

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



## **“MODELAMIENTO GEOQUÍMICO DEL ORO Y ELEMENTOS TRAZAS EN EL PROYECTO CHAQUICOCHA SUR MINA YANACOCCHA – CAJAMARCA”**

**INFORME DE INGENIERÍA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**CÉSAR AUGUSTO VELAZCO CORNELIO  
PROMOCIÓN 1991-I**

LIMA-PERÚ  
2001

***DEDICATORIA:***

***A mis seres más amados, que Dios los  
bendiga***

***Milagros, mi esposa***

***Melissa y Daniela, mis hijas***

***y a mis padres Carmen y César***

## **AGRADECIMIENTO**

Doy mis mas sinceros agradecimientos a **COMPAÑÍA MINERA YANACOCHA SRL**. Por haber hecho posible que pueda cumplir con una de mis metas más ansiadas, presentar este trabajo como informe de ingeniería para poder optar el título de ingeniero geólogo.

### **MODELAMIENTO GEOQUIMICO DE ORO Y ELEMENTOS TRAZAS EN EL PROYECTO CHAQUICOCHA SUR**

Del mismo modo hago extenso mis agradecimientos al Director de Geología y Gerente de Geología Exploraciones Bruce Harvey, al Superintendente de Geología Mina Brian Arkell, por el apoyo que me brindaron en el desarrollo del trabajo.

Hago extensivo mis agradecimientos a Stanley Myers, ex Gerente de Geología Exploraciones quien medió su invaluable apoyo en mis inicios como geólogo de exploraciones en la mina y me alentó a emprender este trabajo que rinde frutos ahora.

A los geólogos y amigos míos del área de Geología de Exploraciones y Geología Mina, por sus opiniones y críticas positivas, a Julio Martínez, Leslie Terán y Cecilia Ventosilla, quienes me apoyaron activamente en la culminación de mi trabajo, GRACIAS.

## RESUMEN

El distrito Minero de Yanacocha, comprende una serie de ocurrencias económicas y no económicas de sistemas epitermales de oro diseminado, del tipo Ácido-sulfato.

Geográficamente está ubicado a 25 Km. Al NNE de la ciudad de Cajamarca, entre los 3500 y 4200 msnm. Los afloramientos se encuentran sobre una superficie altiplánica de estadio puna, abarca una extensión aproximada de 27 Km. de largo por 8 Km. de ancho a lo largo de un lineamiento regional conocido como corredor Chicama – Yanacocha, Quiroz 1994.

La alteración y mineralización han sido emplazadas dentro de un complejo volcánico calco-alcalino de composición andesítico a dacítico asociado a un complejo de domos y brechas freáticas a freatomagmáticos.

El depósito de **Chaquicocha Sur**, está localizado en el sector central este del distrito, a unos 800 m. de la mina Carachugo. El cuerpo mineralizado se encuentra a unos 70 m. de profundidad en promedio, debajo de una nivel estéril de sílice granular.

El cuerpo tiene una orientación bien marcada de dirección N50°W, sin embargo algunas zonas de concentraciones altas de oro reflejan una tendencia NE a EW.

La mineralización está controlada principalmente por un nivel de sílice masiva a granular compacta, profundizando hacia el SW con una gradiente promedio de 30°.

La zona de sulfuros muestra una secuencia paragenética de calcosita – covelita en un blanquet enriquecido y enargita – luzonita-pirita en la zona de sulfuros primarios.

## INDICE

### 1 GENERALIZADES

1.1	INTRODUCCION .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	1
1.3	UBICACIÓN Y ACCESO .....	2
1.4	CLIMA, VEGETACIÓN Y RECURSOS .....	2
1.5	RASGOS GEOMORFOLÓGICOS .....	2
1.6	DATOS HISTORICOS .....	4

### 2 GEOLOGIA REGIONAL

2.1	RASGOS ESTRUCTURALES .....	6
2.2	ESTRATIGRAFIA .....	7

### 3 GEOLOGIA DEL PROYECTO CHAQUICOCHA

3.1	LITOLOGIA .....	11
3.2	ALTERACIONES .....	14
3.3	CONTROLES ESTRUCTURALES .....	16
3.4	MINERALIZACION .....	16

### 4 GEOQUIMICA SUPERFICIAL

4.1	METODOLOGIA .....	19
4.2	ANALISIS ESTADÍSTICO .....	19
4.2.1	Análisis de Histogramas .....	21

<b>4.2.2</b>	<b>Análisis de Correlación</b>	<b>26</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Elementos Afines</b>	<b>30</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Análisis de Planos Geoquímicos</b>	<b>33</b>

## **5 GEOQUIMICA DE SONDAJES**

<b>5.1</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>ANALISIS ESTADISTICO</b>	<b>42</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Análisis de Histogramas</b>	<b>42</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Análisis de Correlación</b>	<b>47</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Elementos Afines</b>	<b>51</b>

## **6 MODELAMIENTO GEOQUIMICO**

<b>6.1</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>57</b>
<b>6.2</b>	<b>MODELAMIENTO DE ELEMENTOS</b>	<b>57</b>
<b>6.3</b>	<b>ANALISIS Y CONCLUSIONES</b>	<b>64</b>

## **7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>7.1</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>66</b>
<b>7.2</b>	<b>Rererencia Bibliográfica</b>	<b>68</b>

**LISTA DE FIGURAS:**

Figura N°1	Mapa de ubicación del Distrito Minero de Yanacocha.
Figura N°2	Ubicación del depósito de Chaquicocha Sur.
Figura N°3	Mapa geológico distrital
Figura N°4	Correlación estratigráfica de Yanacocha con la geología publicada de Cajamarca
Figura N°5	Plano litológico del Proyecto Chaquicocha Sur
Figura N°6	Plano de alteraciones
Figura N°7	Secuencia paragenética
Figura N°8	Histograma de antimonio
Figura N°9	Plano de isovalores de Oro
Figura N°10	Plano de isovalores de Plata
Figura N°11	Plano de isovalores de Mercurio
Figura N°12	Plano de isovalores de Arsénico
Figura N°13	Plano de isovalores de Antimonio
Figura N°14	Plano de isovalores de Cobre
Figura N°15	Plano de isovalores de Bario
Figura N°16	Plano de isovalores de Bismuto
Figura N°17	Plano de isovalores de Plomo
Figura N°18	Plano de isovalores de Zinc
Figura N°19	Modelo de bloques de Oro
Figura N°20	Modelo de bloques de Plata
Figura N°21	Modelo de bloques de Mercurio
Figura N°22	Modelo de bloques de Arsénico

Figura N°23	Modelo de bloques de Cobre
Figura N°24	Modelo de bloques de Antimonio
Figura N°25	Modelo de bloques de Bismuto
Figura N°26	Modelo de bloques de Plomo
Figura N°27	Modelo de bloques de Zinc
Figura N°28	Modelo de bloques de Bario
Figura N°29	Modelo de zonamiento geoquímico
Figura N°30	Modelo de alteraciones

### **LISTA DE GRAFICOS:**

Gráfico N °1	Correlación geoquímica superficial (Población Total).
Gráfico N °2	Correlación geoquímica superficial (Cut off 100 ppb).
Gráfico N °3	Correlación geoquímica superficial (Cut off 350 ppb).
Gráfico N °4	Correlación geoquímica superficial (Cut off 500 ppb).
Gráfico N °5	Correlación geoquímica superficial (Cut off 1000 ppb).
Gráfico N °6	Correlación geoquímica DDH-óxido (Población Total).
Gráfico N °7	Correlación geoquímica DDH-sulfuro (Población Total).
Gráfico N °8	Correlación geoquímica DDH-óxido (Cut off 100 ppb).
Gráfico N °9	Correlación geoquímica DDH-sulfuro (Cut off 100 ppb).
Gráfico N °10	Correlación geoquímica DDH-óxido (Cut off 350 ppb).
Gráfico N °11	Correlación geoquímica DDH-sulfuro (Cut off 350 ppb).
Gráfico N °12	Correlación geoquímica DDH-óxido (Cut off 500 ppb).
Gráfico N °13	Correlación geoquímica DDH-sulfuro (Cut off 500 ppb).
Gráfico N °14	Correlación geoquímica DDH-óxido (Cut off 1000 ppb).

Gráfico N °15      Correlación geoquímica DDH-sulfuro(Cut off 1000 ppb).

### **LISTA DE FOTOGRAFIAS:**

- |            |  |
|------------|--|
| Foto N° 1  | Vista panorámica del Proyecto Chaquicocha Sur                  |
| Foto N° 2  | Ignimbritas soldadas mostrando textura eutaxítica.             |
| Foto N° 3  | Ignimbritas mostrando textura reomórfica                       |
| Foto N° 4  | Alteración sílice opalina                                      |
| Foto N° 5  | Sección delgada mostrando oro temprano en luzonita.            |
| Foto N° 6  | Sección delgada mostrando pitirita-enargita-covelita primarias |
| Foto N° 7  | Ignimbritas soldadas mostrando textura eutaxítica.             |
| Foto N° 8  | Ignimbritas mostrando textura reomórfica                       |
| Foto N° 9  | Alteración sílice opalina                                      |
| Foto N° 10 | Sección delgada mostrando oro temprano en luzonita             |

### **LISTA DE TABLAS:**

- |             |                              |
|-------------|------------------------------|
| Tabla N° 1: | Tabla de límite de detección |
|-------------|------------------------------|

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCION

Con el presente trabajo se quiere fundamentar la importancia de la geoquímica como una herramienta muy práctica en la búsqueda de depósitos epitermales de alta sulfuración escondidos.

Se desea proponer un modelo de distribución tridimensional de los elementos guías de tal modo que permita un mejor entendimiento de los procesos hidrotermales para su futura aplicación en la exploración.

Se resume a la vez todas las fases que involucran un trabajo de exploración, como son:

- Mapeo geológico (alteraciones y litología).
- Muestreo geoquímico y su interpretación
- Fase de perforación (drilling)
- Geoquímica de sondajes.
- Modelamiento e interpretación
- Recomendaciones.

### 1.2. OBJETIVOS

Deseo sustentar este trabajo como un informe de ingeniería para optar el título de Ingeniero Geólogo.

Dar a conocer y proponer patrones geoquímicos que controlan la mineralización epitermal del tipo ácido sulfato en el Proyecto Chaquicocha Sur.

### **1.3. UBICACIÓN Y ACCESO**

El Distrito Minero de Yanacocha está localizado en el Distrito de La Encañada, aproximadamente a 25 km al NNE de la Ciudad de Cajamarca y 600 km al norte de Lima, a una latitud de 6° 58' S y una longitud de 78° 30' E y elevación entre 3500 a 4200 msnm.

Se accede a la mina por la carretera Cajamarca – Hualgayoc hasta el paraje La Pajuela (km 35), lugar donde se toma un desvío hacia el este. Desde la ciudad de Cajamarca, se hace un recorrido total de 48 km. Los primeros 15 km son asfaltados y los restantes son afirmados y con muy buenas condiciones de transitabilidad.

### **1.4. CLIMA, VEGETACION Y RECURSOS**

El distrito se encuentra sobre una superficie altiplánica. El clima es frío y con lluvias estacionales de Noviembre a Marzo. La vegetación consiste principalmente de ichu (típico de superficie puna) y escasos árboles que generalmente crecen en zonas de quebrada.

El tipo de explotación (Gran Minería a cielo abierto) y la alta tecnología usada, requiere recursos principalmente externos, siendo el principal recurso de la zona el material humano que labora en la mina.

### **1.5. RASGOS GEOMORFOLOGICOS**

La superficie peneplanizada de edad Mioceno medio a tardío (estadio Puna), ha sido modificada en el sector este del distrito por una glaciación del Pleistoceno (Wilson y Coronado, 1970). Es posible reconocer superficies de erosión glacial (estrías) y depósitos fluvio-glaciares y morrenas en zonas de cuencas o en zonas de quebradas en “U”.

El estadio Chacra comprende muchas superficies, los cuales forman valles anchos como el de Cajamarca. Tufos ignimbríticos de edad Mioceno tardío a Plioceno se han depositado sobre estos valles, y probablemente han sido cortados por el estadio cañón, ejemplo en el

sector norte del distrito minero, donde las quebradas son completamente encañonadas (Farrar y Noble, 1976).

El distrito se ubica sobre un (dibortion Aquoriun). Las aguas que drenan hacia el norte, este y sur-este son afluentes de ríos principales que fluyen hacia el océano Atlántico, mientras que las aguas que drenan hacia el oeste, fluyen hacia el océano Pacífico.



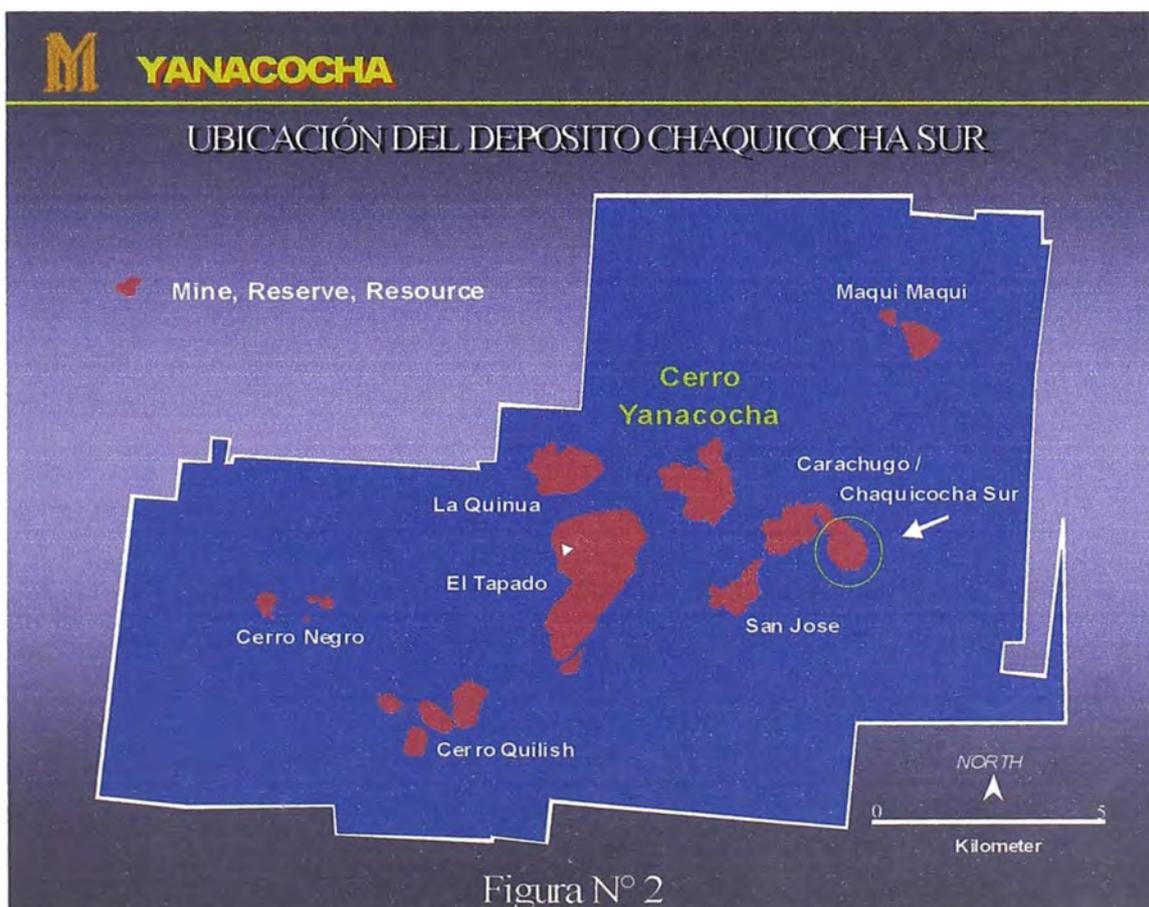
## 1.6. DATOS HISTORICOS

Una serie de trabajos desde la época pre-inca a coloniales por cinabrio, sílice calcedonia y cobre en las áreas de Maqui Maqui, Carachugo y Quilish.

Los trabajos exploratorios han continuado en la era moderna, a continuación se describen cronológicamente dichos trabajos.

- **1,902** Antonio Raimondi visita las labores pre-incas, afirmando posibles trabajos por extracción de oro.
- **1,968** la Nippon Mining Company realiza 13 sondajes diamantinos en la Quebrada Encajón, con objetivos de pórfidos de cobre.
- **1,969-1,971** la British Geological Survey (BGS) inicia la exploración por oro en Yanacocha; la cual condujo al descubrimiento del depósito (Bowerman, 1995). Los trabajos de reconocimiento regional de "stream sediment" en el norte del Perú, dio como resultado la detección de anomalías de plata y plomo en las inmediaciones de Yanacocha.
- **1,981** CEDIMIN, una sucursal de la Bureau de Recherches Geologiques et Minières (BRGM), denuncia el área (Quiróz, 1994).
- **1,983** Newmont realiza su primera visita al área de Yanacocha.
- **1,984** Se firmó un Joint Venture con CEDIMIN, Newmont y Bueneventura; posteriormente con un programa de mapeo y muestreo geoquímico se identificaron tres anomalías fuertes de plata y valores débiles de oro (Bowerman, 1995).
- **1,985** Las primeras perforaciones dieron como resultado el descubrimiento de un pequeño cuerpo de plata y oro (3.13 m. con 87 g/t y 0.4 g/t respectivamente) en un objetivo al norte del depósito de Yanacocha Norte . Además un interesante tramo de 7 m con 9.6 g/t de oro, fue interceptado en un segundo objetivo en Yanacocha Norte (Paverd y Bowerman, 1994). Hasta 1987 se realizó un reconocimiento sistemático de rocas, identificándose algunas anomalías fuertes de oro.

- **1,986** Se perforaron siete pozos, que dieron como resultado el descubrimiento de los depósitos de Yanacocha Norte y Yanacocha Sur, con tramos de 122 m con 1.36 g/t Au en el Norte y 297 m con 2.76 g/t Au en el Sur
- **1,990** Se hacen las perforaciones para la delineación del cuerpo mineralizado de Carachugo; también se perforan los primeros 8 sondajes en Maqui Maqui Sur, con buenos resultados, y a la vez se pone en marcha los estudios de factibilidad para comenzar con una planta piloto para lixiviación en pilas; 15,000 toneladas de mineral se lixiviaron con una recuperación de 83%.
- **1,993** en agosto se inicia la producción de Carachugo, con 82,500 onzas de oro producidas en ese año.
- **1,997-1,998** En 1997 se descubre el depósito de La Quinoa con más de 7 millones de onzas de oro, y además otros dos depósitos, El Tapado y Chaquicocha Sur.



## 2. GEOLOGIA REGIONAL

El Distrito Aurífero de Yanacocha geológicamente está localizado dentro de un contexto de rocas volcánicas e intrusivas de edad cenozoicas y rocas sedimentarias del Cretáceo. Estas secuencias albergan una serie de depósitos polimetálicos (Hualgayoc), sistemas tipo pórfido Cu-(Mo-Au) (Michiquillay, Chailhuagon) y sistemas epitermales ( Sipán, La Zanja, Tantauatay), asociados a márgenes destructivas de colisión de placas.

### 2.1 RASGOS ESTRUCTURALES

Existen importantes rasgos regionales que han ayudado a la formación del ambiente geológico local. El distrito está localizado cerca a una importante intersección de lineamientos andino y tras - andino (Turner 1997). El tren andino es expresado por la orientación NNW a WNW de los ejes de plegamiento de rocas mesozoicas y la alineación de intrusiones terciarias en el área de Cajamarca (Wilson 1985), mientras que el patrón transandino, conocido como el corredor Chicama - Yanacocha, se evidencia por el desplazamiento del litoral peruano y el lineamiento ENE del Distrito de Yanacocha (Quiroz 1997)

La mayoría de las fallas y ejes de pliegues en las rocas pre-terciarias muestran una marcada deflexión de NNW - SSE a casi E-W en el área de Cajamarca. En su revisión de la estratigrafía. Cobbing et al 1981, señalan que la zona de Cajamarca representa en sí una provincia geológica y que el trend ENE constituye un sistema de fallas transformantes.

### 2.2 ESTRATIGRAFIA

En la región afloran rocas sedimentarias y volcánicas que devienen desde el Cretáceo hasta el cenozoico. La figura N° 4, muestra la estratigrafía comparada del distrito minero con la estratigrafía publica de Cajamarca.

Las rocas sedimentarias del cretáceo en la región de Cajamarca tienen un espesor mínimo de 600 m. La sección carbonatada está dominada por depósitos masivos de plataforma del cretáceo medio (Grupo Pulluicana - Rivera, 1980 y Wilson, 1985), la cual limita el sector este del distrito minero. Se ha reconocido ventanas calcáreas probablemente de la misma formación con débil alteración tipo skarn dentro de la secuencia volcánica alterada. Las rocas silico clásticas consisten de cuarcitas y limolitas del cretáceo inferior (Grupo Goyllarisquizga - Wilson 1985). Estas rocas afloran a pocos kilómetros al norte y sur del distrito.

La secuencia volcánica terciaria sobreyace a las rocas sedimentarias del Cretáceo en discordancia angular. Está compuesta por las Formaciones Llama y Porculla (Grupo Callypuy) y los miembros Fraylones y Otuzco de La Formación Huambos.

