrobromico para remover el bromuro férrico. El oro se determina por medio de un procedimiento colorimétrico, o por medio del espectrógrafo de absorción.

En la investigación llevada a cabo en El Callao, se consideró que el método colorimétrico no podía ser aplicable debido al alto contenido de hierro en las muestras de los suelos lateríticos, ya que sería necesario hacer múltiples lavados con ácido hidrobromico 1,5 normal para remover el bromuro férrico formado durante el proceso, lavados que producirían una pérdida de oro.

Utilizando el método de absorción atómica, concentraciones de 0.3 ppm fueron determinadas en muestras preconcentradas, usando un instrumento Perkin Elmer 303.

Los Laboratorios de Jarrel-Ash Co. (Waltham, Massachusetts, E.U.) no tuvieron éxito en determinar la línea base de oro en las muestras no concentradas, pero pudieron medir altos valores anómalos de oro de aproximadamente 2 ppm utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica.

El análisis para el método de activación neutrónica fue llevado a cabo por el profesor N. Rassmussen, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), utilizando el método que se explica a continuación, el cual es capaz de detectar oro en muestras no concentradas a niveles de la línea base.

En el proceso de **activación neutrónica**, muestras debidamente pesadas de 10 gramos, aproximadamente, se colocaron en cápsulas de aluminio herméticamente cerradas y se sometieron a un proceso de irradiación en el reactor de M.I.T., bajo un flujo de  $1.8 \times 10^{13}$  neutrones/cm<sup>2</sup>, por un período de tiempo de cien horas consecutivas. El material irradiado se dejó enfriar durante seis días para

reducir la intensidad de interferencia de isótopos de corta vida radiactiva presentes. El espectro de rayos X de la muestra fue determinado utilizando un detector de "Lithium drifted germanium", de un volumen activo de 30 cm<sup>3</sup>. El vértice correspondiente al oro en el gráfico obtenido en este aparato se comparó con el vértice de parte de la misma muestra, a la cual se le añadió 2 mg de oro en forma de una hojilla delgada, habiendo sido esta hojilla activada en la misma muestra, de manera que recibió el mismo flujo neutrónico, y obteniendo así la misma tasa de desintegración para el oro.

El esquema de proceso utilizado en el espectrómetro de rayos X para la determinación cuantitativa fue el siguiente:

#### PROCESO

Detector	Preamplificador	Amplificador Lineal	Analizador de 1.024 canales	Registrador gráfico
----------	-----------------	------------------------	--------------------------------	------------------------

#### INSTRUMENTACION

Hecho en MIT	ORTEC	ORTEC Modelo 410	NUCLEAR DATA Modelo 181	HOUSTON OMNIGRAPHIC.
--------------	-------	---------------------	----------------------------	-------------------------

#### ANALISIS COLORIMETRICO

El método descrito por Bloom y Ward (1963) para el análisis en frío de metales pesados combinados (cobre, plomo y zinc), fue el utilizado en los trabajos de campo de El Callao.

Este proceso dio resultados positivos en las muestras originales, pero

los datos recogidos no se pudieron correlacionar en las áreas mineralizadas conocidas en el distrito. En esta prueba, una solución acuosa de citrato de amonio se utilizó para extraer los metales pesados de la muestra, y una solución de difeniltiocarbozone (ditiozone) se utilizó para estimar la concentración de los iones de estos elementos.

#### ESPECTROGRAFIA

Un espectrógrafo de emisión se utilizó en el Laboratorio Cabot de M. I. T., para detectar la presencia de plata de las muestras tomadas en la línea E-6. Este elemento fue reconocido en las muestras originales a niveles de la línea base, aproximadamente 1 ppm. La técnica usada fue la siguiente: la muestra secada y cernida fue firmemente empacada en electrodos de grafito espectrográficamente puro de 180" O D, provisto de un cráter de 3 mm de diámetro y 5 mm de profundidad.

La muestra así colocada fue excitada como ánodo en un arco de corriente directa a 6 amperios durante 120 segundos, encontrándose el arco enfocado en el colimador del espectrógrafo. Un sector con apertura de  $4n$ , siendo  $n = 0, 1, 2, 3$  y  $4$ , fue rotado en frente de la ranura espectrográfica.