Las unidades litológicas del distrito minero han sido denominadas como Complejo Volcánico Yanacocha (CVY), descrita por Steve Turner (Tesis Doctoral, 1997). Las dataciones lo ubican estratigráficamente dentro de la Formación Porculla. Consiste de una gruesa secuencia de rocas piroclásticas intercalado con niveles lávicos y cortadas por muti-fases de eventos intrusivos (Figura N° 3).

La secuencia basal es dominada por niveles lávicos e intercalada con flujos piroclásticos ricos en cristales. La secuencia media a superior es predominantemente piroclástica, con niveles de flujos de bloques y cenizas sobre yacidas por flujos piroclásticos ricos en cristales e ignimbritas soldadas. Estos niveles superiores (pobres en líticos), muestran fragmentos de roca alterada, lo cual evidencia un evento hidrotermal previo a la extrusión de esta secuencia.

Toda la secuencia es cortada por múltiples eventos intrusivos pre y post- alteración. Intrusiones de brechas freáticas a freatomagmáticas, junto a las secuencias piroclásticas constituyen la roca huésped de la mineralización económica, algunos de estas unidades son posteriores y

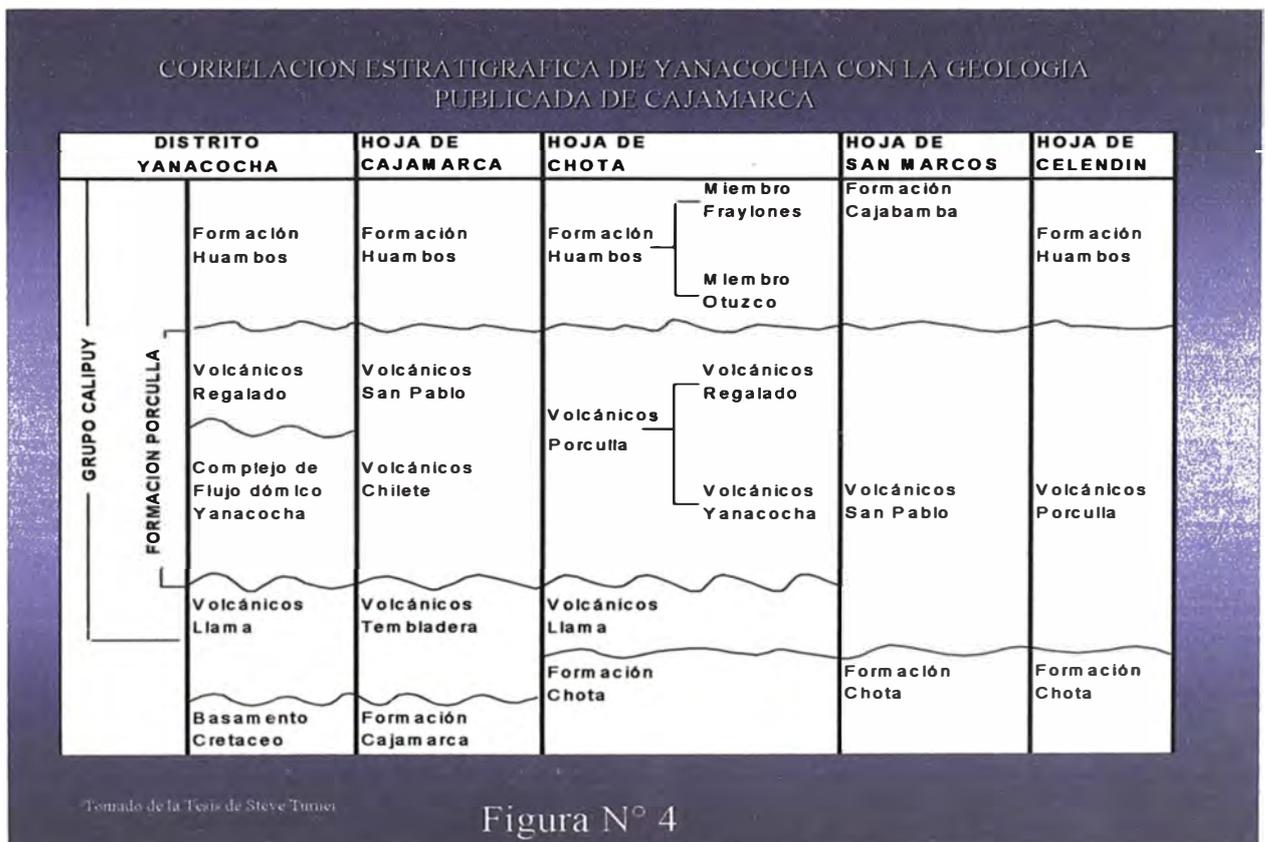
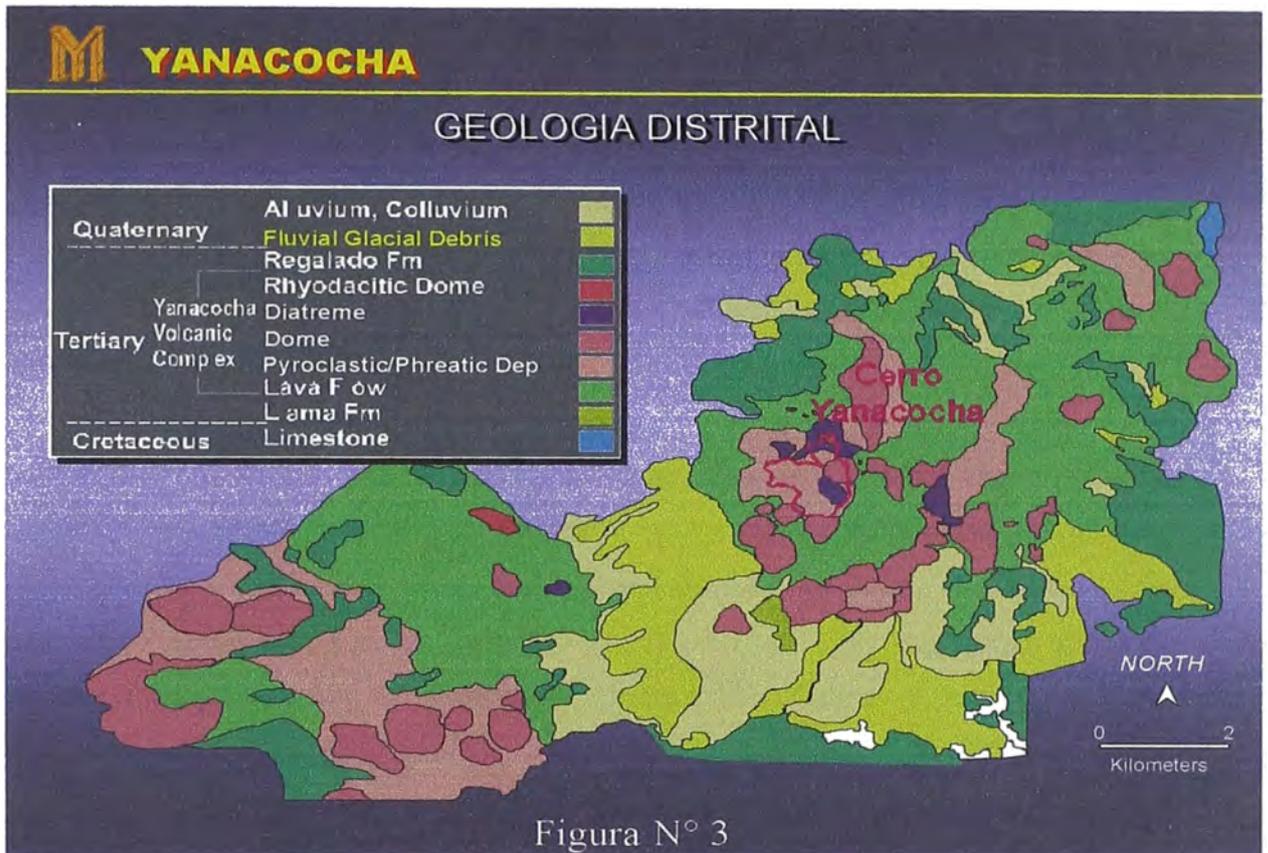
cortan la fase principal de mineralización. Intrusiones dómicas andesíticas a dacíticas pre y post-alteración son reconocidas en diferentes áreas del distrito.

Una secuencia delgada de lavas andesíticas muy viscosas cubren principalmente las zonas de depresiones y sobreyacen a las rocas del Complejo Volcánico Yanacocha. Estos flujos de probable origen fisural son correlacionados con los Volcánicos Regalado (descrito por Reyes 1980b en la región de San Marcos), el contacto con la secuencia subyacente es aún afectado por las fases finales del evento hidrotermal.

Dos secuencias de distinta composición de flujos de brechas piroclásticas son reconocidas al norte y sur del distrito. La primera de composición dacítica, corresponde al miembro Fraylones y la segunda de composición andesítica corresponde al miembro Otuzco, ambos de la Formación Huambos, asociados a distintos centros eruptivos.

Sedimentos inconsolidados de origen glacial a fluvio-glacial se han depositado sobre los valles en U y cuencas tectónicas. Ello ha permitido la dispersión secundaria del oro, con la consecuente formación de yacimientos en gravas, algunos de ellos económicos, ejemplo el depósito La Quinoa.

Los cuerpos intrusivos se emplazan a lo largo de un cinturón WNW cortando el margen este del distrito y son principalmente dioritas a cuarzo-dioritas. Las intrusiones forman cuerpos circulares a elongados hasta de 5 Km de ancho, y han sido datados como Paleocenos a Miocenos (Laughlin, y otros, 1963; Noble, y otros, 1990; MacFarlane y Peterson, 1994)



### 3. GEOLOGIA DEL PROYECTO CHAQUICOCHA SUR

El proyecto Chaquicocha está localizado en la porción central-este del distrito de Yanacocha aproximadamente a 1,000 m. al este de La Mina Carachugo. El depósito representa una zona continua de mineralización de orientación principal N50°W, la cual posiblemente se une o introduce hacia Carachugo-Este, (ver figura N° 2).

La actual superficie de Chaquicocha muestra la geomorfología de una erosión glacial. El clásico valle en U y los remanentes de depósitos morrénicos distribuidos en el sector sur a sur-este del área son evidencias de ello. Los rasgos topográficos mas sobresalientes son, El Cerro Chaquicocha al este y el Cerro Carachugo al oeste, ambos separados por el valle glacial. La erosión glacial fue extremadamente profunda dentro de la roca dejando expuesta parte de la alteración hidrotermal del sistema.



*Foto N° 1 Vista Panorámica del Proyecto, al fondo la Mina Chaquicocha Norte, en primer plano, en círculo el depósito de Chaquicocha Sur. La depresión corresponde a un valle glacial (en U), es posible ver en los flancos remanentes de tillitas.*

### 3.1 LITOLOGIA

La intensa alteración en el área, dificulta el reconocimiento de la textura primaria de la roca. Sin embargo, se puede mencionar que la geología de Chaquicocha es una gran mixtura de rocas fragmentales y de textura porfíricas remanentes.

En superficie se reconocen ignimbritas soldadas pobre en líticos y rico en cristales (tufo de cristales o ignimbritas San José), la textura es mas evidente hacia el margen oeste del proyecto (Flanco Sur-Este del Cerro Carachugo), donde la alteración débil permite reconocer la textura eutaxítica (Foto N° 2).



*Foto N° 2 Sector SW del depósito. Estructuras silíceas marginales (a la derecha) cortando ignimbritas soldadas, nótese los flames en la parte baja.*

En el sector sur del Cerro Chaquicocha , al este del depósito la secuencia se encuentra mostrando textura reomórfica, el cual puede ser fácilmente confundida con flow banding de flujos lávicos, sin embargo es posible reconocer los líticos encontrados en el sector sudoeste y la textura eutaxítica remanente (Foto N° 3).



*Foto N° 3 Ignimbritas mostrando textura reomórfica, a manera de flow banding.*

La secuencia ignimbrítica puede ser muy potente, pero en los sondajes solo se reconocen rocas de textura porfirítica, sin fragmentos y aislados niveles que contienen pocos fragmentos. Se puede tratar de secuencias ignimbríticas cuya textura eutaxítica ha sido borrada por la alteración, similar a los encontrados en Cerro Sugares, al este de la Mina Maqui Maqui; como también se puede tratar de la secuencia basal de flujos de lava del Complejo Volcánico Yanacocha.

Hacia el sur fuera del límite del Proyecto, la secuencia piroclástica es cubierta por flujos de lavas andesíticos débilmente propilitizados, con texturas de flow banding y autobrechas. Mientras que hacia el norte (área de Chaquicocha Norte) la secuencia es cortada por brechas freáticas a freatomagmáticas alteradas a sílice granular, los cuales contienen fragmentos alterados de una fase hidrotermal primigénica. Algunos diques andesíticos y sills tardíos en el sistema (alterados a sílice clay) intruyen a todos los tipos de rocas.

## PLANO LITOLÓGICO

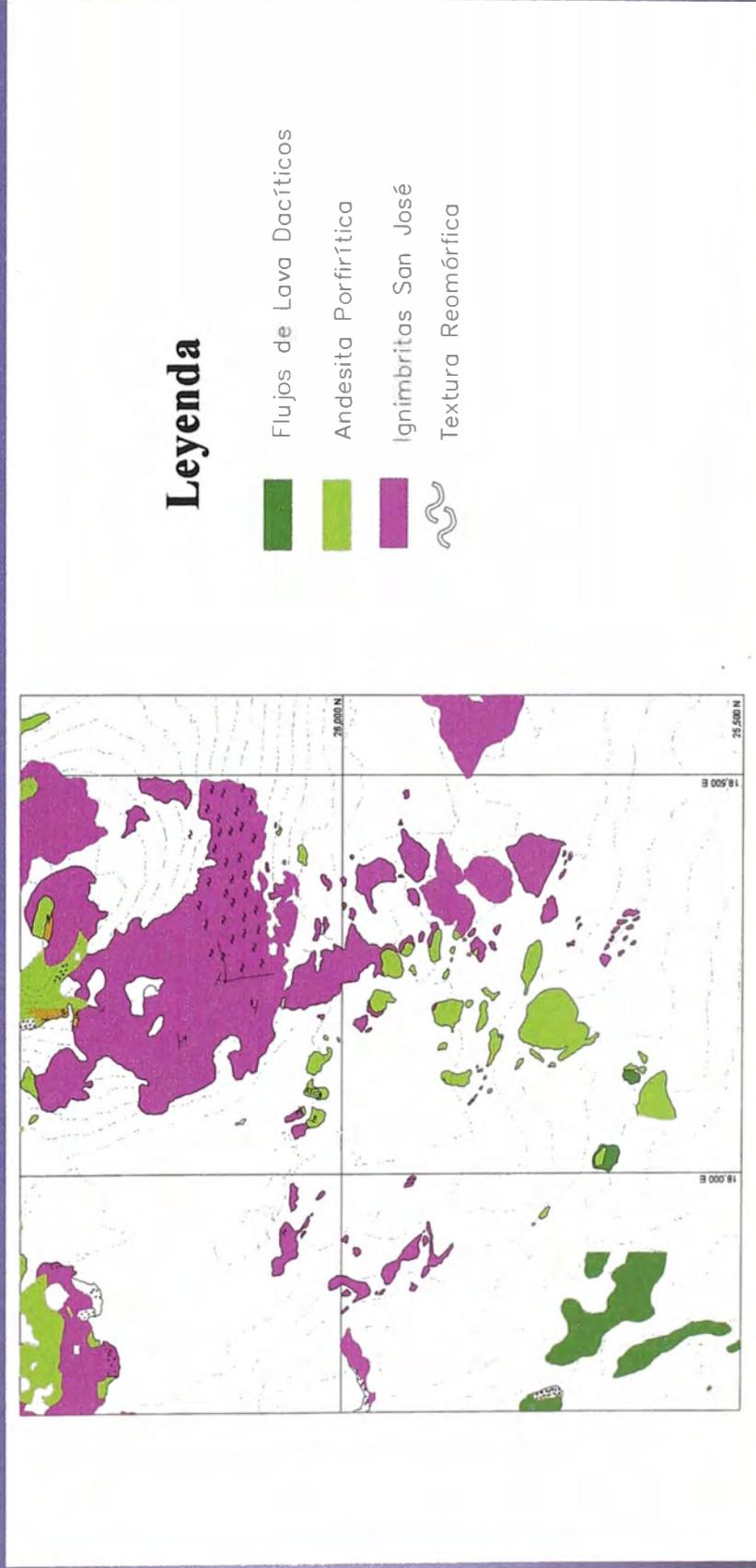


Figura N°5

### 3.2 ALTERACIONES

La alteración silíceea predomina en el sistema, cubre aproximadamente el 70% del proyecto. Al este, el C° Chaquicocha está compuesto por sílice masiva, mientras que al nivel del valle, predomina la sílica granular (deleznable), lo que evidencia fluctuaciones del nivel freático y por ende el nivel de ebullición ocurrió a diferentes profundidades. A medida que profundizan los sondajes, la roca se hace más competente, hasta llegar a niveles de vuggy remanentes (sobreimposición de sílice granular en sílice vuggy) y debajo de este ha precipitado sílice masiva.

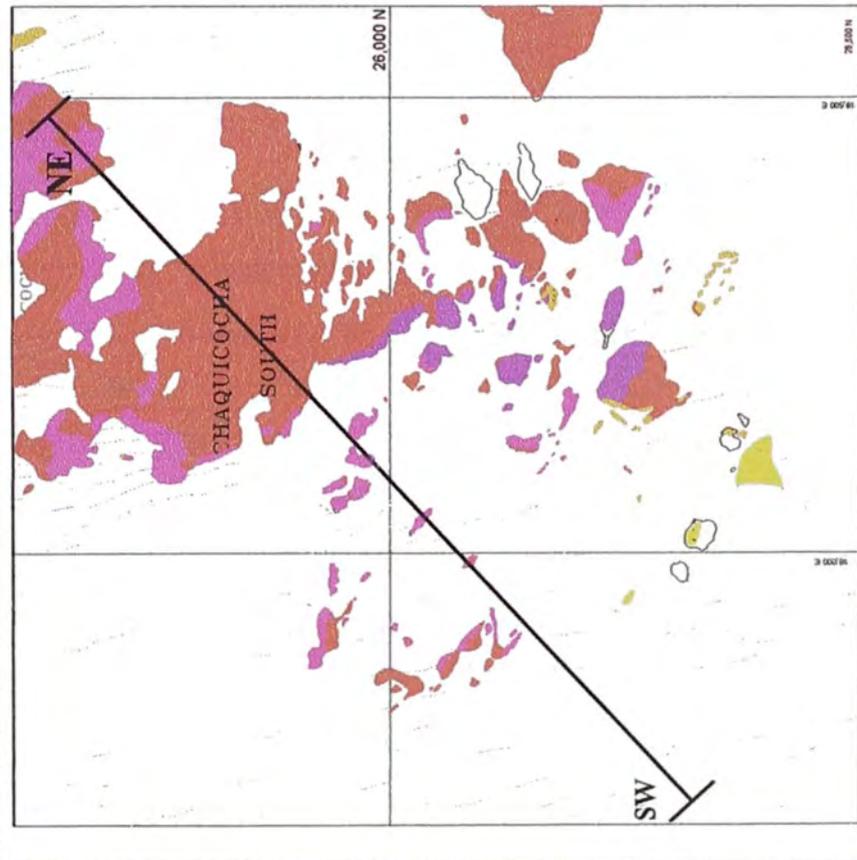
Remanentes de sílice opalina es reconocida en el sector sur-oeste del proyecto, probablemente asociados a deposición de sílice a muy baja temperatura en la fases finales del sistema, pues altera a la fase primaria de alteración argílica avanzada.



*Figura N° 4 Sílice opalina alterando ignimbritas previamente alteradas a sílice – clay, las partes oscuras corresponden a playas de pirita diseminada aún no oxidadas*

La alteración argílica avanzada está principalmente representada por el ensamble sílica-alunita, reconocida principalmente en sondajes. Hacia el sur oeste del sistema, la alteración grada a sílica-clay (Figura N° 6).

PLANO DE ALTERACIONES



Leyenda

- Silica Granular
- Silica Vuggy
- Silica Masiva
- Argílico Avanzado (silica clay)
- Argílico

Figura N°6

### 3.3 CONTROLES ESTRUCTURALES

Dos mayores rumbos estructurales parecen controlar la mineralización. Estos son aproximadamente N 45° a 50° W y N 40° a 50° E , ambos muestran reactivación post-mineral, y son cortados por sistemas posteriores de orientación N 70°W y N-S. Las leyes altas de oro se encontraron en zonas de intenso fracturamiento (zonas de shearing) en alteración sílice granular y sílice vuggy permeables, espacialmente asociado con estructuras de alto ángulo de orientación NW. La mayoría del recurso en óxidos está dentro de esta zona estructural a una profundidad de 45 a 275 m.

El cuerpo principal de oro tiene una orientación NW, sin embargo las zonas enriquecidas (mayores a 5 gr./t) se orientan en dirección NE. Siendo las zonas de intersección las más favorables para su concentración.