El espectro fue impreso en una película Kodak SA-1, en la región de longitud de la onda de 2.800<sup>o</sup> a 3.450<sup>o</sup>. El espectrógrafo usado fue un Litrow de 3 m, de prisma de cuarzo-vidrio, manufacturado por Adam, Hilger, de Londres. Las intensidades de las líneas fueron determinadas por un microfotómetro Hilger. La placa se corrigió para la línea base de la misma. La concentración de plata fue determinada refiriéndose a un patrón externo.

#### ENSAYOS POR VIA SECA

Ensayos por vía seca al fuego de muestras preconcentradas (por medio de batea) fueron efectuados en el Laboratorio de las minas de El Perú (Venezuela).

Los métodos utilizados fueron los clásicos de ensayos por vía seca al

fuego, en los cuales se añade plata como colector. Por este proceso analítico, preconcentraciones de aproximadamente 100 veces el volumen original permiten detectar el oro a niveles de línea base.

#### PROSPECCION GEOQUIMICA EN LA QUEBRADA "CHILE"

La exploración geoquímica requiere, no solamente la selección apropiada de un sistema analítico, sino que también requiere la escogencia del material natural (muestras) para las pruebas. Para seleccionar el método y el material más adecuado para la investigación, se llevó a cabo una serie de experimentos con muestras escogidas en un pequeño valle que cruza los afloramientos de la veta de la mina Chile, en las cercanías del pozo principal de la misma. Este pequeño valle o cauce pertenece a una quebrada de carácter intermitente, de pendiente muy inclinada, quebrada que desemboca en el llano aluvial en las cercanías del pueblo.

A lo largo de este cauce se escogieron tres sitios de muestreo y en cada uno de éstos se tomaron muestras diferentes del limo en el cauce de la quebrada, del suelo y de la vegetación. Las muestras se tomaron a unos 250 metros aguas arriba del afloramiento de la veta Chile, otra por debajo del afloramiento y una tercera a 200 metros aguas abajo, respectivamente. Se sabe que la veta en esta localidad, por desmuestres anteriores efectuados por la "New Gold Fields de Venezuela", tiene un tenor medio de aproximadamente ocho gramos/TM de oro, que es un tenor más bajo que el requerido en una exploración económica en esta localidad.

De los limos de la quebrada se tomó un total de diez muestras a lo largo de su cauce, a dos metros de distancia cada una de la estación o sitio de muestreo.

Las muestras del suelo en esta zona se tomaron utilizando un taladro o sonda, con un intervalo de tres metros una de la otra y en una red de seis metros por lado.

En los sitios ubicados aguas abajo, las muestras de suelo incluyeron diez centímetros de la parte superior y diez o veinte de la parte inferior del perfil del suelo. Las muestras de vegetación se obtuvieron de la corteza y hojas de los árboles más corrientes de la flora del lugar, tales como el "Yigüire", y de la grama de "carrizo", existentes sobre la zona de afloramiento de la veta.

El procedimiento utilizado para preparar las muestras de limo y del suelo fue el siguiente: la muestra fue secada, macerada en un mortero de madera y cernida luego en un tamiz de malla nylon con un reticulado de 70 (Mesh). Las muestras individualmente fueron cuarteadas hasta obtener una muestra de aproximadamente 0,5 kilogramos; luego, partes alícuotas de esta cantidad de la muestra fueron distribuidas a los diferentes analistas para su investigación. El material vegetal fue secado y luego finamente cortado y mezclado con un instrumento tipo Waring. El cuadro que se da a continuación da los resultados obtenidos en esta muestra por los diferentes procesos analíticos utilizados.

Cuadro N° 2

RESULTADOS ANALITICOS DE LA QUEBRADA CHILE. CONCENTRACIONES EN ppm.

	Suelo		Limo	Yigüire Hojas	Corteza	Otros	Métodos y analistas
	Tope	Base					
a 250 metros aguas arriba del afloram.	0.0	0.0	0.4	0.14	0.005		(1)
	0.0	0.01	0.3				(2)
Justamente por debajo del afloramiento.	0.0	0.0	0.8	0.007	0.003	0.007	(1)
	0.2	0.1	0.3				(2)
200 m aguas abajo del afloramiento.	1.7	3.0	2.3	0.008	0.003		(1)
	0.8	0.8	1.2 1.6			0.1	(2)

1° Activación de Neutrones. N. Rasmussen, MIT. Reactor, Cambridge, Mass.