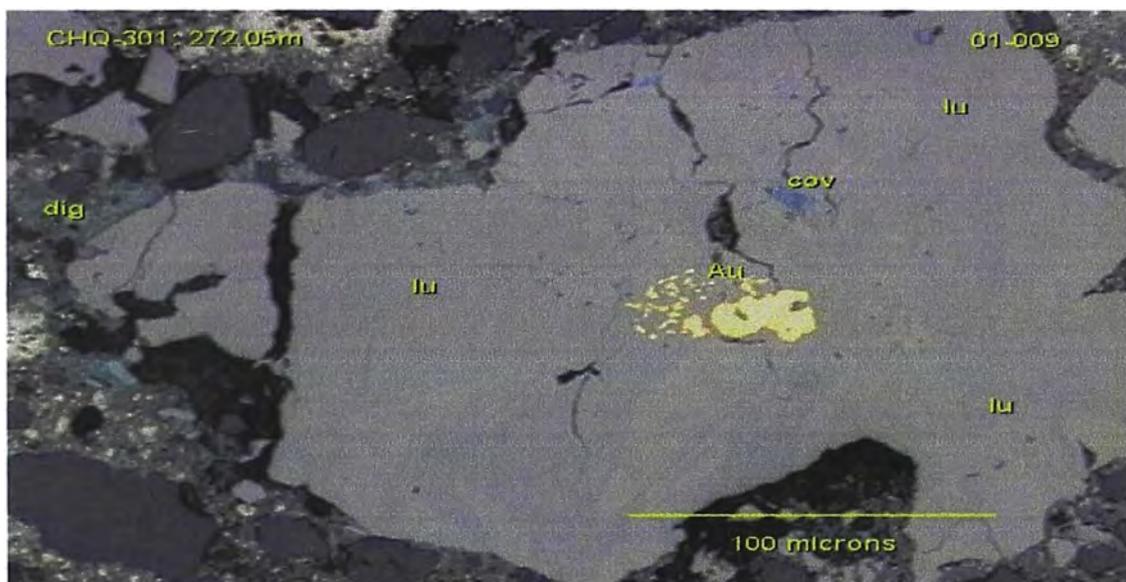
### 3.4 MINERALIZACION

El cuerpo principal de mineralización de oro está debajo de una capa estéril de lixiviación de vapores ácidos entre 50 y 275 m. de potencia. En el área de Chaquicocha Sur, la profundidad del nivel de oxidación varía desde 360 hasta 475 m.

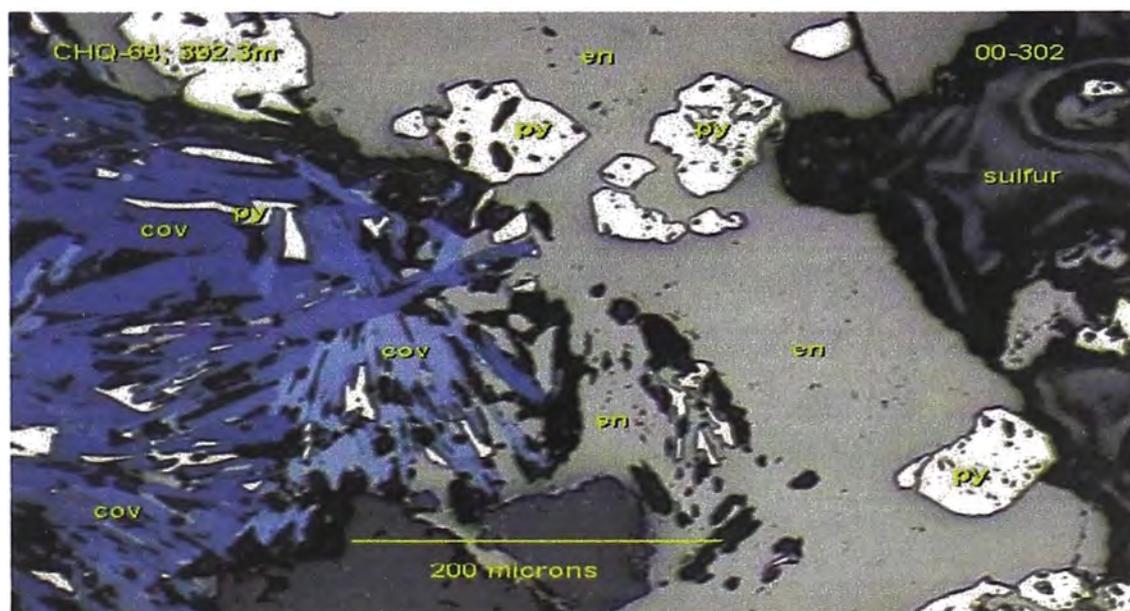
Los sulfuros profundos están más difundidos al sur y sur-oeste. Aparentemente están concentrados debajo del nivel redox (óxido - sulfuro) formando un manto enriquecido de calcosita + covelita + azufre nativo, diseminados en sílice compacta con textura similar a una arenisca de grano fino. Enargita cristalizada intercrecida con pirita muy fina en playas remanentes, sugiere la fase de sulfuros primarios. La extensión del manto de enriquecimiento no es conocido; sin embargo, los datos presentes muestran un cuerpo tabular que se extiende hacia el sur-oeste a profundidades entre 260 y 440 m.

Aparentemente, el azufre nativo ha sido precipitado en las fases finales del sistema, cuando la temperatura estuvo muy disminuida. Este mineral corta a todos los sulfuros, formando en algunos casos brechas difusas.

Estudios microscópicos de muestras tomadas de la zona de sulfuros evidencian hasta cuatro estadios de precipitación de oro (L.Teal y E. Sederholm). Una fase temprana de mineralización hipógena de oro asociada a enargita/luzonita, la segunda fase hipógena intermedia de oro asociado a azufre nativo y una fase tardía de oro asociado a baritina. Se propone una cuarta fase de precipitación coloidal de oro supérgeno asociado a óxidos de hierro en fracturas (Foto N° 5)



**Foto N° 5** Muestra incrustaciones de oro temprano en luzonita (lu). Covelita tardía rellena micro-fracturas



**Foto N° 6** Muestras pirita (py) – enargita (en) y covelita (cov) primarias. Rellenando espacios intergranulares de covelita se observa una segunda generación de pirita y enargita.

Mineral	Temprano (Hypogeno)	Intermedio (Hypógeno)	Tardío (Hypógeno)	Muy Tardío (Supérgeno)
Sílice	—————	—————▶		
Pirita	—————	—————▶		
Enargita/Luzonita	———▶			
Esfalerita/Galena		————▶		
Oro	————▶	————▶	————▶	————▶
Covelita		————▶		————▶
Calcosita				————▶
Azufre Nativo		———▶		
Baritina			————▶	————▶
Oxidación				————▶
<b>Fases de precipitación de oro</b>				
Fase Temprana	Oro + enargita/Luzonita			
Fase Intermedia	Oro + Azufre nativo			
Fase Tardía	Oro + Baritina			
Fase Muy Tardía	Oro coloidal + óxidos de Fe. en fracturas			

Figura N° 7 Muestra la secuencia paragenética de Chaquicocha (Tomado de L. Teal – E. Saderholm)

## **4. GEOQUIMICA SUPERFICIAL**

El análisis de la geoquímica superficial tiene como objetivo identificar las anomalías geoquímicas de los distintos elementos guías asociados a los depósitos epitermales de alta sulfuración y por ende su posible correlación superficial con el oro. El estudio geoquímico de sondajes permite verificar si estos patrones geoquímicos tienen el mismo o distinto comportamiento en profundidad.

### **4.1. METODOLOGIA**

La información geoquímica deviene de trabajos anteriores, los cuales han consistido en muestreos sistemáticos y muestreos selectivos, en total se han extraído 1096 muestras de roca dentro del área de estudio. El muestreo sistemático tiene como objetivo identificar una posible anomalía geoquímica, mientras que el selectivo se orienta principalmente para definir posibles controles de mineralización.

Se ha realizado un tratamiento estadístico, principalmente orientado a identificar poblaciones geoquímicas, identificar el comportamiento de los elementos e identificar familias de correlación. Además se han elaborado planos geoquímicos que han ayudado a definir el control geoquímico.

### **4.2. ANALISIS ESTADISTICO**

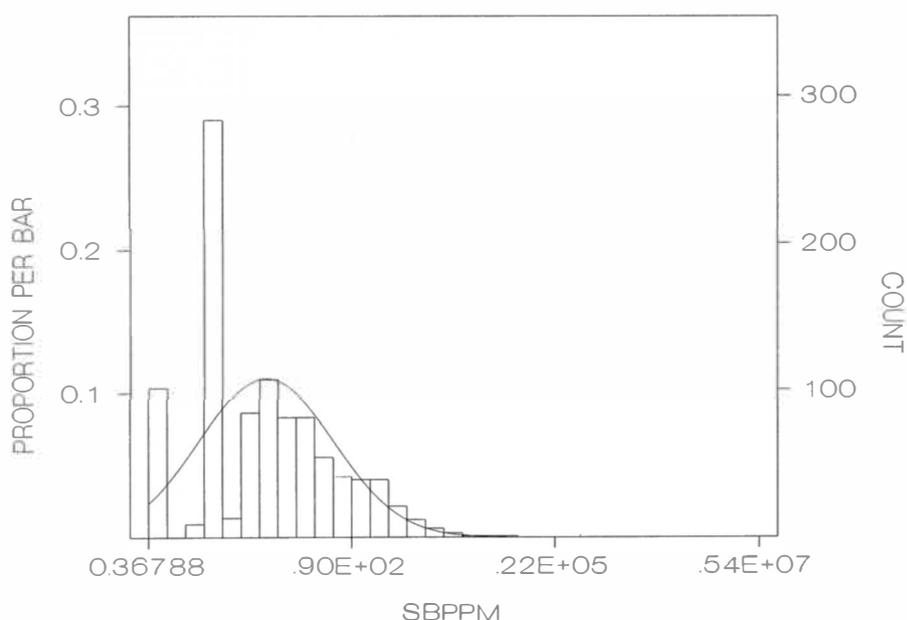
El primer paso para el análisis estadístico ha sido revisar la data geoquímica, en la cual se ha identificado valores negativos que corresponden a leyes menores al límite de detección. En un mismo elemento se ha detectado hasta tres distintos límites de detección, lo cual está referido a que el análisis proviene de distintos laboratorios.

Para el tratamiento de estas leyes se procedió a analizar de dos formas:

- a) Todos los valores menores al límite de detección son cambiados a mitad de su valor absoluto. Esto implica que si el límite de detección

es menor a 1.00 ppm, el valor reportado es (-1.00 ppm) y su valor absoluto medio es 0.5 ppm.

La construcción de histogramas para todos los elementos analizados muestra un comportamiento log-normal, por lo que se procede a cambiar todos los valores de leyes a una base logarítmica. Los histogramas log-normales contruidos para la plata, cobre, arsénico, antimonio, zinc y bismuto son distorsionados en sus valores mínimos, asociado al efecto de incluir en la base de datos los valores medios del límite de detección, estos elementos presentan valores menores al límite de detección en un rango que va desde 21.9 % hasta 65% de su población.



*Figura N°8 Histograma de antimonio. Nótese dos barras que distorsionan el comportamiento log-normal del gráfico, ello se debe a que en ellas están representadas muestras menores al límite de detección (276 muestras < 5 ppm y 101 muestras < 1. ppm).*

Para el caso del oro, mercurio, plomo y bario, la distorsión no se refleja en el histograma, por que los valores menores al límite de detección son entre 0.5% a 8.4% de su población según se muestra en el tabla 1

Elemento	Au	Ag	Cu	As	Sb	Hg	Pb	Ba	Zn	Bi
	-5(8)	-0.3(56)	-5(202)	-15(146)	-5(276)	-0.5(22)	-1(1)	-15(3)	-1(102)	-5(181)
	-2(77)	-0.1(209)	-1(11)	-2(79)	-1(101)	-2(8)	-5(5)	-10(1)	-5(45)	-1(14)
	-1(25)	-0.5(71)	-0.5(1)	-3(5)						
Población Total	1070	1070	977	977	977	975	721	727	624	300
%	8.4	27.7	21.9	23.5	38.6	3.1	0.8	0.5	29	65

**Tabla 1**

-#(N): # límite de detección, N Número de muestras, - menor al límite de detección

#### 4.2.1. Análisis de histogramas

Para los análisis de los histogramas no se ha considerado el efecto de distorsión de los valores menores al límite de detección.

Los gráficos de oro, plata, arsénico, cobre y plomo muestran un histograma uni-modal con sesgo hacia los valores altos

El mercurio y bismuto presentan histogramas bi-modales. En el caso del mercurio, su correlación con el oro disminuye desde la población total de oro hasta la población cut off 100 ppb.

Población total	Au >= 30 ppb	Au >= 100 ppb
0.279	0.282	0.147

La correlación Au – Hg incrementa, a medida que aumenta los valores de oro a partir de los 350 ppb.

Au >= 350 ppb	Au >= 500 ppb	Au >= 1000 ppb
0.279	0.373	0.401

Para el caso del bismuto la correlación para la población total es - 0.021, prácticamente no existe correlación y es negativa, el cual está probablemente asociada a la primera población. A medida que va incrementándose los valores de oro, la correlación se incrementa significativamente hasta llegar a valores mayores a 0.9, ello probablemente se está manifestando en la segunda población.

El zinc y bario presentan poblaciones tri-modales. En el caso del zinc, no se manifiesta en la correlación con el oro. Los valores de correlación se incrementan hasta los 350 ppb y disminuye haciéndose fuertemente negativo para valores mayores a 1000 ppb de oro.

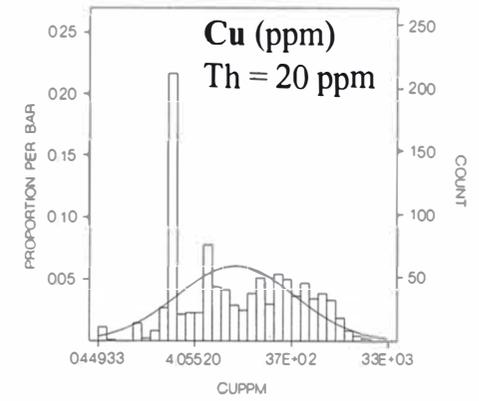
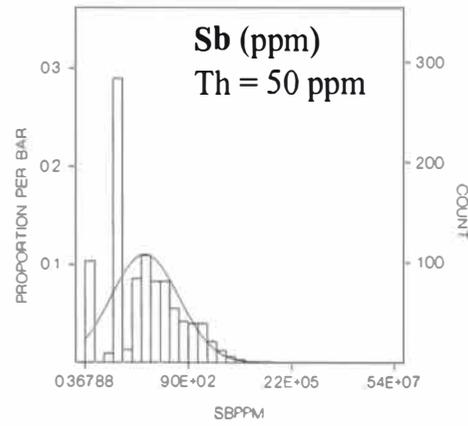
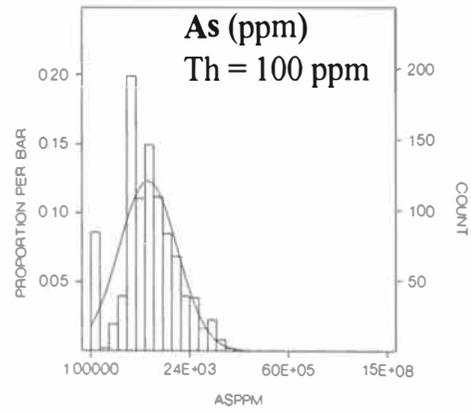
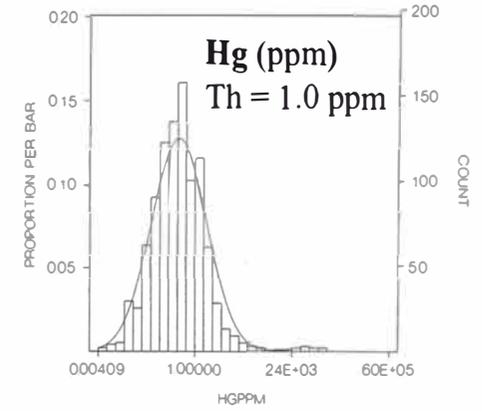
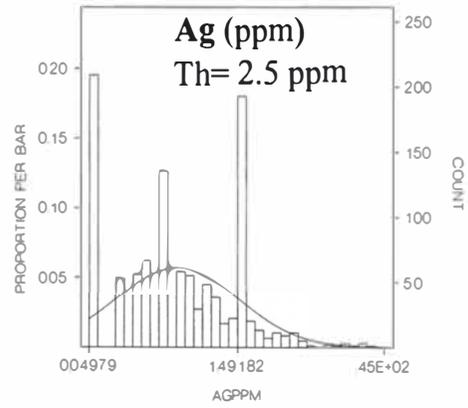
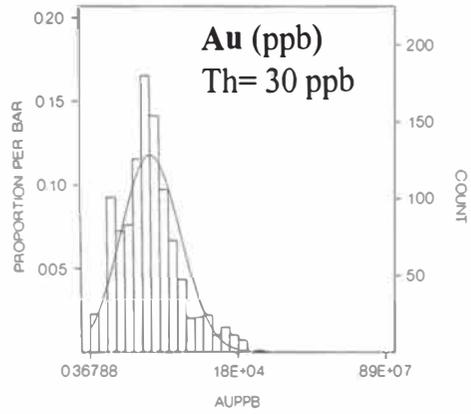
Población total	Au >= 30 ppb	Au >= 100 ppb	Au >= 350 ppb
- 0.014	0.111	0.241	0.297

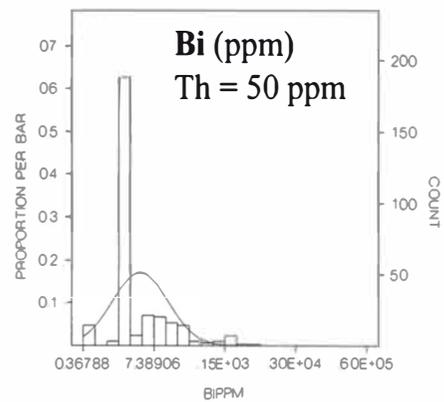
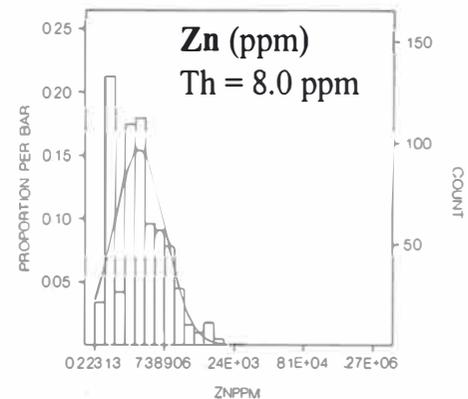
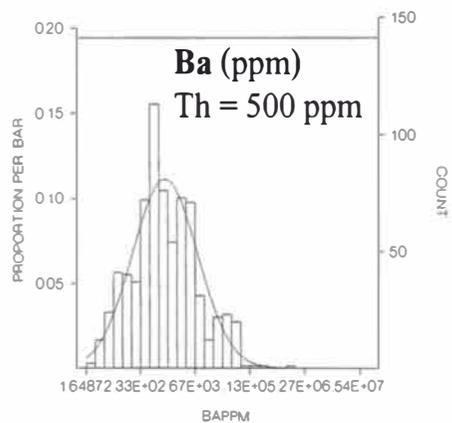
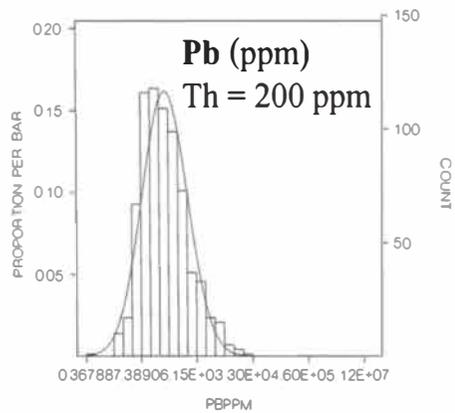
Au >= 500 ppb	Au >= 1000 ppb
-0.690	

En el caso del bario la correlación se incrementa desde la población total hasta los 30 ppb, para posteriormente disminuir hasta hacerse negativo en la población cut off de 500 ppb. Para Los valores mayores a 1000 ppb de oro, la correlación del bario se incrementa haciéndose moderado

Población total			
Au >= 30 ppb	Au >= 100 ppb	Au >= 350 ppb	Au >= 500 ppb
0.350	0.250	0.084	-0.104
Au >= 1000 ppb			
0.401			

Los siguientes histogramas resumen lo anteriormente descrito, aunque los gráficos generan una campana log- normal, es posible apreciar las distintas poblaciones de los elementos.





#### 4.2.2. Análisis de correlación

Para estudio de correlaciones se ha utilizado el software propio de la empresa "Stones". Este programa es una herramienta muy útil para la creación de planos geoquímicos, histogramas, frecuencias acumuladas, matrices de correlación, etc.

Definido el comportamiento log-normal de los histogramas de todos los elementos tratados, se transformó la base de datos a una base log normal. Por otro lado se han elaborado matrices de correlación para distintos valores mínimos de oro. Para la población total,  $Au \geq 30$  ppb (valor threshold),  $Au \geq 100$  ppb,  $Au \geq 350$  ppb,  $Au \geq 500$  ppb y  $Au \geq 1000$  ppb con el objeto de estudiar el comportamiento de los elementos traza a distintos cut off de oro.

- **ORO- PLATA**

La correlación se va incrementando desde 0.1 para la población total, hasta 0.35 para  $Au \geq 100$  ppb. A Partir de este punto la correlación disminuye abruptamente a 0.078, 0.01 y 0.073 sucesivamente para los cut off mayores. Este comportamiento se puede confirmar en los planos de isovalores , en los cuales las anomalías de plata generalmente circundan a las anomalías de oro y estas disminuyen o se hacen nulas para valores altos de oro.