2° Absorción Atómica. H. W. Lakin, U. S. Geological Survey, Branch of Exploration Research, Denver, Colorado.

3° Absorción Atómica. Jarrel-Ash Company, Waltham, Mass.

Las marcadas diferencias en sensibilidad para el oro indicadas en el cuadro precedente por los análisis efectuados por activación, en el material inorgánico y en las muestras vegetales, se debe a la mayor línea base para el instrumental utilizado para los limos y suelos, que a la técnica usada para el análisis de las plantas. Los análisis efectuados en los residuos de plantas aparentemente señalan que la vegetación en este distrito no puede utilizarse como indicador de la existencia de oro en el subsuelo.

La acentuada concentración de oro en los limos y suelos de las quebradas en posiciones aluviales sugiere el movimiento de partículas resistentes de oro en la ladera, y por lo tanto es necesario considerar los efectos de la topografía. Las concentraciones de oro en los 10 cm superiores del perfil del suelo parecen ser satisfactorias para el uso exploratorio.

PROCESO DE PRECONCENTRACION POR MEDIO DE LA PREPARACION DE BARRO EN BATEAS (LOAMING)

Los experimentos en la quebrada Chile fueron emprendidos con el objeto de seleccionar el material más adecuado para el muestreo geoquímico, así como también con el objeto de seleccionar el proceso analítico más práctico y más útil que pudiera usarse en trabajos de rutina.

Paralelamente a esta investigación se hicieron estudios para conocer la distribución de oro en los suelos de conocidas vetas auríferas. Para llevar a cabo esta investigación se escogieron en las zonas seleccionadas muestras de tres a cinco kilos, a intervalos de cincuenta metros de distancia cada muestra, a lo largo de líneas per-

pendiculares al rumbo de la veta conocida.

Estas muestras fueron mezcladas con agua en una batea para formar un barro liviano. Los muy finos se decantaron y el material grueso remanente compuesto de gravas y arenas fue pasado por un tamiz de 0,86 mm de abertura.

El material muy grueso fue rechazado y el material fino se pasó a una batea, donde se procedió a concentrarlo en la manera convencional hasta que quedaron unos 20-40 gramos concentrados.

El contenido de oro de este concentrado fue determinado analíticamente por el método de vía seca y el contenido de oro de la muestra original calculado; el resultado fue dibujado en la forma gráfica indicada en los figuras 1, 2, 3 y 4.

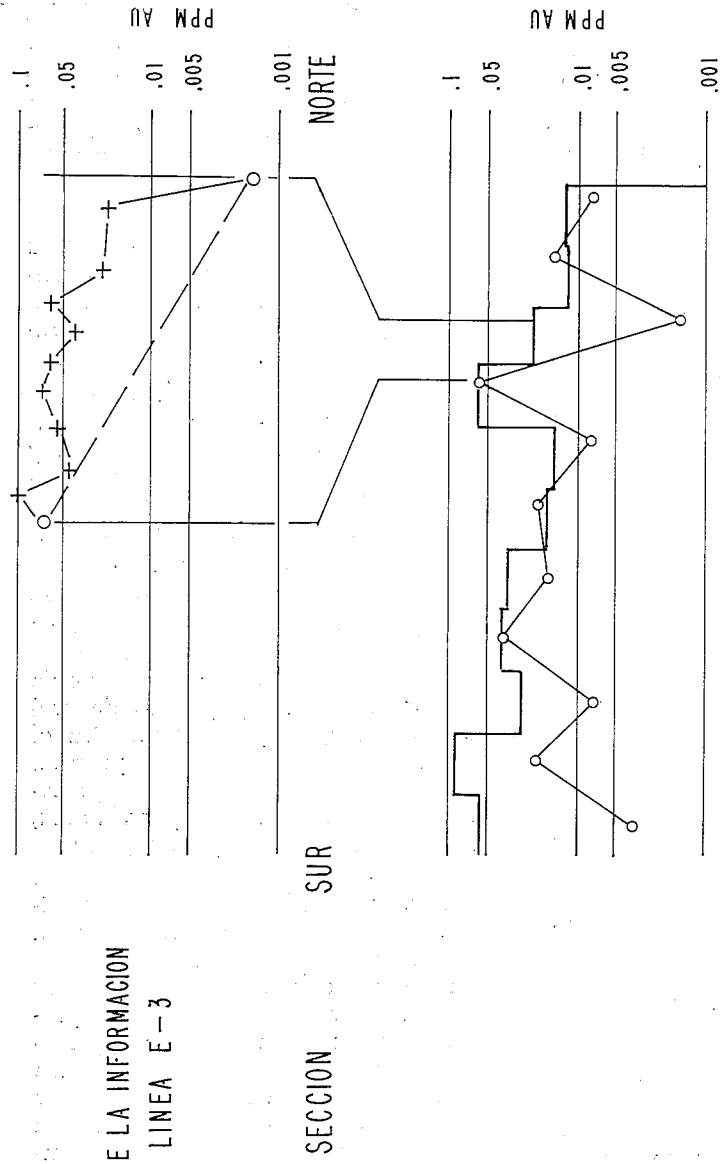
Este procedimiento es muy semejante al utilizado en las áreas áridas del sur de Africa y en Australia. La diferencia consiste en que en vez de contar el "color" (pajuelitas de oro) en la batea, se pesa la muestra al comenzar y al terminar el proceso. El concentrado se analiza por procedimientos de laboratorio por vía seca, haciendo así, de este proceso, un proceso cuantitativo.

Para evaluar el efecto de variabilidad local, se tomaron muestras en una de las líneas de muestreo a dos metros de distancia de la muestra original y se analizaron. Este procedimiento suaviza los datos generales obtenidos de los análisis de las muestras tomadas a cincuenta metros de intervalo, pero no afecta la forma o posición de la anomalía. Un ejemplo de este tipo de correlación se indica en la figura N° 1.

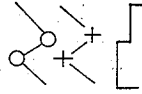
Ocasionalmente, durante el muestreo se hallaron valores irregulares

FIGURA 1

CONSISTENCIA DE LA INFORMACION  
DE ORO EN LA LINEA E-3



LEYENDA



MUESTREO REGULAR CON ESTACIONES A 50 M. C/U

ESPACIO ENTRE ESTACION 5M.

MUESTREO ESPECIAL, MUESTRAS TOMADAS A 2 M. DE INTERVALO Y COMPUESTAS CADA 50 M.