- **ORO- MERCURIO**

Contrariamente a lo anterior, la correlación Au-Hg, disminuye desde 0.3 hasta 0.147 para la población total a  $Au \geq 100$  ppb, para luego incrementar sucesivamente hasta 0.401 para valores  $Au \geq 1000$  ppb.

Ello confirma el comportamiento bi-modal del mercurio. Parte de la población que representa la mayor ley de mercurio está asociado a los bordes del sistema y a alteraciones de sílice opalina y argílico, donde

las leyes de oro son muy marginales, sin embargo la principal población del mercurio mantiene una correlación moderada con el oro.

- **ORO- ARSENICO**

La correlación Au-As inicia con 0.215 para la población total, ello puede estar soportado por la extensión del muestreo que abarca áreas que no han sido afectadas por los fluidos hidrotermales, por lo tanto no existe anomalías para ambos elementos.

Para la población treighold del oro, la correlación disminuye sustancialmente a 0.033, ello está asociado a la mayor dispersión del arsénico, en la cual el rango 30 - 100 ppb de Au, corresponde al rango 100 – 500 ppm de As. Los valores mayores a 100 ppm de As está fuera de la anomalía de oro.

Sin embargo la correlación se incrementa a 0.371 y 0.372 respectivamente para las poblaciones de cut off de 100 y 350 ppb de Au, ello se sustenta en que parte de la población del rango 100 – 500 ppb Au, cae dentro del rango 100 – 500 ppm de As.

La correlación comienza a disminuir hasta hacerse negativa -0.102 para la población cut off de 1000 ppb de Au. Ello se puede explicar con los planos de isovalores, donde la anomalías del arsénico están desplazadas respecto a la del oro.

- **ORO - COBRE**

La moderada correlación del Au-Cu para las poblaciones total y threshold ( 0.305 y 0.274), se puede sustentar con un argumento similar a la del arsénico. Existe gran parte de la población total en la cual los puntos de muestreo han sido extraídos de zonas sin anomalía para ambos elementos, a la vez que parte de los puntos de 30 a 100 ppb de Au, caen dentro de la débil anomalía superficial de Cu.

A partir de la población cut off 100 ppb Au, prácticamente no existe correlación entre ambos elementos, ya que estos varían entre 0.01 y –

0.013 hasta hacerse – 0.086 para la población cut off 1000 ppb Au. Ello está manifestado por la ausencia de anomalía de Cu para dichas poblaciones y probablemente relacionada a una lixiviación supérgena del cobre, donde los iones han sido transportados y percolados a profundidad. (ver plano de isoleyes).

- **ORO - ANTIMONIO**

La correlación entre ambos elementos se mantiene prácticamente uniforme entre la población total y cut off 350 Au ppb, la cual varía entre 0.154 y 0.229.

Para la población cut off de 500 ppb Au, la correlación prácticamente se hace nula (0.006), ello se verifica en los planos de isovalores, en la cual para el rango de leyes 500 a 1000 ppb de oro, los valores de antimonio son menores a 100 ppm (valores no anómalos).

Para la población cut off 1000 ppb Au, la correlación incrementa para hacerse moderada 0.387, ello explica que para valores mayores a 1000 ppb de oro existe un cierto incremento de las anomalías de antimonio.

- **ORO - PLOMO**

La correlación oro-plomo tiene cierto comportamiento similar a la de oro-antimonio entre la población total y cut off 350 Au ppb, la cual varía entre 0.150 y 0.350, este valor pico se observa en la población cut off 100 ppb Au, donde la escasa anomalía coincide con valores anómalos de oro.

Para la población cut off 500 ppb Au, la correlación es negativa (-0.159), ello es muy obvio en los planos de isovalores, en la cual el oro para dicha población no coincide con valores anómalos de plomo.

Para la población cut off de 1000 ppb Au es de 0.087, prácticamente no existe anomalía, el incremento de la correlación respecto a la anterior población es debida a una pequeña sobre imposición de las anomalías en el sector sur del área en las trincheras.

- **ORO - BARIO**

El comportamiento de la correlación de ambos elementos está asociada a la de los dos anteriores. Esta incrementa de 0.173 a 0.350 de la población total a la de cut off 30 ppb Au.

partir de dicha población disminuye sucesivamente hasta hacerse negativa en la población cut off 500 ppb Au. (-102).

Para la población Cut off 1000 ppb de Au la correlación es moderadamente alta. Probablemente asociada a una de las poblaciones del Ba, donde el oro de alta ley está asociada a la baritina.

- **ORO - ZINC**

La Correlación oro zinc se incrementa sucesivamente desde un valor casi nulo (-0.014) hasta 0.297 para la población cut off 350 ppb Au. Esto se fundamenta con el histograma del zinc el cual presenta hasta tres poblaciones, también se puede verificar en el plano de isovalores de zinc, en la que se observa dos cuerpos anómalos, uno de ellos débilmente asociado a las anomalías débiles de oro.

Para la población cut off 500 ppb Au, la correlación es nuevamente casi nula (0.025), y en la población cut off 1000 ppb Au, la correlación es fuertemente negativa (-0.690), lo que manifiesta una correlación inversa para los valores altos de oro.

- **ORO - BISMUTO**

El comportamiento del bismuto aparenta mostrar dos niveles de correlación: Desde la población total hasta la población cut off 100 ppb Au, la correlación incrementa desde -0.021 hasta 0.276, para luego dar un salto a 0.915 en la población cut off 350 ppb. e incrementar hasta 0.988 para la población cut off de 1000 ppb Au.

El súbito incremento señalado anteriormente puede estar distorsionado por las pocas muestras con las que se han calculado las correlaciones, 8 muestras para la población 350 ppb Au y 4 muestras muestras para la

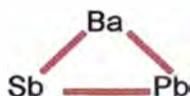
población 1000 ppb Au, no siendo representativas para el análisis geoquímico.

#### 4.2.3. Elementos Afines

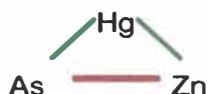
De acuerdo a la interpretación de los gráficos de correlación de los path finders con el oro y entre sí mismas (Gráficos N°s 1 al 5), se identifican tres familias de elementos afines:



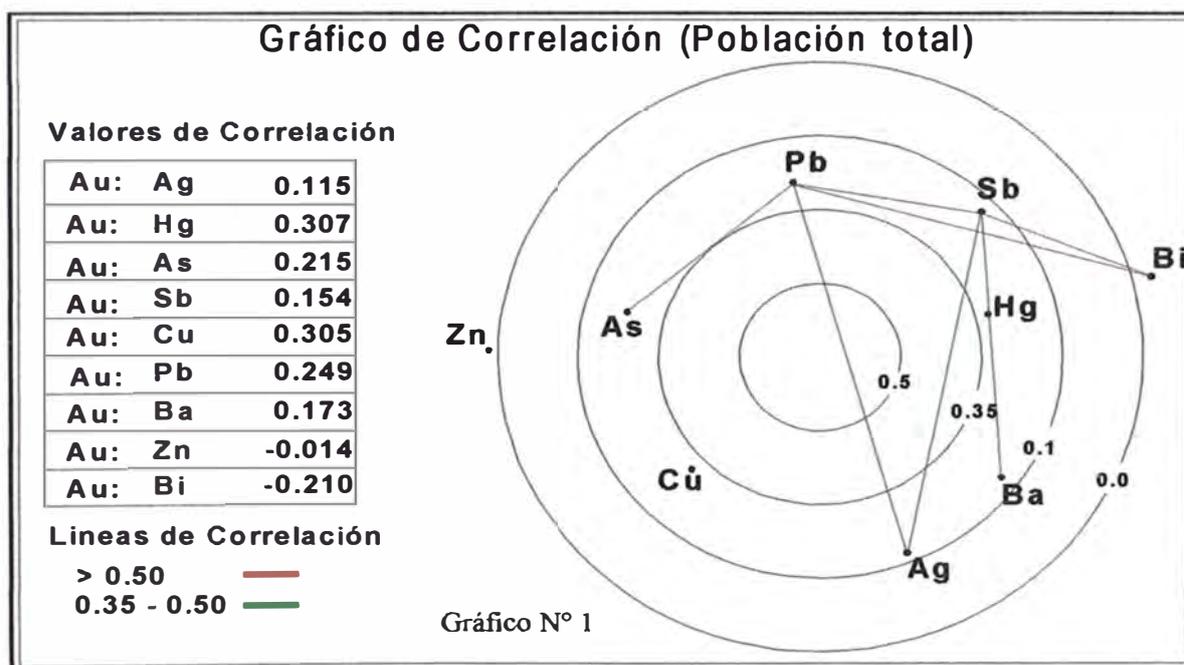
Estos tres elementos mantienen una buena correlación entre sí para todas las poblaciones cut off de oro.

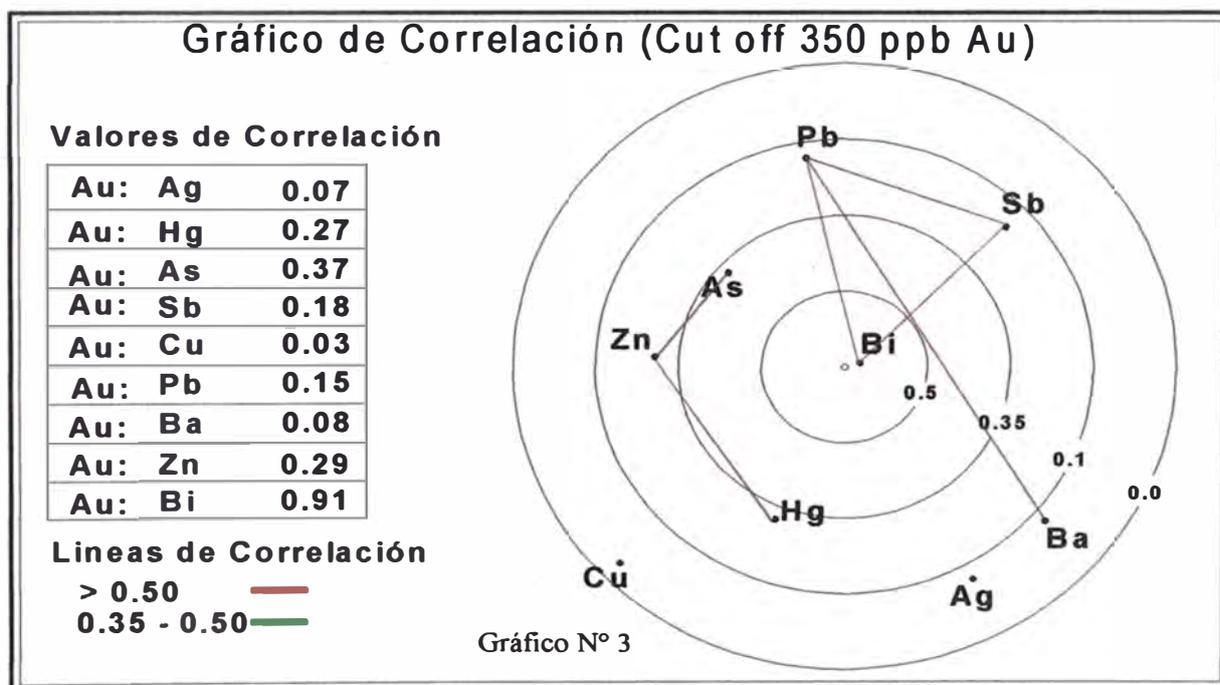
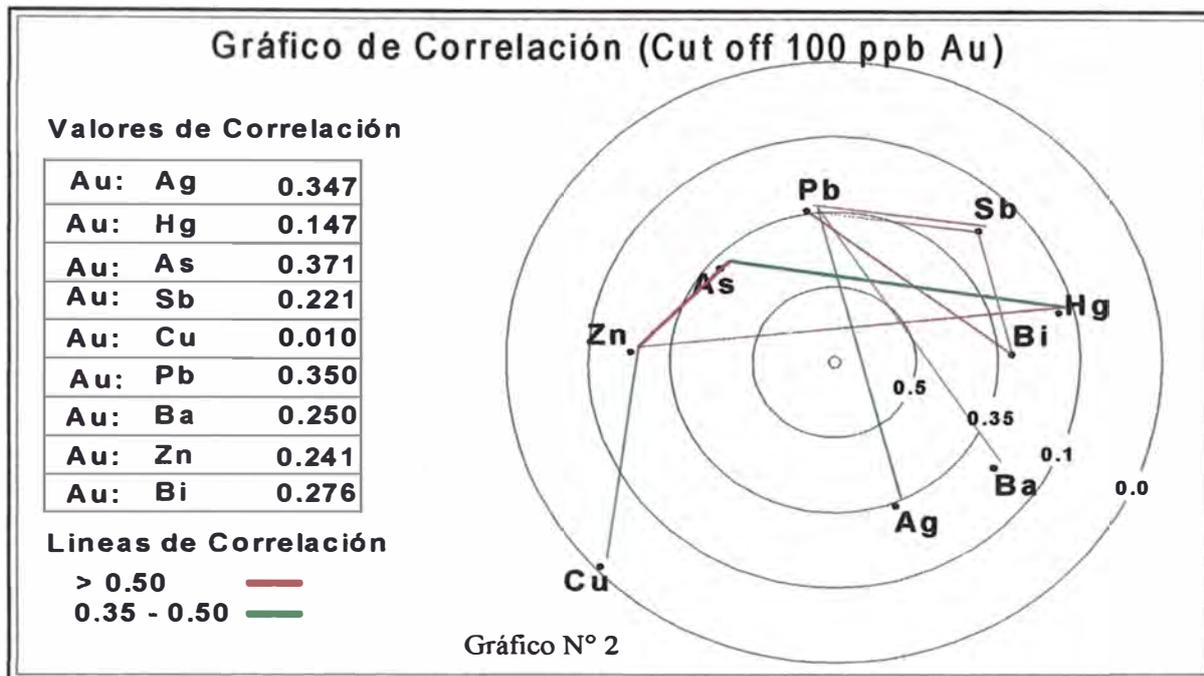


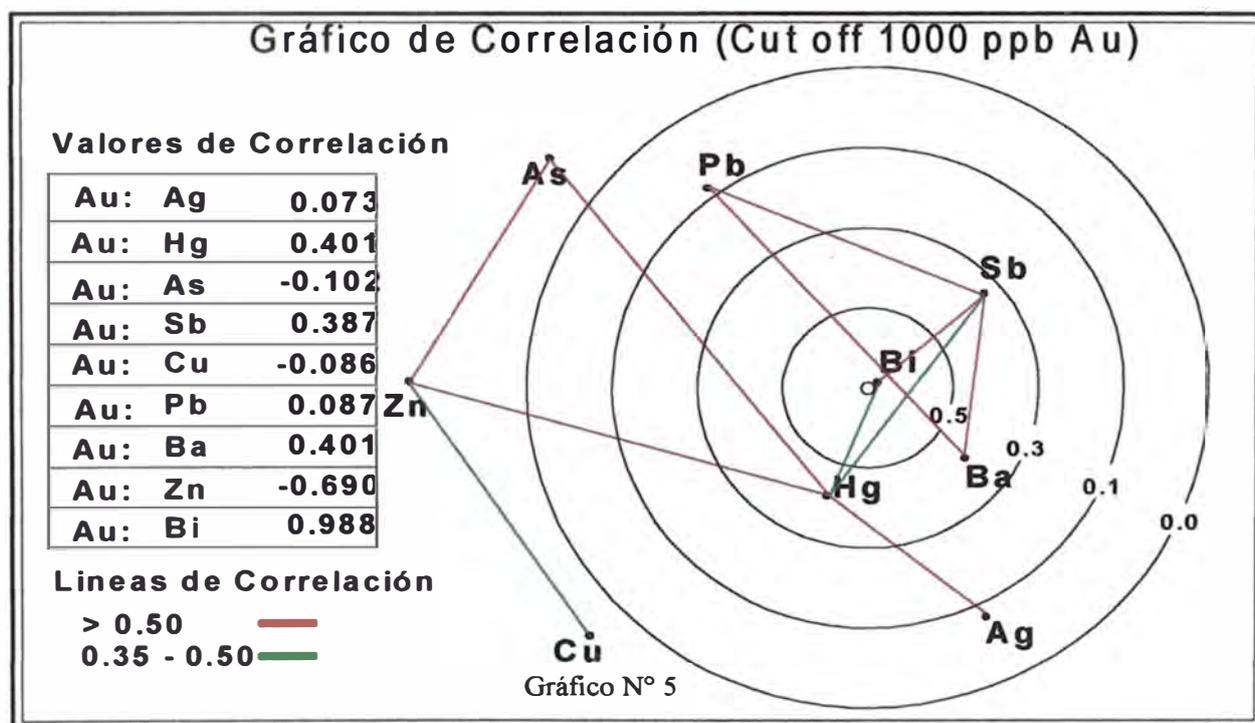
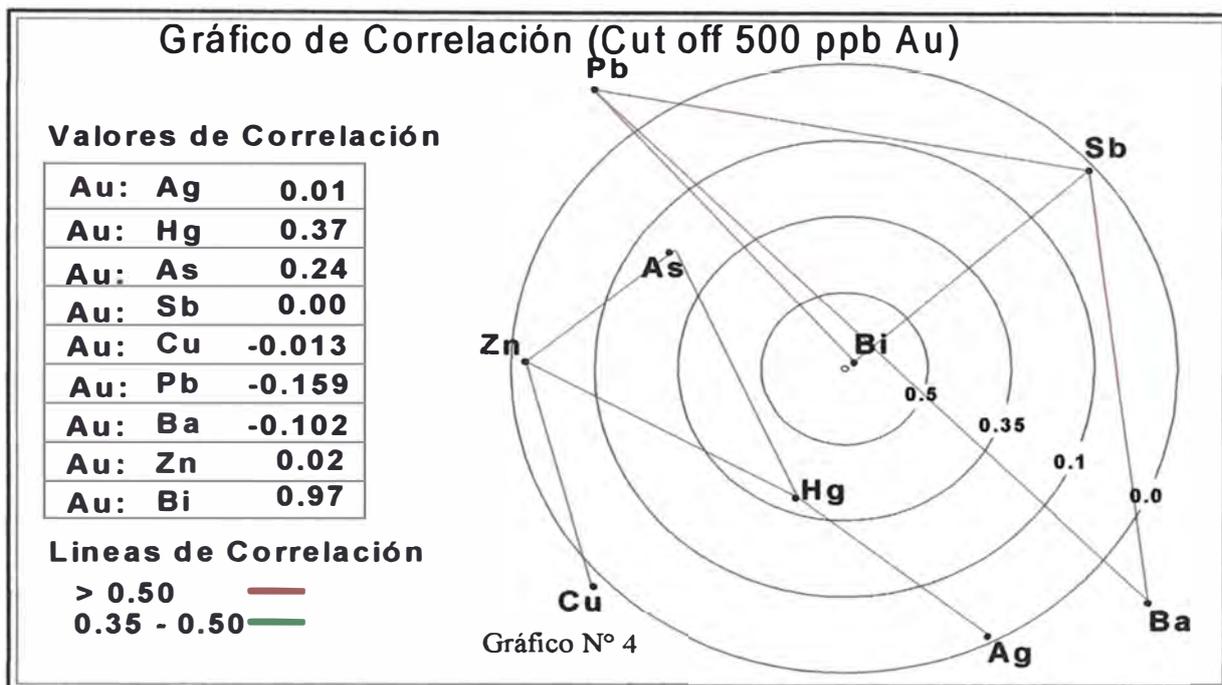
Se manifiesta a partir de la población cut off 350 ppb de oro, es moderada e incrementa hacia los valores mayores.



Se manifiesta a partir del valor threifhold, y se hace fuerte a partir de la población cut off de 350 ppb de oro







#### **4.2.4. Análisis de planos geoquímicos**

Para la elaboración de planos geoquímicos de isovalores, se ha usado diferentes softwares, los cuales han sido adaptados en función a las características geológicas de superficie.

Del total de muestras tomadas (1,096), todas han sido analizadas por oro, pero no necesariamente tienen análisis de los elementos guías, a continuación se describen las anomalías de cada elemento.

- **ORO**

Valores por encima de 100 ppb muestran concentraciones aisladas no definidas, cabe resaltar que en superficie solo 14 muestras son mayores a 1000 ppb., sin embargo el contorno para valores mayores al threshold (30 ppb), reflejan un cuerpo continuo de tendencia NW , el cual se extiende por unos 600 m. de largo con un ancho de 100 m. aproximadamente y definida sobre la zona de alteración de sílice granular (Figura N° 9).

- **PLATA**

Muestra una anomalía muy débil, aunque algo moderada en el sector sur-este, asociados a zonas de estructuras NW. La tendencia general es NW, y la débil anomalía circunda a la del oro reflejando un zonamiento oro-plata (Figura N° 10).

- **MERCURIO**

La anomalía prácticamente cubre toda el área de trabajo, pero se identifican dos concentraciones de valores muy altos ( > 5,000 ppb). La primera está localizada en el sector sur-oeste del depósito y está asociada a una zona de alteración de sílice opalina y ensamble sílice-clay.

La segunda anomalía está localizada inmediatamente al nor-este de la anomalía de oro, en la zona alta del cerro Chaquicocha, con una tendencia muy marcada NW. Existe además una anomalía moderada superpuesta a la anomalía de oro, ello puede reflejar la buena

correlación que existe entre el oro y valores moderados de Hg. (Figura N° 13).