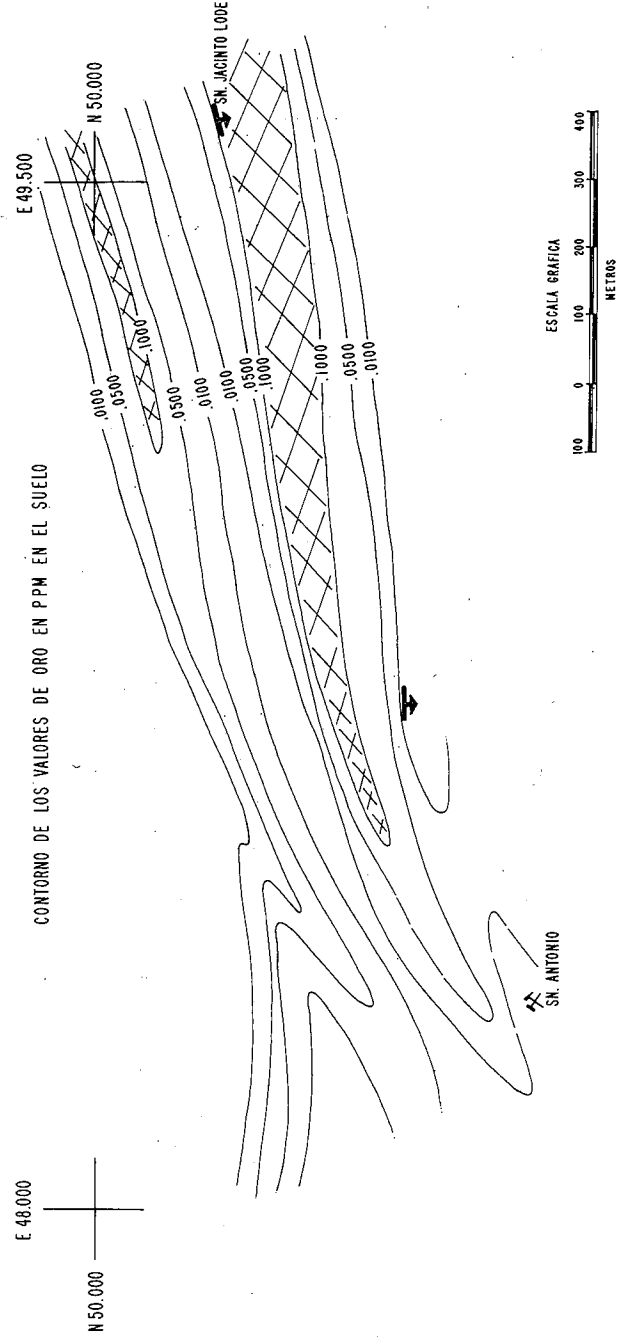
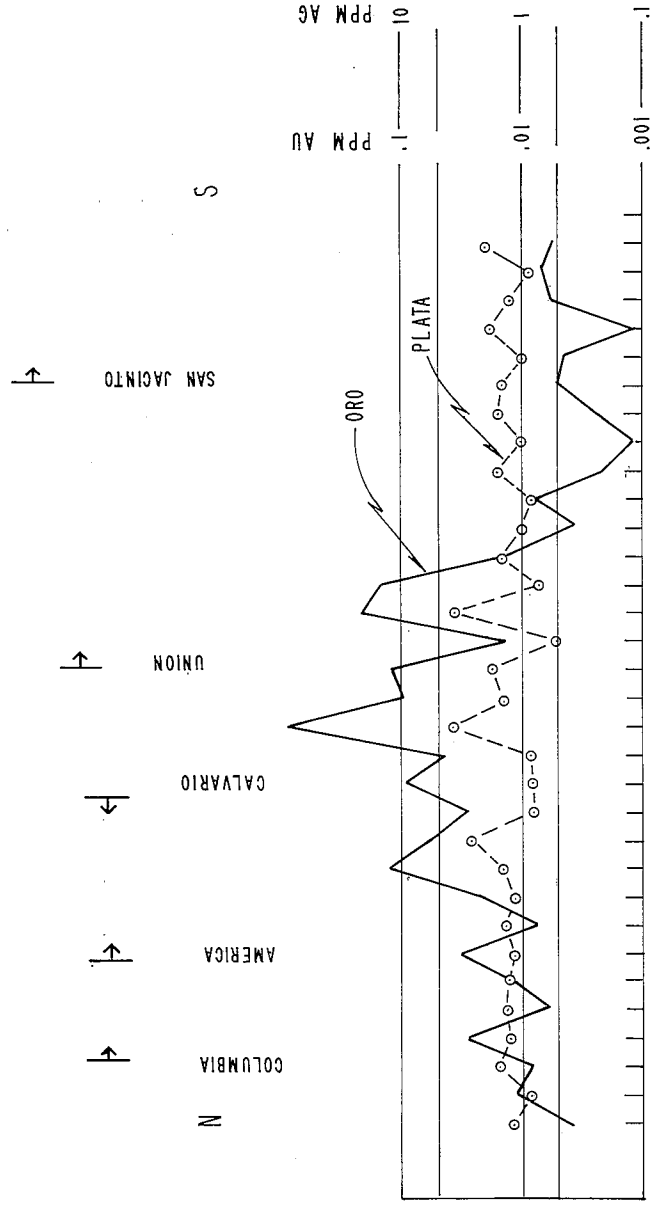


FIG. 2

COMPARACION DEL CONTENIDO DE ORO Y PLATA EN LOS SUELOS DE LA LINEA E-6

FIGURA 3



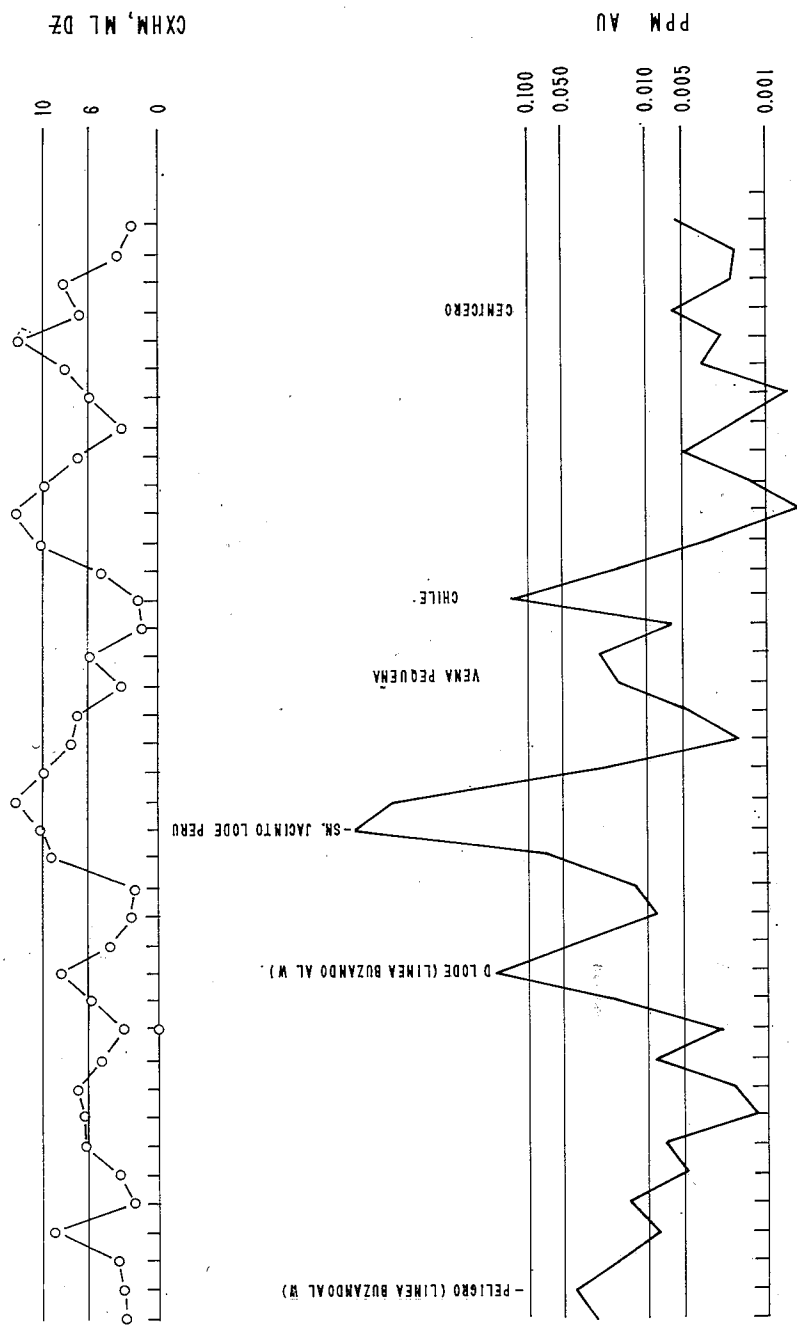
SEPARACION ENTRE ESTACIONES = 50 M.

N

S

FIGURA 4

COMPARACION DEL CONTENIDO DE ORO Y CXHM EN LOS SUELOS DE LA LINEA W-II



NOTA: ESPACIO ENTRE ESTACIONES = 50 M.

altos y bajos de oro, valores que no pueden interpretarse con relación a los valores adyacentes encontrados. El remuestreo, a cinco metros de intervalo entre estaciones, llevado a cabo en varias ocasiones, demostró que en todos los casos estos valores anómalos son valores erráticos de material alto o bajo mezclado en la matriz de la muestra. La figura N° 1 incluye los valores obtenidos en el remuestreo.

Cuando el número de valores de oro obtenido de los análisis de las muestras es lo suficientemente denso, es posible hacer un mapa de contorno que refleje la posición de la veta aurífera en el subsuelo. La figura N° 2 muestra la aplicación de este método.