- **ARSENICO**

Muestra una anomalía muy bien definida de orientación NW, la cual se superpone a la anomalía moderada de la zona central de mercurio, ello reflejaría la correlación moderada entre ambos elementos (Figura N° 11).

- **ANTIMONIO :**

El antimonio muestra débiles anomalías que se correlacionan con las anomalías de oro, sin embargo existen fuertes anomalías hacia el sur-oeste de las anomalías de oro que reflejan la misma tendencia (Figura N° 14).

- **PLOMO**

El plomo en función a los rangos definidos distritalmente, no muestra anomalía importante (casi nula). Pero si consideramos un valor threshold definido por el histograma, se identifica un cuerpo continuo y muy similar al del antimonio, algo que se refleja en las familias de correlación (Figura N° 17).

- **BARIO**

La anomalía de bario es bien definida al sur-oeste del área, éstas muestran una tendencia NW similar al resto de elementos. Hacia la zona central del área las anomalías son difusas (Figura N° 15).

- **BISMUTO**

No existe mucha información superficial de bismuto, pero es posible reconocer la tendencia general NW igual a las del resto de los elementos (Figura N° 16).

- **ZINC**

Las concentraciones fuertes de zinc están ubicadas en las zonas periféricas del área, principalmente asociada a alteraciones de roca

propilitizada. Es muy difusa y débil en la zona central, donde predomina la alteración silícea. (Figura N° 18)

## Geoquímica de Oro

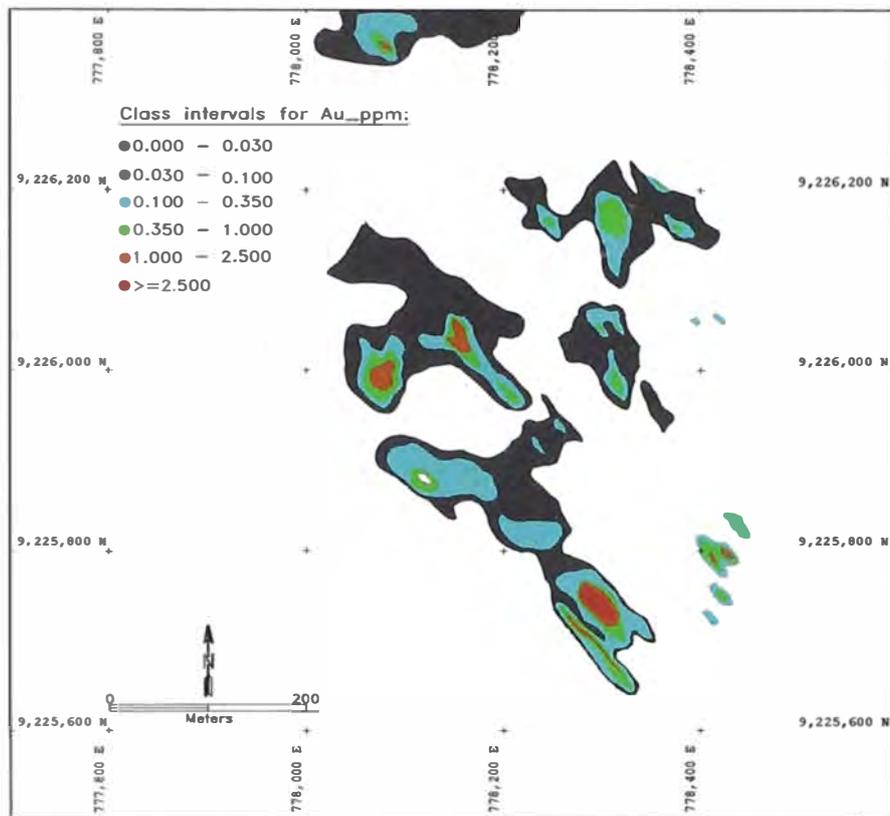
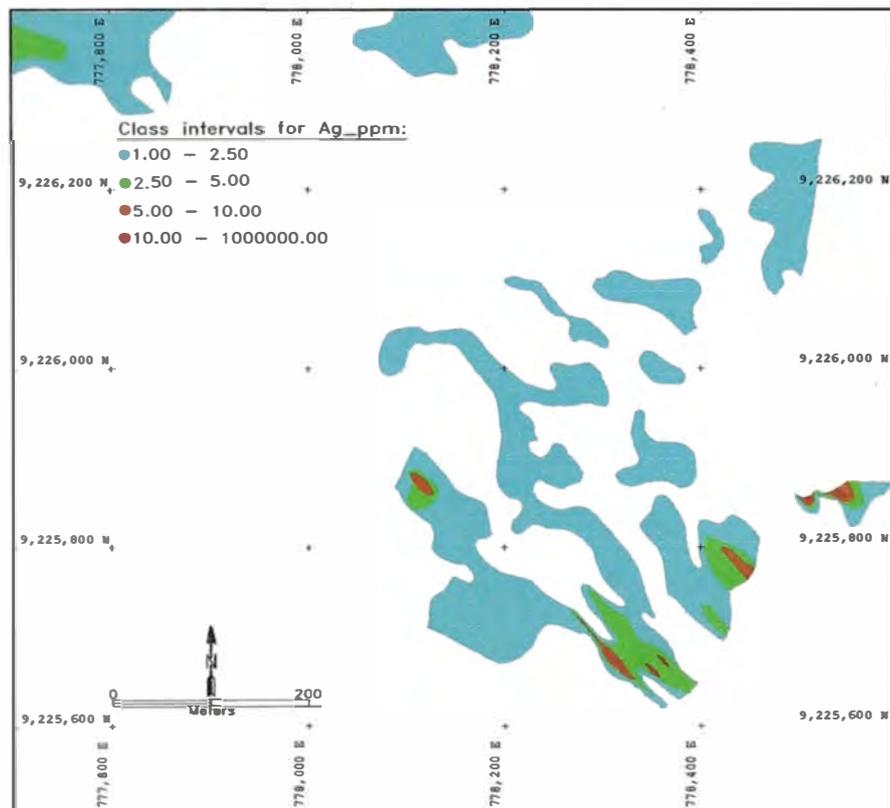


Figura N° 9

## Geoquímica de Plata



## Geoquímica de Arsénico

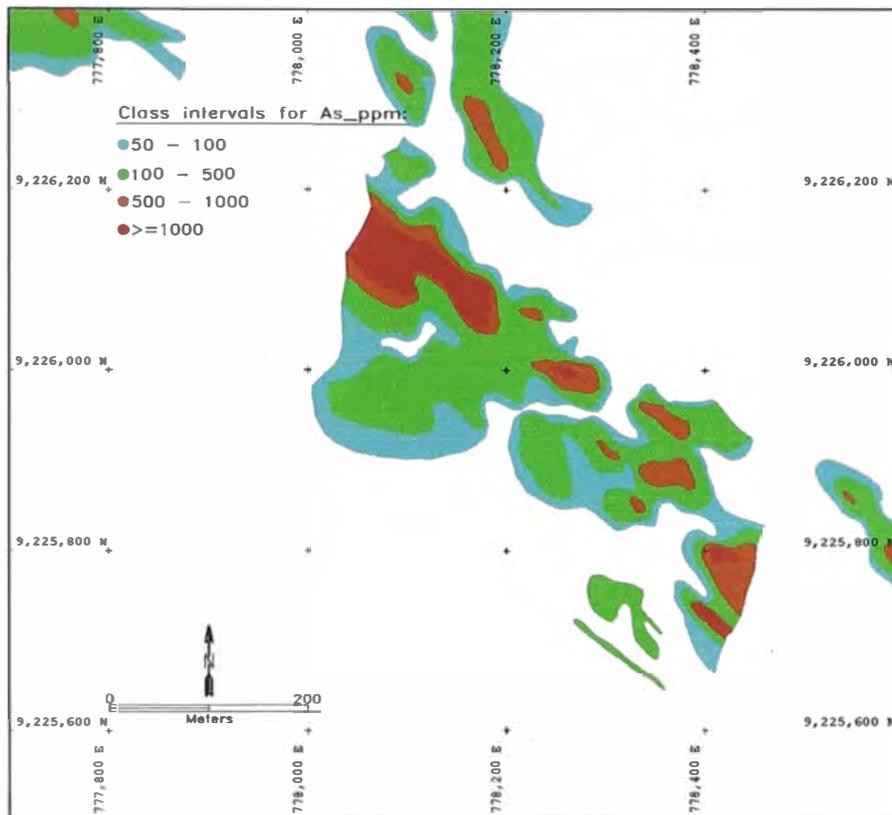
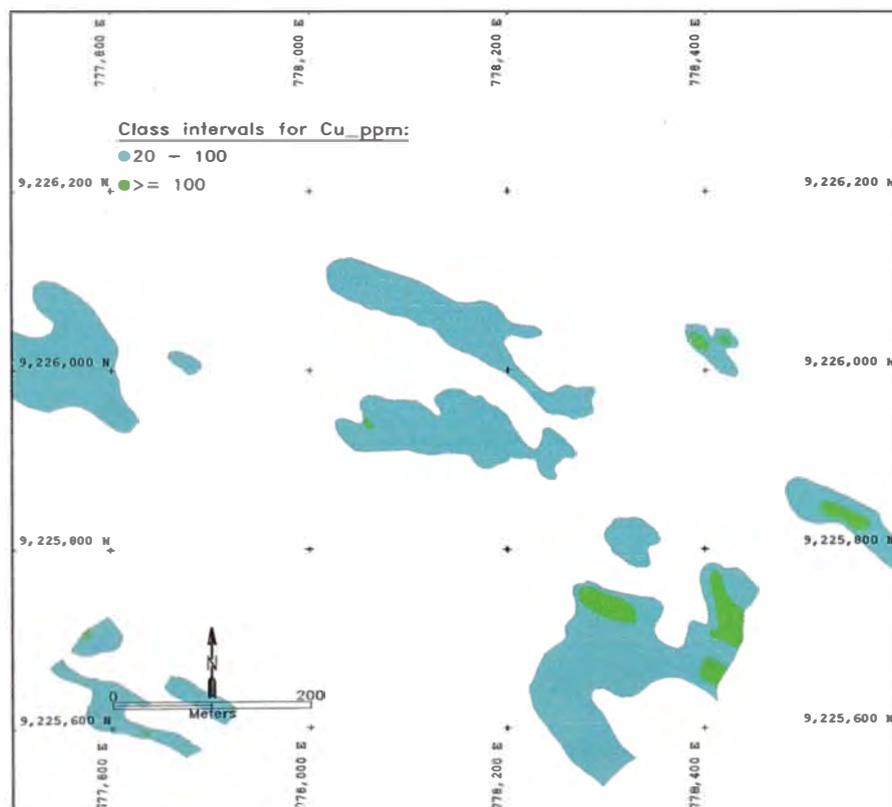


Figura N° 11

## Geoquímica de Cobre



## Geoquímica de Mercurio

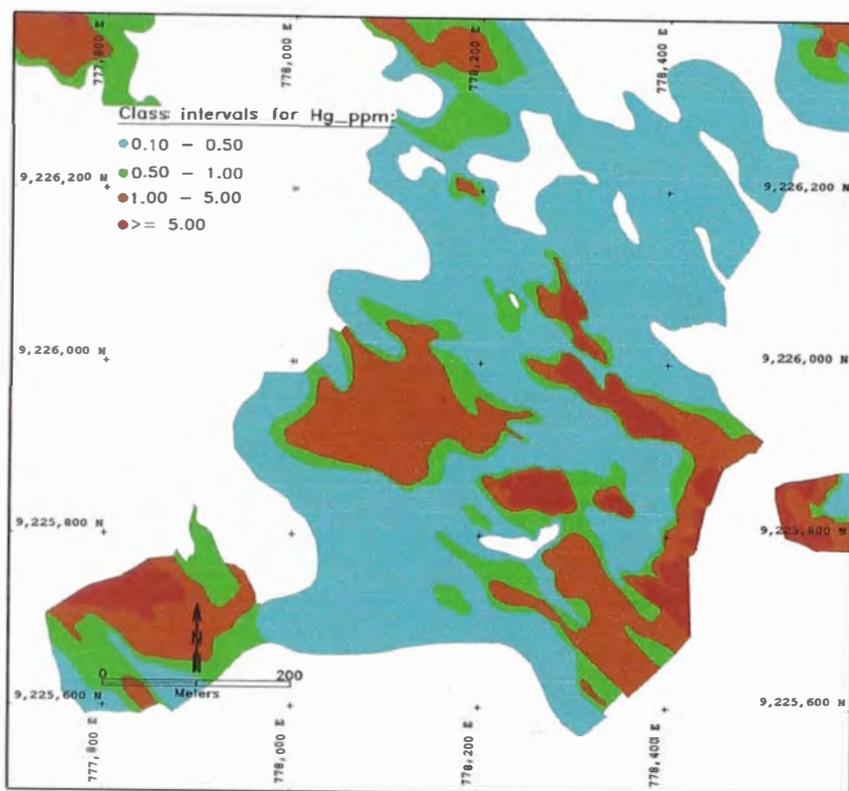


Figura N° 13

## Geoquímica de Antimonio

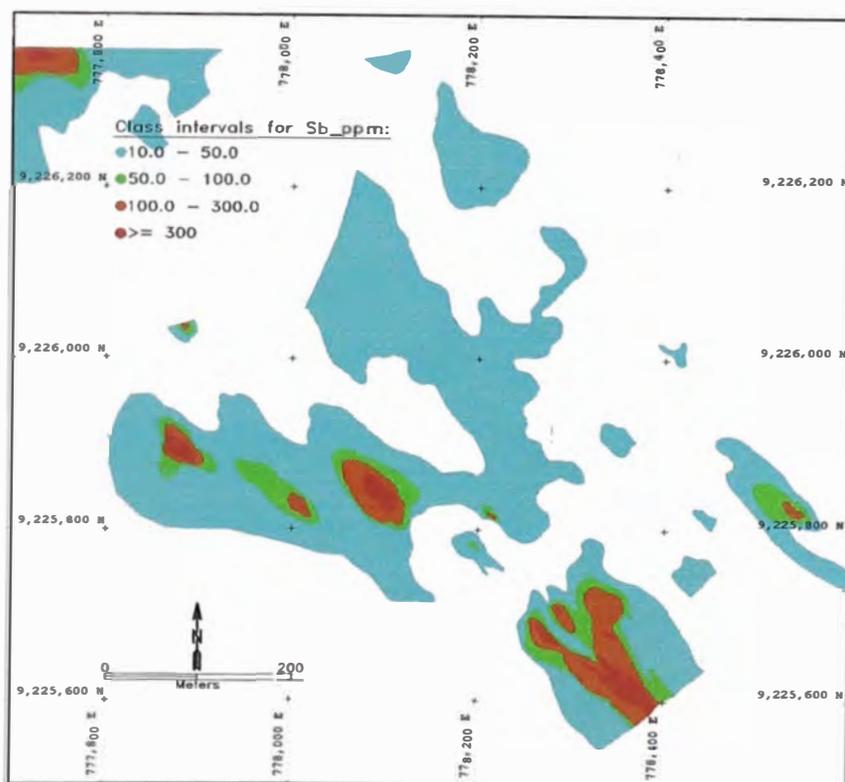


Figura N° 14

## Geoquímica de Bario

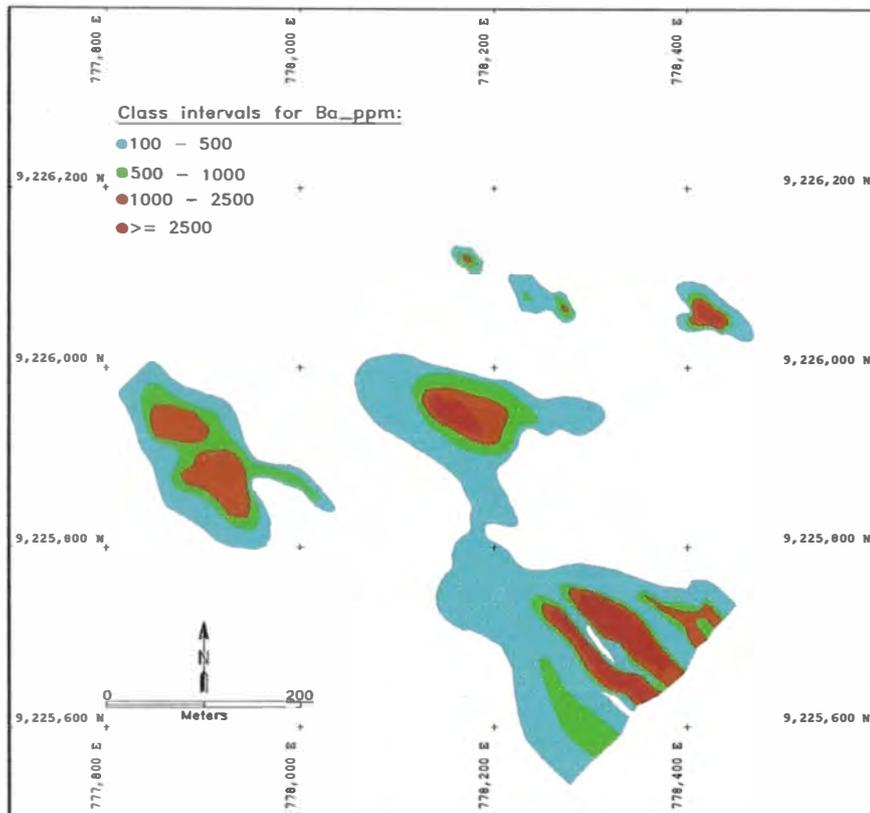
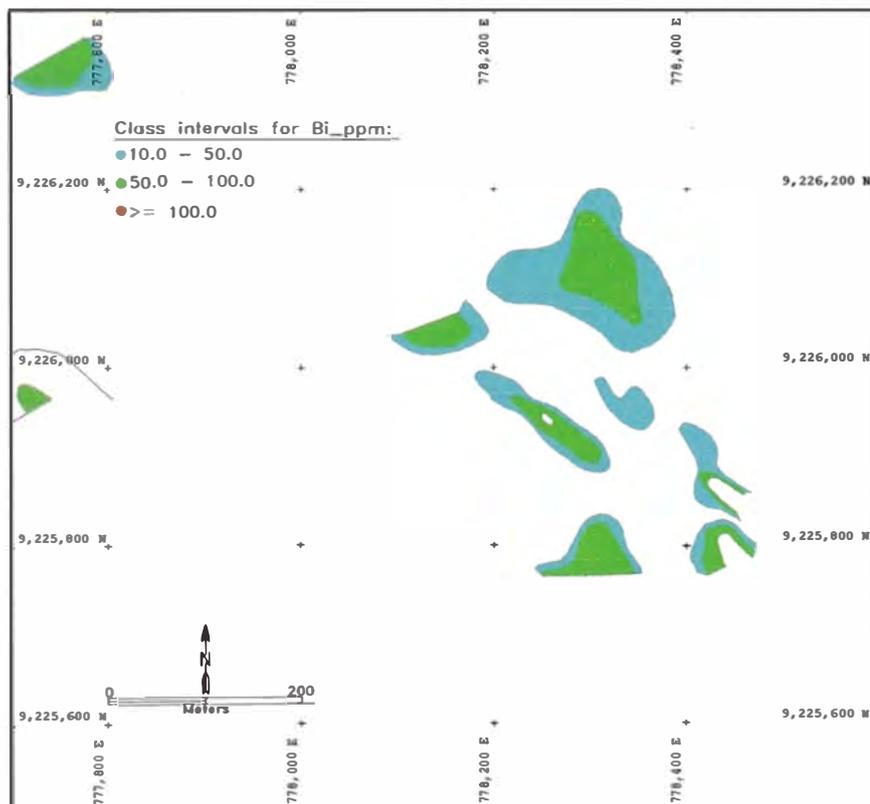


Figura N° 15

## Geoquímica de Bismuto



## Geoquímica de Plomo

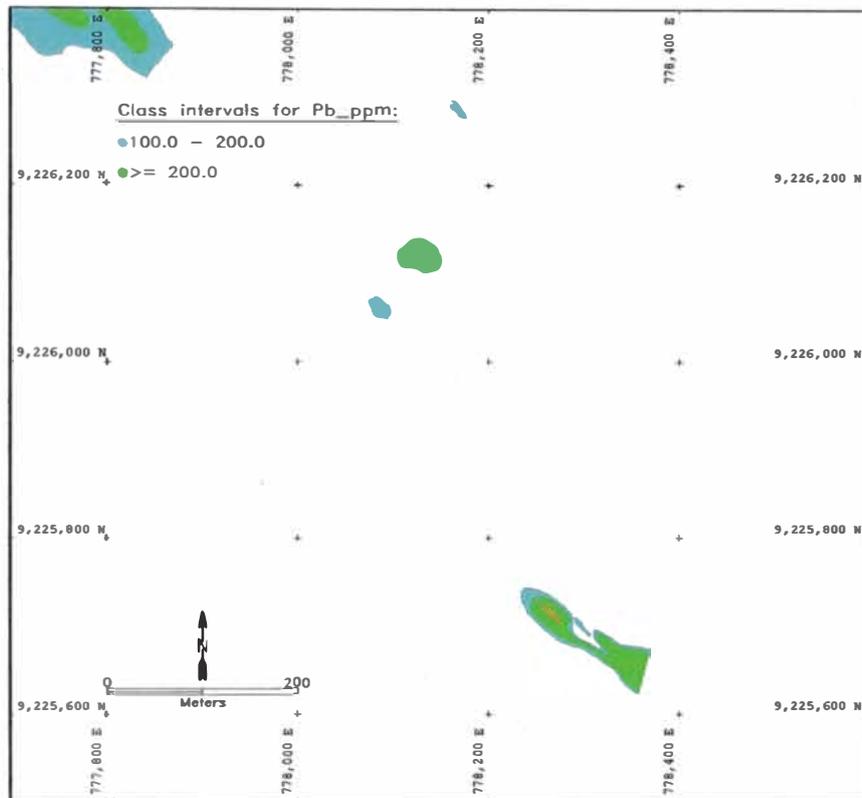
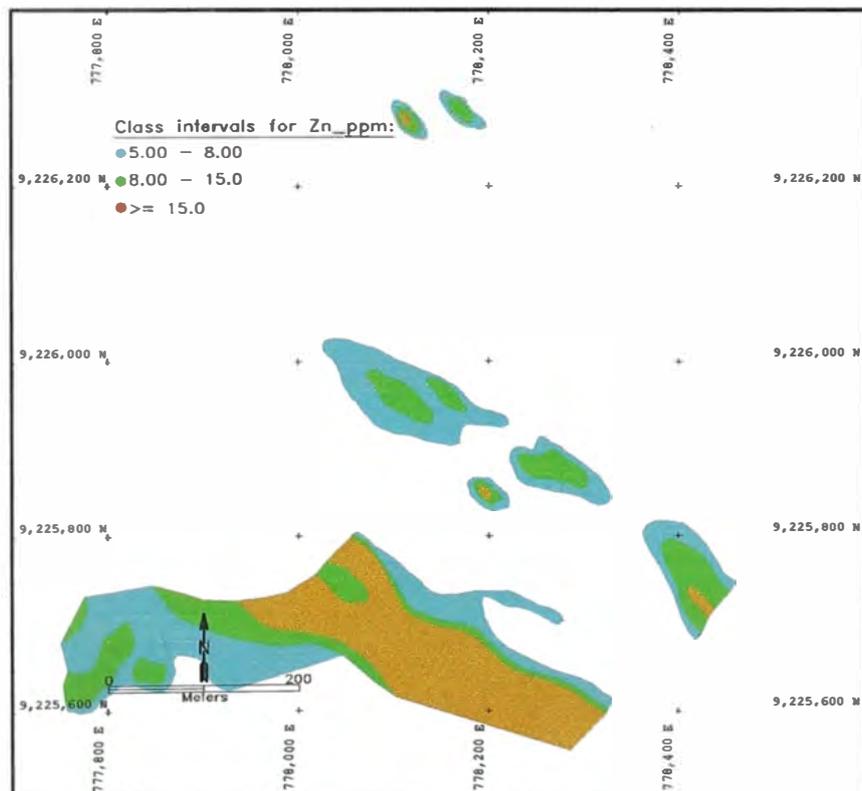


Figura N° 17

## Geoquímica de Zinc



## 5. GEOQUIMICA DE SONDAJES

El estudio geoquímico de sondajes tiene por objeto verificar el comportamiento de los elementos guías definidos por la geoquímica superficial en todo el cuerpo mineralizado, a la vez ayudar a entender los patrones que controlan su emplazamiento dentro del proceso hidrotermal y que con ello se ayude a la búsqueda de nuevos depósitos escondidos.

### 5.1. METODOLOGIA

Para el estudio geoquímico de los sondajes se ha desarrollado el siguiente procedimiento:

Se han escogido en total 60 sondajes de los 250 perforados en el depósito, en promedio las profundidades verticales perforadas varían entre 250 y 380 m (Figura N° 30).

Se han elaborado muestras compósitos cada 10m los cuales han sido analizados para Au, Ag, Cu ,As, Sb, Hg, Pb, Ba, Zn y Bi utilizando el método de análisis de absorción atómica.

El tratamiento de secado ha sido a 90° de temperatura, para no permitir la pérdida de elementos volátiles.

A los resultados se le ha realizado el análisis estadístico para evaluar el comportamiento de las poblaciones de leyes, definiéndose el comportamiento log-normal en todos los elementos analizados.

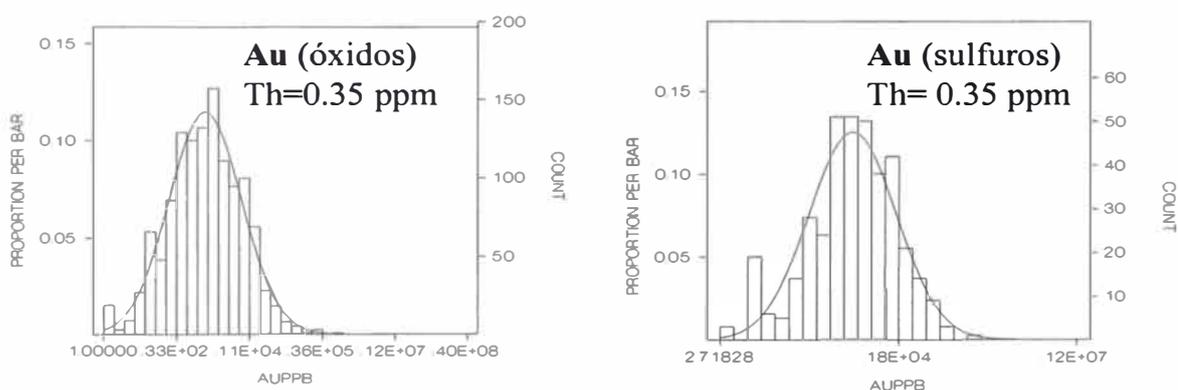
Para el estudio de los histogramas y matrices de correlación, se ha dividido la base de datos en dos sub-bases que representan la zona de óxidos y sulfuros respectivamente, cada una de ellas ha sido tratada independientemente.

## 5.2. ANALISIS ESTADISTICO

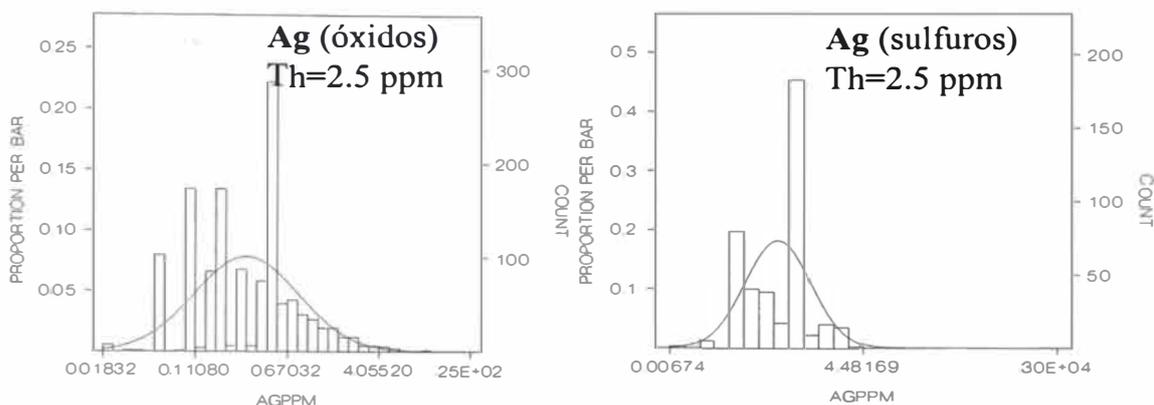
Se ha usado los mismos rangos geoquímicos utilizados para la geoquímica superficial, de tal modo que los análisis estadísticos sean comparativos.

### 5.2.1. Análisis de Histogramas

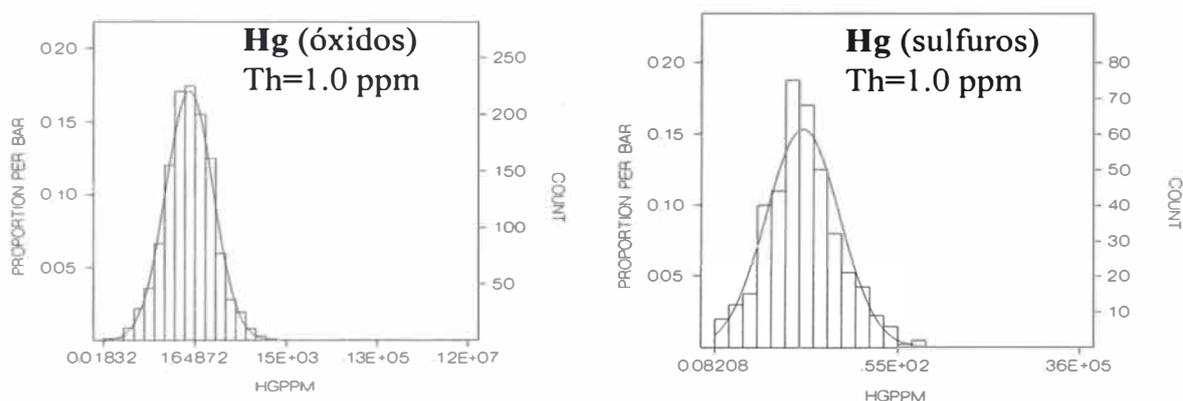
**ORO:** A diferencia del histograma en la geoquímica superficial que muestra un histograma unimodal sesgado hacia las leyes altas, en los sonadajes muestra un histograma centrado tanto para sulfuros como para óxidos, el valor de la media en óxidos es de 128.6, mientras en sulfuros es 333.8, lo cual manifiesta un incremento de leyes en sulfuros.



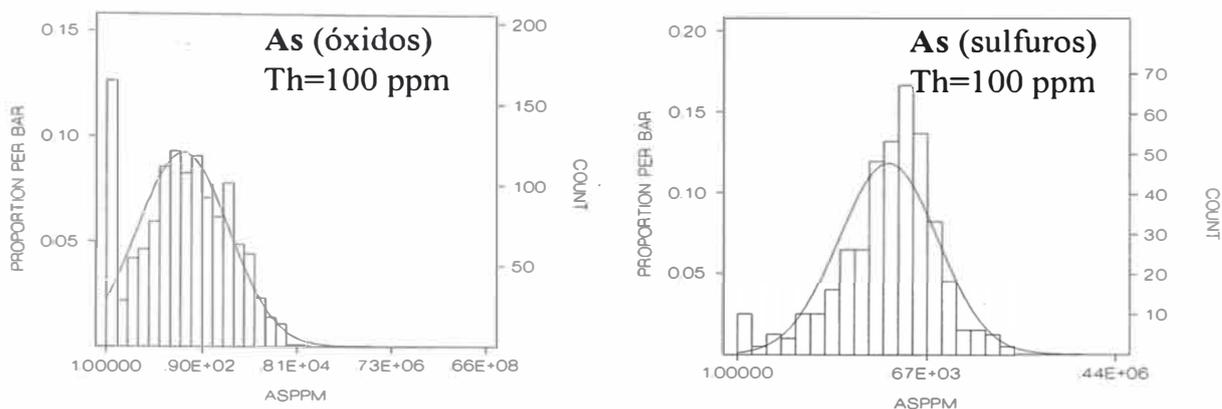
**PLATA:** El comportamiento de los histogramas del nivel de óxidos como en superficie son muy similares, aunque la media en superficie es mas del doble que la zona de óxidos (0.74 a 0.33), manifiesta una disminución de las leyes de Ag dentro del cuerpo principal de mineralización. En la zona de sulfuros, el histograma no es muy definido, aparentemente está distorsionado por los valores menores al límite de detección. La media es 0.255, y esta se enriquece hacia superficie.



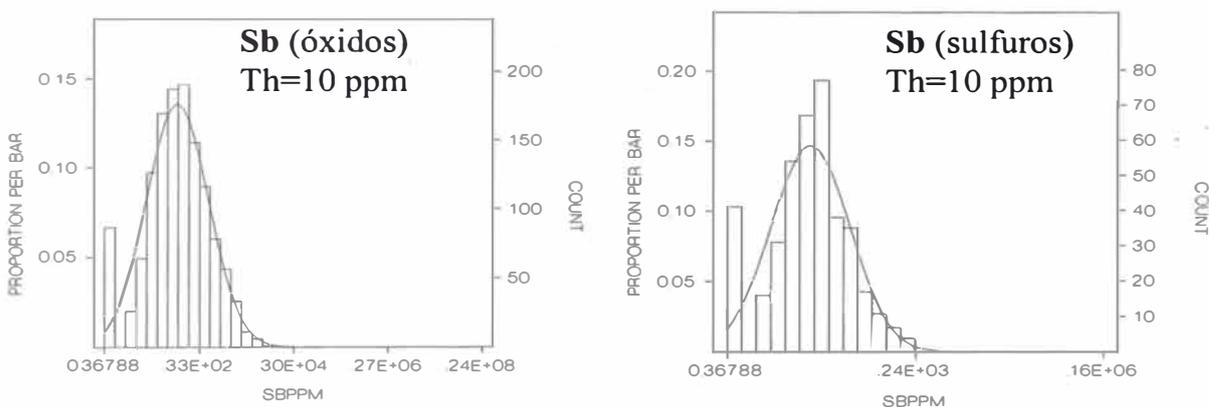
- **MERCURIO:** Presenta un histograma unimodal centrado similar al de la población principal de la geoquímica superficial y con similares rangos, pero con una media mayor. En la zona de sulfuros, el histograma es unimodal con un ligero sesgo hacia los leyes altas y una media mayor que ambas.



**ARSÉNICO:** El histograma no es muy definido, aparentemente es bimodal, con una concentración muy alta en el valor de 1ppm, probablemente asociado a una distorsión de valores menores al límite de detección. No correlaciona con el histograma unimodal de superficie. En la zona de sulfuros es unimodal, pero sesgado hacia los valores de menor ley, la media es cuatro a cinco veces mayor de la de superficie y de La zona de óxidos, lo que evidencia un enriquecimiento en la zona de sulfuros, asociado probablemente a la mineralización primaria de enargita.

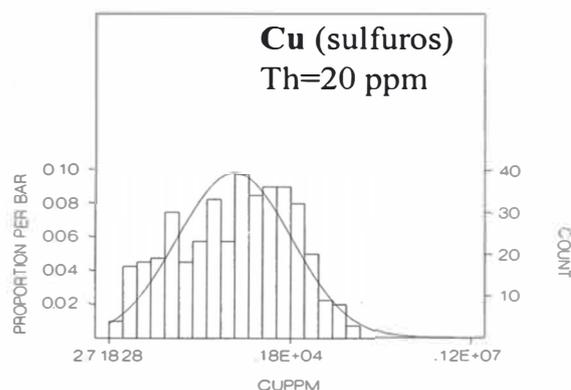
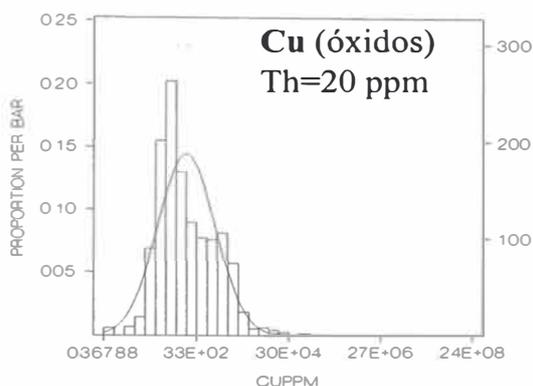


- **ANTIMONIO:** Es unimodal en ambas zonas como en la superficie, presentan ligero sesgo hacia los valores altos, aunque en superficie es mucho mas conspicuo. La media disminuye desde 25.01 en superficie, a 11.6 en la zona de óxidos y 6.4 en la zona de sulfuros, lo que manifiesta un enriquecimiento del antimonio hacia los niveles altos del sistema.

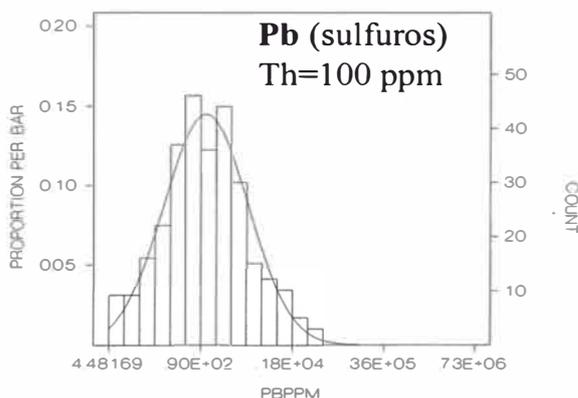
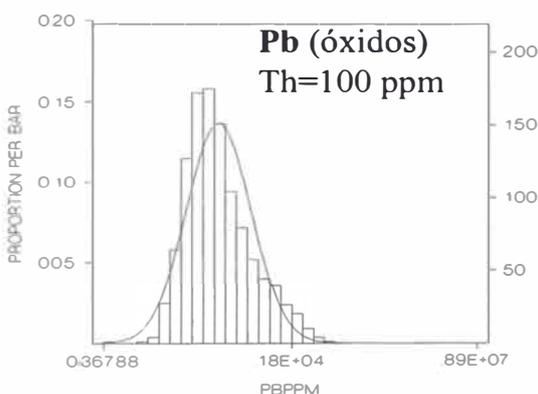


**COBRE:** En la zona de óxidos presenta un histograma bimodal, lo que evidencia dos poblaciones, la principal tiene valores entre 1.00 – 128 ppm con una media de 12 ppm, la segunda población (menor) corresponde a leyes de 24 – 768 ppm. Un análisis de ley versus profundidad para 10 sondajes , muestra niveles de concentración y de lixiviación del cobre, lo cual podría explicar el comportamiento bimodal del cobre

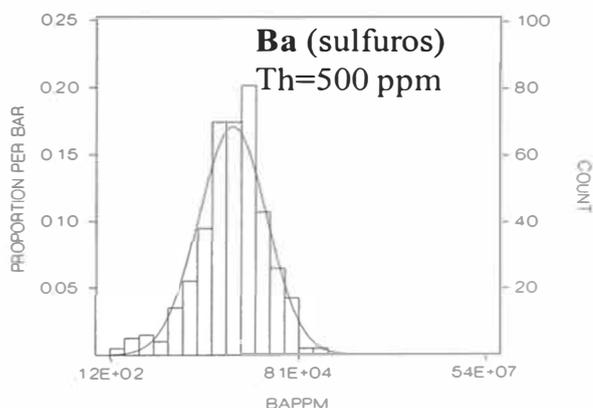
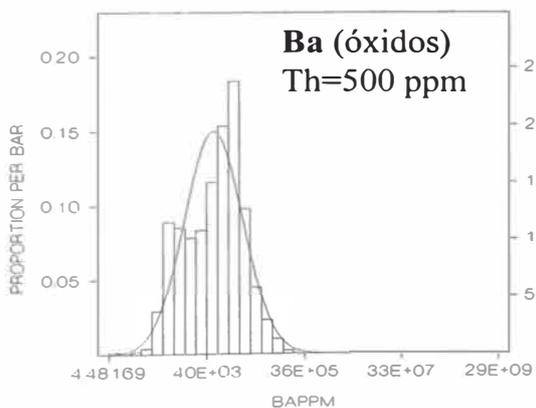
El la zona de sulfuros, el histograma es difuso, similar problema se presenta en superficie. Aparentemente es bimodal lo cual podría indicar zonas de concentración de sulfuros secundarios de cobre.



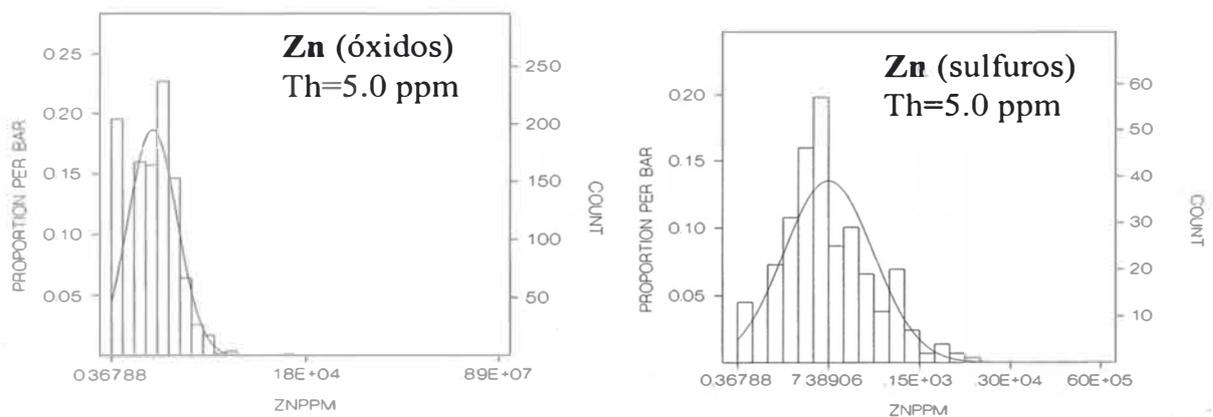
- **PLOMO:** Es unimodal para ambas zonas, los histogramas de superficie como la de óxidos son muy similares, sesgados hacia los valores altos aunque la media en el cuerpo es el doble de la de superficie. En la zona de sulfuros el histograma es mas centrado y tiene una media dos veces mayor que la de óxidos.