La posibilidad de que la ocurrencia de plata en el suelo fuera covariante con los valores de oro ha sido investigada al analizar las muestras tomadas en la línea E-6, en el espectrógrafo de emisión, con los siguientes resultados: en general los valores de plata fueron constantes en concentraciones de  $1.2^+ - 0.3$  ppm, pero dos valores altos de plata coincidieron en anomalías altas de oro (véase figura N° 3).

De interés general en geoquímica es el hecho de que la relación plata-oro de las lateritas tropicales desarrolladas sobre las rocas de composición máfica, parece ser de orden de 200; esta relación está por encima de los valores indicados por Shcherbina (1956) en sus estudios regionales en diferentes partes del mundo.

#### PROCESOS ANALITICOS PARA DETECTAR ZONAS MINERALIZADAS BASADOS EN LA PRESENCIA DE METALES PESADOS QUE PUEDEN SER EXTRAIDOS EN FRIO

Entre los varios procesos llevados a cabo en la investigación de las

zonas mineralizadas se utilizó el conocido como proceso CXHM (Cold Extractable Heavy Metals), y correlacionado con las vetas auríferas.

Todas las muestras fueron sometidas a este procedimiento, y los resultados indican que esta técnica puede detectar combinación de metales pesados en los suelos locales y que la distribución de valores fluctúa de menos de un ml de ditionona a más de 25 ml.

El análisis de los resultados obtenidos indica que de uno a seis mililitros representan la línea base de estos metales en las rocas; de seis a diez indican valores de aproximación, y de más de diez mil, valores anómalos.

Cierto número de altos valores anómalos fue interpretado como debido a contaminación humana, otros altos valores como relacionados a zonas conocidas de vetas, y, finalmente, otros valores altos no pudieron ser relacionados a ninguna de las estructuras geológicas conocidas y no se tomaron en cuenta.

La posible interpretación de la correlación por medio de este proceso analítico a las vetas auríferas existentes se indica en la figura N° 4.

#### RESUMEN Y CONCLUSIONES

##### Objetivos

Los estudios de carácter geoquímico efectuados en El Callao, fueron llevados a cabo con los siguientes objetivos:

1. Descubrir si los subafloramientos de vetas auríferas podían ser detectados por el enriquecimiento que presentan los depósitos aluviales a lo largo de los cauces de las quebradas que cruzan la región.

2. Investigar si la presencia de oro en la vegetación de la zona podría ser utilizada como indicador en la prospección.

3. Determinar las dimensiones de los halos conteniendo oro sobre los subafloramientos de las vetas auríferas.

4. Evaluar la sensibilidad, rapidez y costo de los procesos más adecuados utilizados durante la exploración, para escoger los de mejor perspectiva.

##### Conclusiones

De las investigaciones enumeradas se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El oro puede ser detectado en los suelos y limos por diferentes técnicas analíticas. En algunas técnicas la sensibilidad del método ha sido tal, que las determinaciones pudieron hacerse directamente sobre muestras originales, mientras que en otras técnicas fue necesario utilizar métodos de preconcentración de carácter químico o físico.

2. Las altas concentraciones de oro en los limos obtenidos de las quebradas y en los suelos, se encuentran relacionadas con conocidas vetas auríferas en el patrón de dispersión modificado por los procesos superficiales que pueden atenuar o desplazar el halo aurífero aguas abajo.

3. El contenido de oro en los muestreos de la vegetación obtenido, indica que en esta área no tiene ninguna relación con las concentraciones de oro del subsuelo.

No fue estudiada la posibilidad de que el contenido de oro de la vegetación pueda ser utilizado en la escala regional.

Las anomalías de plata aparentemente tienen cierta relación con los altos contenidos de oro, esto fue observado en algunas de las muestras estudiadas.

El proceso CXHM mostró la distribución usual de los valores analíticos, pero no se pudo comprobar su consistencia en la correlación con subafloramientos de vetas auríferas.

El patrón óptimo de desmuestra geoquímica para la detección de vetas auríferas por medio de muestras de suelo en el distrito estudiado, parece ser el siguiente: estaciones separadas a intervalos de 25 metros a lo largo de líneas de 500 metros aparte, y orientadas perpendicularmente a la dirección de los rumbos regionales.

Las variables locales en el sitio del muestreo pueden reducirse por medio de la composición de un número de submuestras.

Considerando todos los parámetros se llega a la conclusión de que los sistemas analíticos preferidos constituyen el orden de prioridad.

1. Preconcentración química de la muestra seguida por la determinación de oro por medio de absorción atómica.

2. Análisis directo de la muestra mediante la activación neutrónica.

3. Preconcentración mecánica de la muestra mediante la batea o proceso similar, seguido de análisis clásico de oro por vía seca.

La determinación de la plata en la muestra puede hacerse indiferentemente por medio de espectrografía de emisión o absorción.



## BIBLIOGRAFIA

- BLOOM, H., 1955. "A field method for the determination of ammonium citrate soluble heavy metals in soils and alluvium". *Econ. Geology*, Vol. 50.
- KOROL, B., 1961. "Estratigrafía de la Serie Pastora en la región Guasipati, El Dorado". *Cong. Centario, 1960, Col. Ing. Venezuela*. Caracas.
- LAKIN, H. W., y H. M. NAKAGOWA, 1965. "Simplified spectrophotometric determination for gold". *Engineering and Mining Jour.* Vol. 166, N° 10.
- MENENDEZ, A., "Petrología y tectónica de la región de El Callao y su relación con la mineralización aurífera" (en preparación, 1966).
- PLAYTER, R. F., 1941, "Geological report on the properties of New Goldfields of Venezuela" (sin publicar).
- SCHERBINA, V. V., 1956, "Geochemical significance of quantitative Ag/Au ratios"; *Geochemistry*, N° 3.
- VINAGRADOV, A. P., 1959, *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils*. 2nd. Edition. Consultants Bureau, N. Y.
- WARD, F. N., LAKIN, H. W., CANNEY, F. C., y otros, 1963, "Analytical methods used in geochemical exploration by the U. S. Geological Survey". *U.S. Geol. Survey Bull.* 1.152.

## DETERMINACION ESPECTROQUIMICA DE AGUA EN MINERALES Y ROCAS

ANTONIO QUESADA\*  
WILLIAM H. DENNEN\*\*

La determinación de agua en minerales y rocas usando el arco de corriente directa en el espectrógrafo de emisión es descrita de la siguiente manera: una precisión del ocho por ciento, o mejor, se obtuvo sobre una concentración que varía del uno al veinte por ciento, aproximadamente.

### INTRODUCCION

El arco de corriente directa es una fuente espectrográfica de gran versatilidad y sensibilidad. Hay, sin embargo, un número de elementos que no son excitados por él, y por lo tanto, no son buscados, si bien ellos pueden ser de un interés considerable.

La determinación espectroquímica de tales elementos "no espectrográficos" presenta un desafío a la ingeniosidad del analista. Un medio de completar este final es a través

del empleo de radicales libres previamente excitados que incorporan los elementos buscados. Este acercamiento ha sido, por ejemplo, aplicado con éxito en la determinación de fluor usando las bandas de CaF. (1) en la determinación de carbono con las bandas de CN (2), y el empleo de las bandas de hidróxilo para medir el contenido de agua se sugiere en el presente método (3).

El método descrito aquí ha sido desarrollado para la determinación de agua en minerales y rocas, pero debe ser aplicable a cualquier sólido que contenga, químicamente combinado, grupos de hidróxilo, agua de cristalización o agua intersticial. Es esencial el empleo de electrodos especialmente diseñados, y un control cuidadoso de la humedad.

El sistema de la banda molecular de los 3064A,  $\Sigma^2 - II^2$  (ground state) de OH, cuya cabeza más intensa está a los 3063,6A es fácilmente excitable en el arco de corriente directa. Es un hecho común observar sistemas de bandas cuando se arquean muestras

\* Laboratorio de Investigaciones Petrográficas y Minerográficas "Dr. Víctor M. López", Universidad Central de Venezuela.

\*\* Cabot Spectrographic Laboratory, Mass. Institute of Technology, Cambridge, Mass.