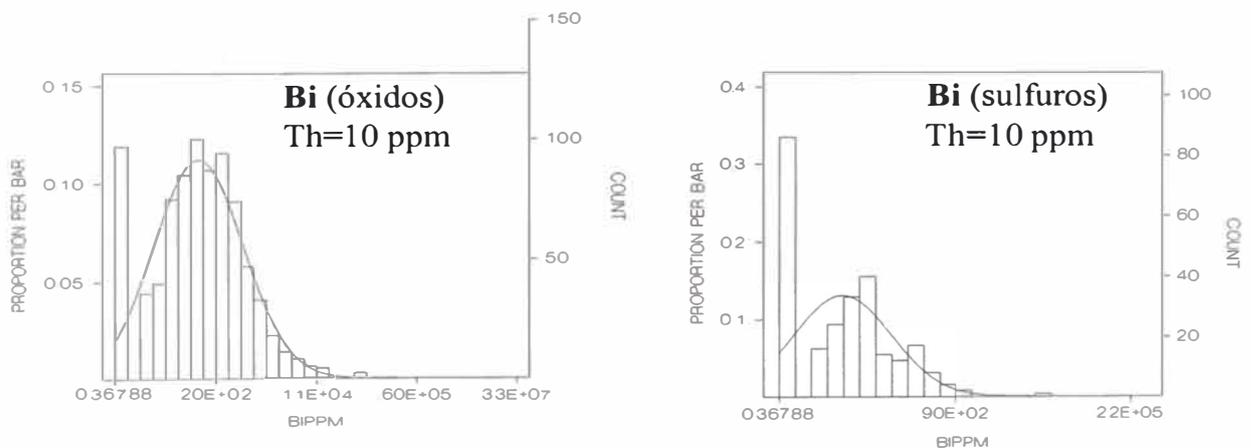
- **BARIO:** En la zona de óxidos muestra un histograma bimodal, mientras que en la zona de sulfuros es unimodal sesgado hacia las leyes menores, no correlacionan con el comportamiento trimodal definido en superficie.



**ZINC:** El histograma de la zona de óxidos no es muy definido, probablemente distorsionado por valores menores al límite de detección, aunque manifiesta un comportamiento unimodal. En la zona de sulfuros, el histograma es bien definido, unimodal sesgado hacia los valores altos, ambas difieren con el comportamiento trimodal determinado en la geoquímica superficial y pese a que muestran algunos valores anómalos importantes, las medias en todos los casos asociados al buck ground del área.



**BISMUTO:** A diferencia de la geoquímica superficial que es bimodal, el comportamiento de los histogramas tanto en la zona de óxidos como en los sulfuros son unimodales. La media decrece desde superficie hasta la zona de sulfuros, lo cual es un indicador que el bismuto se enriquece hacia los niveles altos del sistema.



### 5.2.2. Análisis de Correlación

Se ha utilizado el mismo criterio de trabajo usado en la geoquímica superficial, para lo cual se ha elaborado matrices de correlación a distintos valores mínimos de oro (cut off). Considerando que los sondajes se ubican dentro del cuerpo mineralizado, estos cut off son: Población total,  $\geq 100$  ppb,  $\geq 350$  ppb,  $\geq 500$  ppb y  $\geq 1000$  ppb. Por otro lado las zonas de óxidos y sulfuros se han tratado en bases distintas.

Para el análisis de correlaciones se ha elaborado gráficos que muestran el comportamiento de los elementos trazas tanto en superficie como en las zonas de óxidos y sulfuros.

- **ORO - PLATA**

La correlación incrementa entre la población total y cut off de 100 ppb Au de 0.81 y 0.73 para óxidos y sulfuros hasta 335 y 356 respectivamente, un comportamiento muy similar a la correlación en superficie. A partir de este punto la disminución de la correlación es abrupta en la zona de sulfuros (similar a la de superficie), pero en la zona de óxidos esta disminución es moderado obteniéndose 0.209 para un Au cut off 1000 ppb.

- **ORO - MERCURIO**

Para la zona de óxidos, la correlación se mantiene casi uniforme entre 0.452 y 0.346 para la población total hasta cut off 1000 Au, mientras que en la zona de sulfuros, solo para la población cutoff 100 ppb Au es positivo (0.15), siendo para el resto de poblaciones negativa entre -0.15 y -0.173.

- **ORO - ARSENICO**

Para la población total la correlación arsénico - oro es la misma que para la zona oxidada y de sulfuros con un valor de 0.269, ligeramente

superior a la correlación en superficie de 0.215. Sin embargo a partir de la población cut off de 100ppb de Au de la zona de óxidos, esta desciende abruptamente hasta hacerse nula a partir de la población cut off 350ppb Au (0.037) y débilmente negativa para la población cut off 1000 ppb Au. (-0.025).

Contrariamente la correlación en la zona de sulfuros se incrementa hasta 0.338 en la población cut off 350ppb Au y luego descienda hasta 0.2 para la población cut off 1000ppb Au. Ello debe estar relacionado a la presencia de enargita y su asociación con el oro.

- **ORO - COBRE**

Una correlación débil a ligeramente moderada se observa para la población total de la zona de óxidos (0.277), muy cerca al 0.305 de la geoquímica superficial, ésta va disminuyendo hasta hacerse prácticamente nula en la población cut off de 1000 ppb Au. (0.055).

En la zona de sulfuros, se observa una moderada a fuerte correlación (0.538), esta disminuye paulatinamente, haciéndose moderada para las poblaciones cut off 100 y 350 ppb Au (0.394, 0.361), y débiles para las poblaciones cut off 500 y 1000 ppb Au (0.279, 0.205) respectivamente. Esta fuerte diferencia con la zona de óxidos está asociado a la presencia de mineralización secundaria y primaria de cobre en la zona de sulfuros.

- **ORO - ANTIMONIO**

Prácticamente no existe correlación tanto en la zona de óxidos como en la zona de sulfuros entre ambos elementos ( $<0.1$ ), sin embargo ambas gráficas describen similar comportamiento del antimonio con el incremento de la ley de oro, pero para la población cut off 1000 ppb de Au, la correlación en sulfuros se hace negativa ( $-0.047$ ) y en la zona de óxidos se incrementa a 0.124. Distinto comportamiento se observa en la geoquímica superficial, cuyo coeficiente de correlación débil se mantiene mas consistente.

- **ORO - PLOMO**

La correlación para la población total en la zona de óxidos es débil a ligeramente moderado (0.307), esta disminuye progresivamente hasta hacerse casi nula en la población cut off 350ppb de Au (0.022), a partir de este punto se mantiene homogéneo, muestra alguna similitud con el comportamiento del plomo en la geoquímica superficial.

En la zona de sulfuros, la correlación no varía con el incremento de la ley de oro, manteniéndose entre los rangos de -0.056 y -0.118.

- **ORO - BARIO:**

En la zona de óxidos no existe mayor variación de la correlación entre ambos elementos con el incremento de la ley de oro, manteniendo un valor promedio entre 0.191 y 0.315 (correlación débil), sin embargo en la zona de sulfuros la correlación se incrementa desde 0.317 para la población total hasta 0.404 (correlación moderada) para la población cut off 500 ppb de Au, luego disminuye a 0.273 para la población cut off 1000 ppb de Au.

La correlación en la zona de sulfuros siempre es mayor para todas las poblaciones y ambos no reflejan el comportamiento del bario en superficie, probablemente esta discrepancia se manifiesta en el histograma tri-modal que muestra el bario en superficie.

- **ORO - ZINC**

La correlación en la zona de óxidos va incrementando lentamente desde -0.072 en la población total hasta 0.188 en la población cut off de 1000 ppb Au, difiere completamente con el comportamiento del zinc en superficie, donde para una población cut off de 1000 ppb Au se hace fuertemente negativa (-0.69).

En la zona de sulfuros la correlación incrementa desde -0.092 en la población total a 0.165, manteniéndose casi homogénea hasta la población cut off 500ppb de Au. Para la población cut off 1000 ppb Au, la correlación es nula (0.032)

- **ORO - BISMUTO**

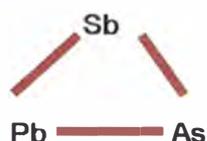
En la zona de óxidos, la correlación entre ambos elementos se mantiene relativamente homogéneo con el incremento de la ley de oro desde 0.207 en la población total hasta 0.278 para la población cut off 350 ppb Au y luego decrece a 0.226 en la población cut off 1000 ppb Au.

La correlación en la zona de sulfuros es prácticamente nula y homogénea para todas las poblaciones cut off de oro, varía entre  $-0.35$  a  $0.081$ .

Ambas zonas difieren considerablemente con el comportamiento del bismuto en superficie, en la cual la correlación se incrementa sucesivamente desde  $-0.021$  en la población total hasta  $0.915$ ,  $0.975$  y  $0.988$  en las poblaciones cut off 350, 500 y 1000 ppb de Au respectivamente. Este incremento importante de la correlación en superficie puede estar distorsionada por la poca población de muestras en las que se han calculados dichos datos (8, 6, y 4 muestras).

### 5.2.3. Elementos Afines

Se ha procedido de forma similar al análisis realizado en la geoquímica superficial. Para la zona de óxidos se han identificado dos familias muy características.

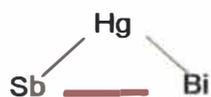


Este trío de elementos mantiene una muy buena correlación en todas las poblaciones de oro, y se manifiesta muy claro a partir de los 100 ppb de oro



La correlación que mantienen a partir de los 100 ppb de oro es similar y de forma moderada

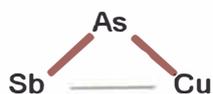
El comportamiento de los elementos en la zona de sulfuros difiere de la zona de óxidos, sin embargo la familia formada por el mercurio, antimonio y bismuto mantienen su comportamiento.



Mantiene el comportamiento de la zona de óxidos.



La muy buena correlación del arsénico con el cobre está asociada a la mineralización primaria de enargita.



Se manifiesta a partir de la población cut off de 350 ppb, y mantiene su comportamiento hasta los valores altos de oro.

### Gráfico de Correlación (Población total) Nivel de Oxidos

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.08
Au: Hg	0.45
Au: As	0.26
Au: Sb	-0.050
Au: Cu	0.27
Au: Pb	0.30
Au: Ba	0.19
Au: Zn	-0.072
Au: Bi	0.20

#### Lineas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

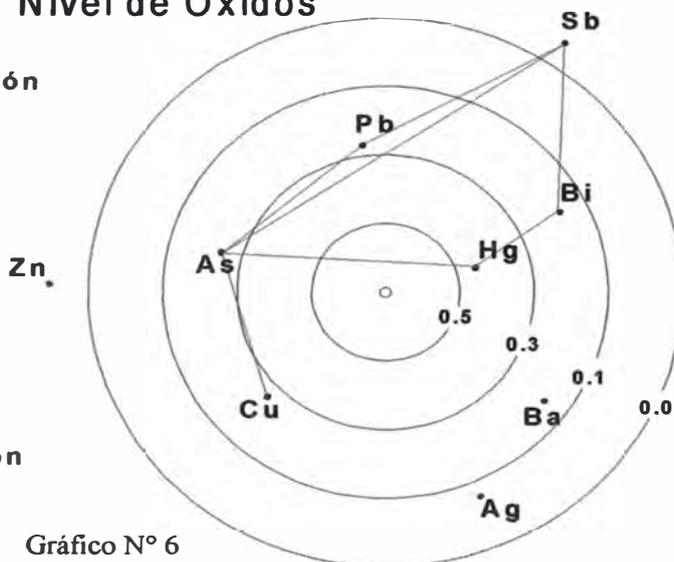


Gráfico N° 6

### Gráfico de Correlación (Población total) Nivel de Sulfuros

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.07
Au: Hg	-0.015
Au: As	0.26
Au: Sb	-0.074
Au: Cu	0.53
Au: Pb	-0.072
Au: Ba	0.31
Au: Zn	-0.092
Au: Bi	-0.035

#### Lineas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

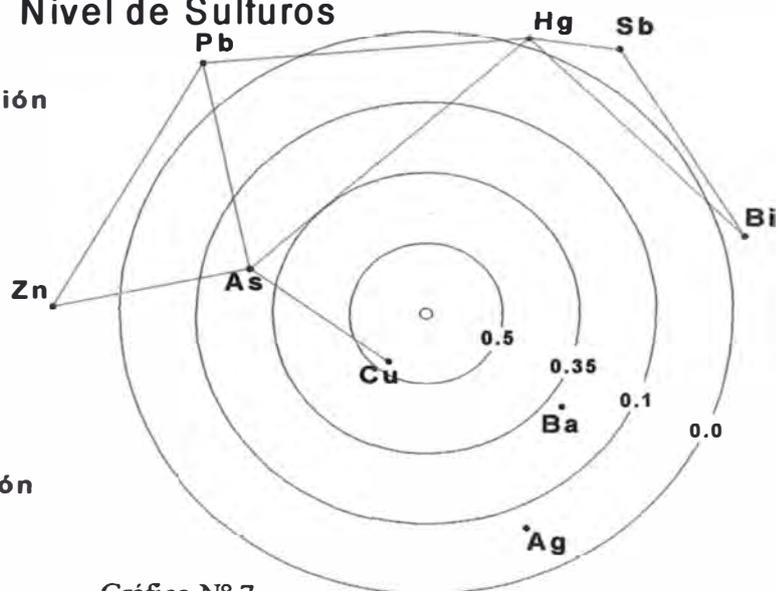


Gráfico N° 7

### Gráfico de Correlación (Cut off 100 ppb Au) Nivel de Oxidos

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.33
Au: Hg	0.42
Au: As	0.18
Au: Sb	0.13
Au: Cu	0.16
Au: Pb	0.16
Au: Ba	0.31
Au: Zn	-0.007
Au: Bi	0.24

#### Lineas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

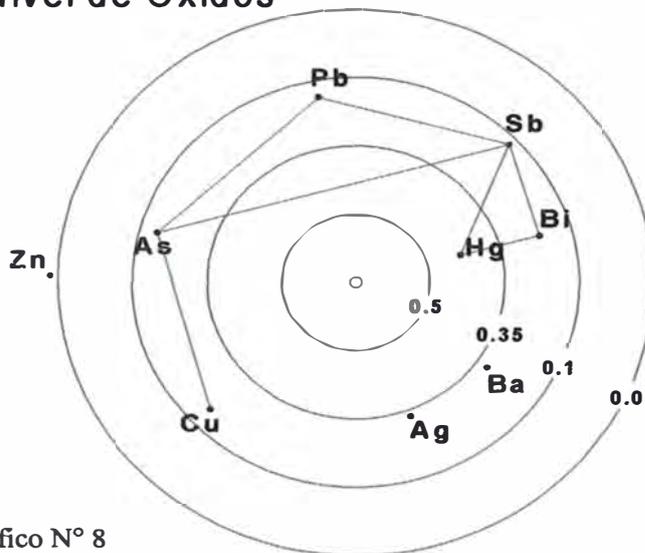


Gráfico N° 8

### Gráfico de Correlación (Cut off 100 ppb Au) Nivel de Sulfuros

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.35
Au: Hg	0.15
Au: As	0.32
Au: Sb	0.14
Au: Cu	0.39
Au: Pb	-0.058
Au: Ba	0.32
Au: Zn	0.16
Au: Bi	0.03

#### Lineas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

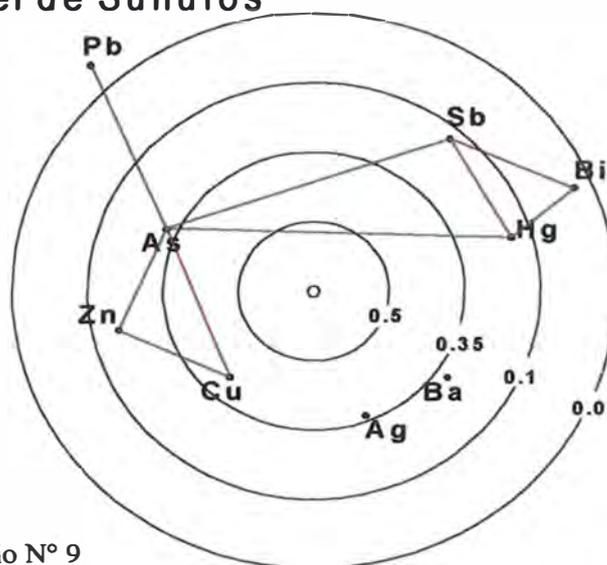


Gráfico N° 9

### Gráfico de Correlación (Cut off 350 ppb Au) Nivel de Oxidos Pb

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.31
Au: Hg	0.35
Au: As	0.03
Au: Sb	0.07
Au: Cu	0.06
Au: Pb	0.02
Au: Ba	0.26
Au: Zn	0.11
Au: Bi	0.27

#### Lineas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

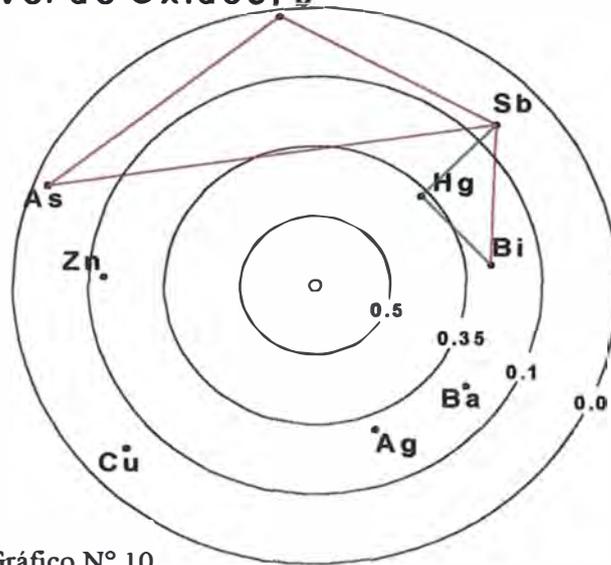


Gráfico N° 10

### Gráfico de Correlación (Cut off 350 ppb Au) Nivel de Sulfuros

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.19
Au: Hg	-0.033
Au: As	0.33
Au: Sb	0.04
Au: Cu	0.36
Au: Pb	-0.118
Au: Ba	0.38
Au: Zn	0.12
Au: Bi	0.19

#### Lineas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

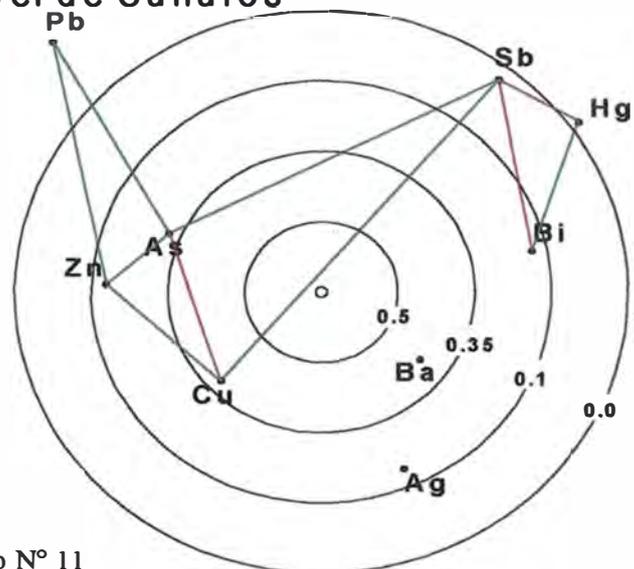


Gráfico N° 11

### Gráfico de Correlación (Cut off 500 ppb Au) Nivel de Oxidos

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.26
Au: Hg	0.31
Au: As	0.01
Au: Sb	0.08
Au: Cu	0.05
Au: Pb	0.02
Au: Ba	0.26
Au: Zn	0.13
Au: Bi	0.26

#### Líneas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

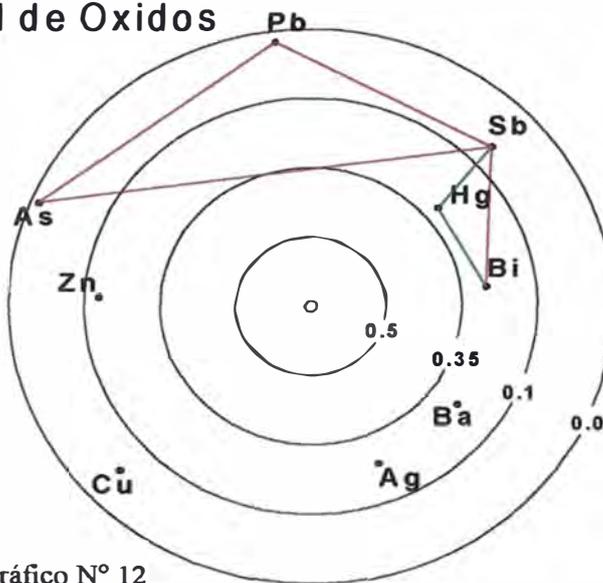


Gráfico N° 12

### Gráfico de Correlación (Cut off 500 ppb Au) Nivel de Sulfuros

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.10
Au: Hg	-0.173
Au: As	0.27
Au: Sb	0.06
Au: Cu	0.27
Au: Pb	-0.056
Au: Ba	0.40
Au: Zn	0.13
Au: Bi	0.08

#### Líneas de Correlación

> 0.50 —  
0.35 - 0.50 —

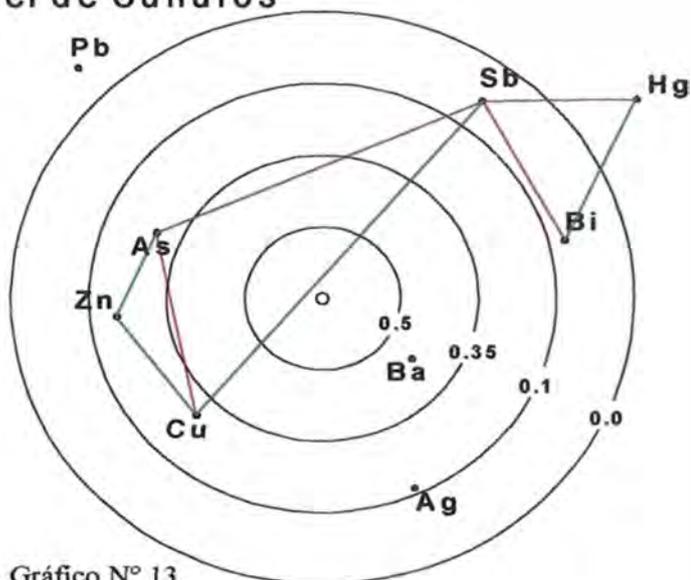


Gráfico N° 13

### Gráfico de Correlación (Cut off 1000 ppb Au) Nivel de Oxidos Pb

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.20
Au: Hg	0.34
Au: As	-0.028
Au: Sb	0.12
Au: Cu	0.05
Au: Pb	-0.010
Au: Ba	0.22
Au: Zn	0.18
Au: Bi	0.22

#### Lineas de Correlación

> 0.50 ————  
0.35 - 0.50 ————

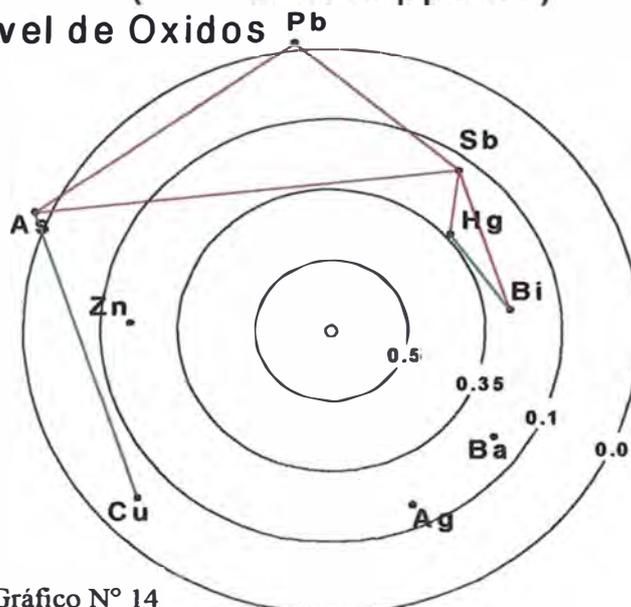


Gráfico N° 14

### Gráfico de Correlación (Cut off 1000 ppb Au) Nivel de Sulfuros

#### Valores de Correlación

Au: Ag	0.140
Au: Hg	-0.115
Au: As	0.199
Au: Sb	-0.047
Au: Cu	0.205
Au: Pb	-0.084
Au: Ba	0.273
Au: Zn	0.032
Au: Bi	-0.033

#### Lineas de Correlación

> 0.50 ————  
0.35 - 0.50 ————

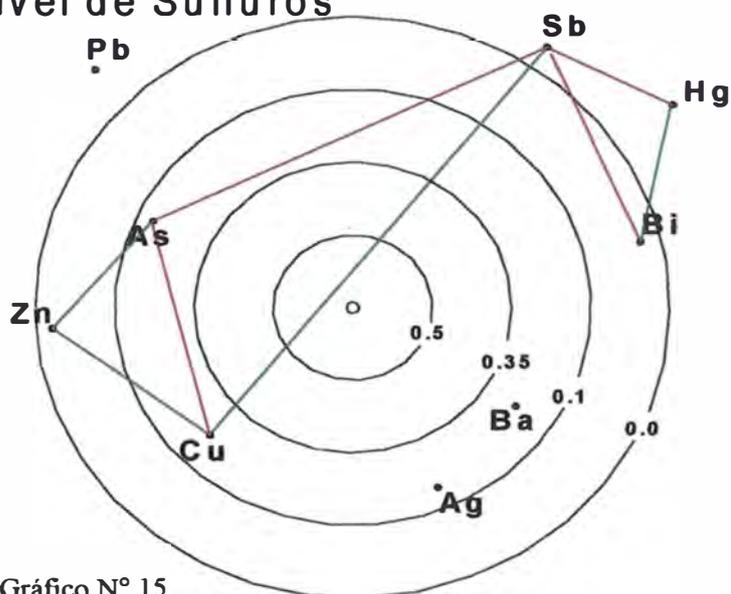


Gráfico N° 15

## 6. MODELAMIENTO GEOQUIMICO

### 6.1. METODLOGIA

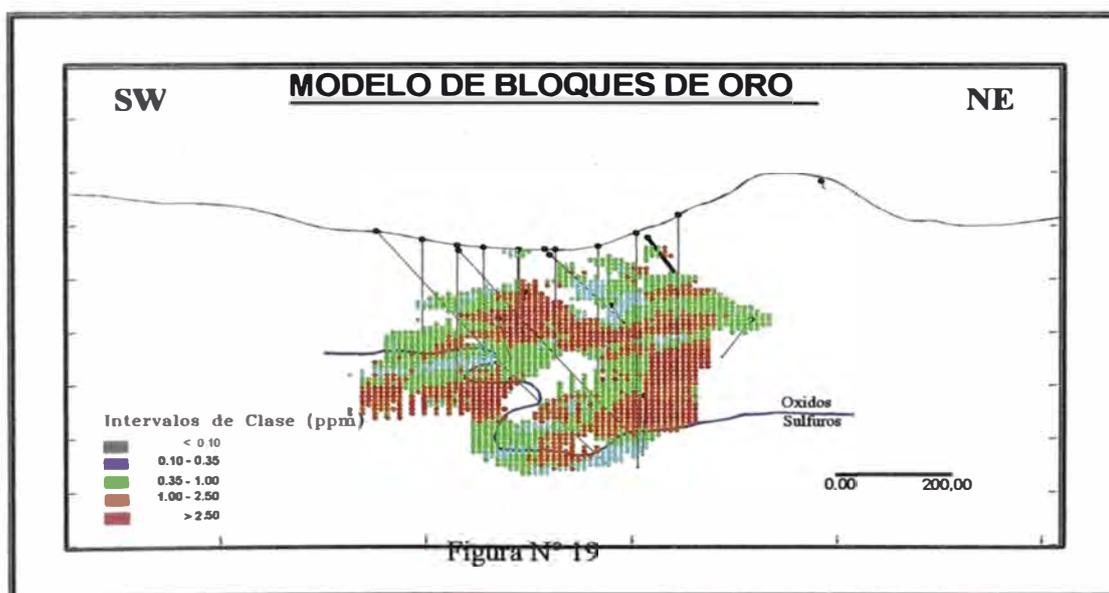
Para el modelamiento geoquímico se ha utilizado un software propio de la empresa (Geomodel). El método usado ha sido el inverso al cuadrado de la distancia, con el cual se han creado modelos de bloques tridimensionales para cada elemento.

El paso siguiente ha sido investigar en cuanto a las concentraciones de los diferentes elementos y proponer un modelo de distribución y zonamiento geoquímico en el cuerpo mineralizado de Chaquicocha Sur.

Se ha escogido la sección más representativa en dirección NE-SW ubicada en la parte central del cuerpo, con el objetivo de mostrar las concentraciones de los diferentes elementos.

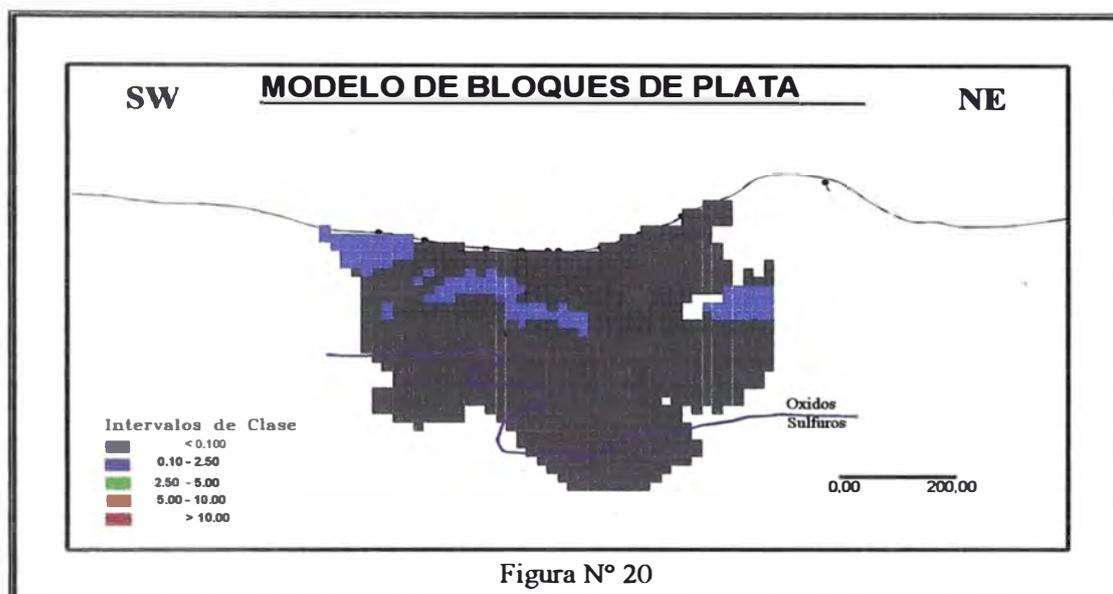
- **ORO**

El modelo refleja el comportamiento de la geoquímica superficial. Prácticamente es barren desde superficie hasta una profundidad de 80 a 100 m. en promedio. Las concentraciones profundizan hacia el SW con un bajo ángulo



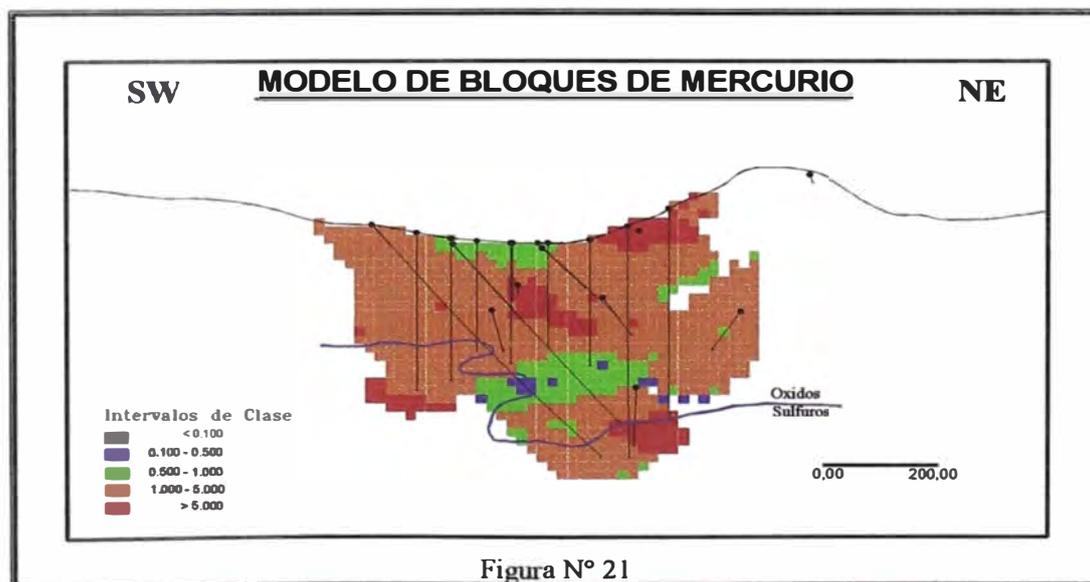
- **PLATA**

La Figura N° 32 muestra débiles concentraciones (entre 1 y 2.5 ppm) muy cerca al a superficie, Como en la geoquímica superficial, Chaquicocha Sur se caracteriza por la ausencia casi total de plata.



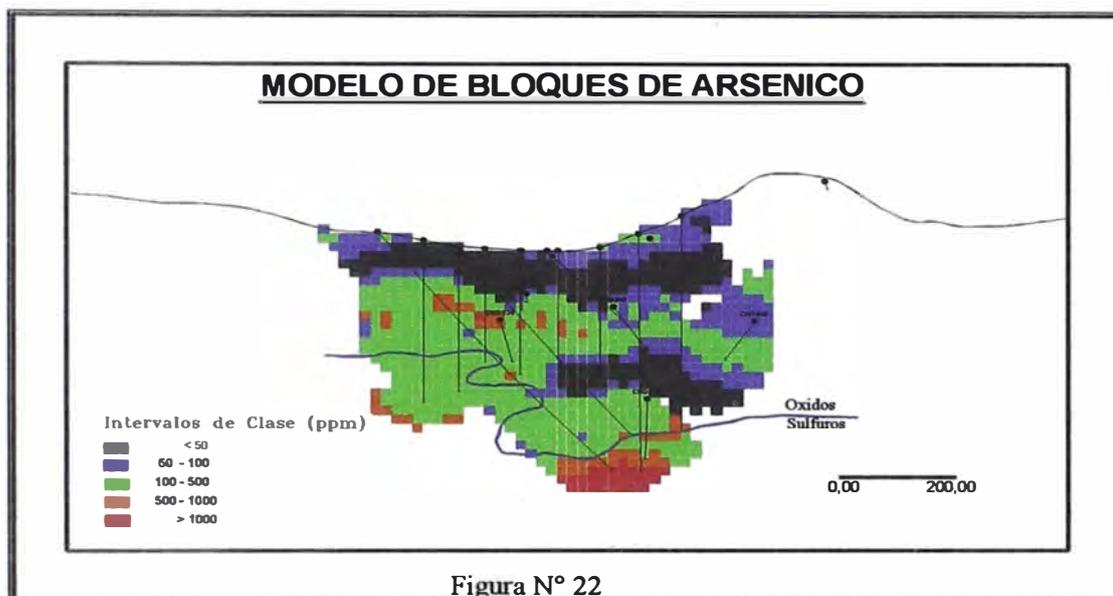
- **MERCURIO**

La dispersión del mercurio es muy amplia como se puede ver. El modelamiento del mercurio es muy importante, puesto que es un contaminante y Minera Yanacocha produce industrialmente dicho metal.



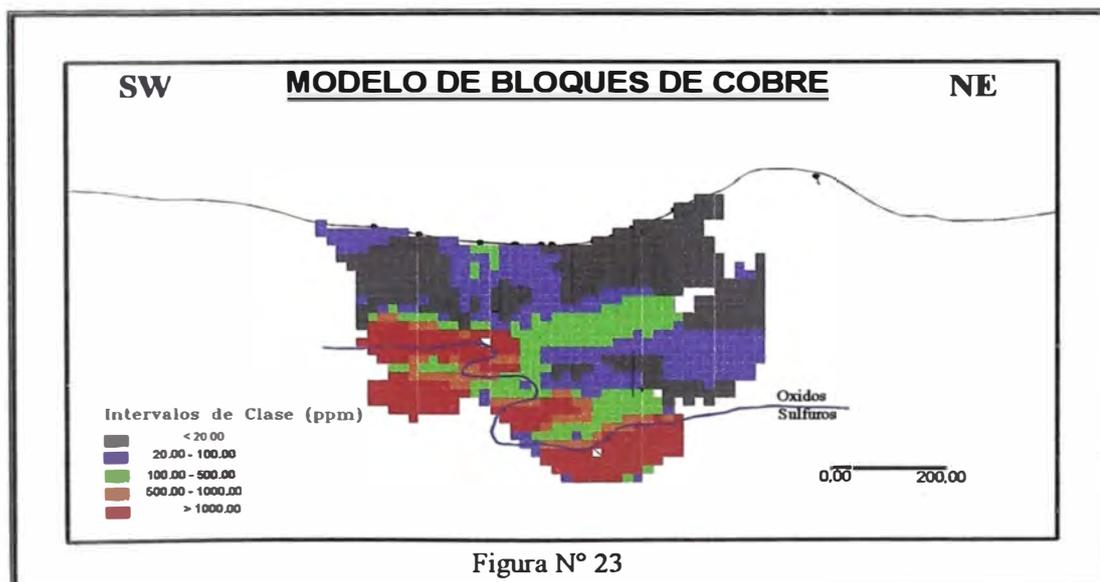
- **ARSENICO**

Los valores en superficie son muy débiles a barren (debajo del valor threshold ), hasta una profundidad aproximada de 100 m., probablemente ocasionado por una lixiviación supérgena.



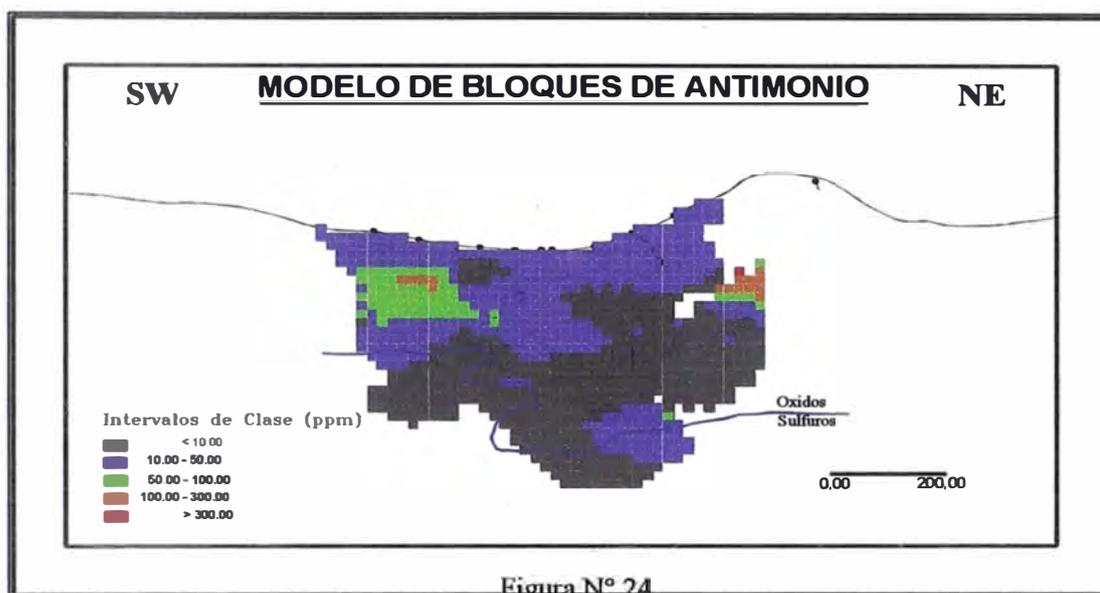
- **COBRE**

La movilidad secundaria del cobre ocasionado por la lixiviación supérgena es mayor que la del arsénico, el nivel de concentración de valores está asociado a mineralización supérgena de calcosita – covelita y enargita en el nivel de sulfuros, se correlaciona con el arsénico



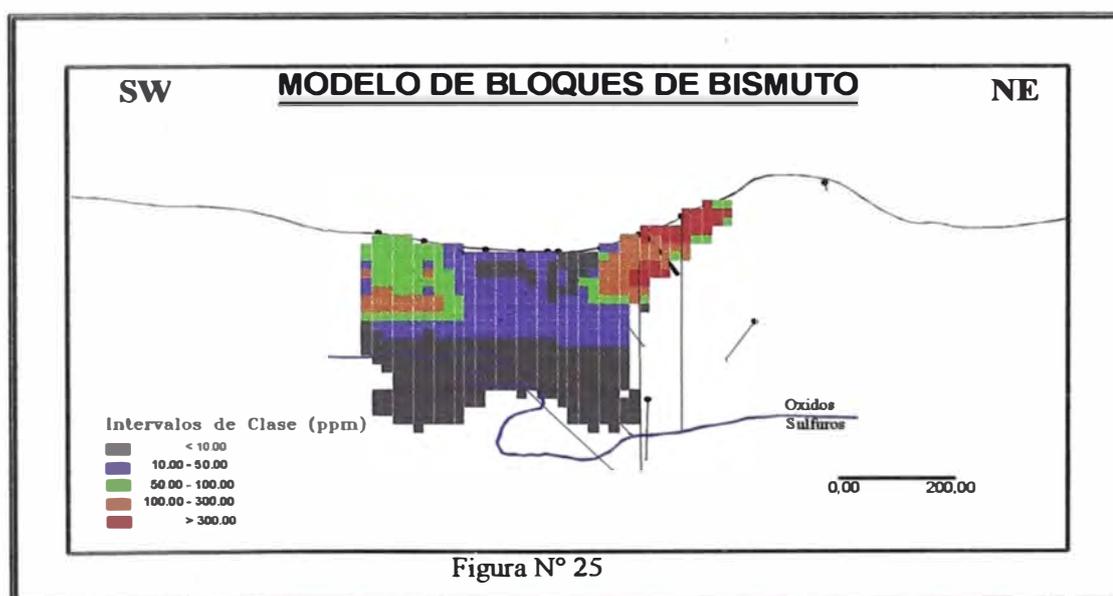
- **ANTIMONIO**

Aunque débiles, los valores del antimonio se concentran en las partes altas del sistema, principalmente en la zona de sílice granular, asociado a la fase de dominio de vapor.



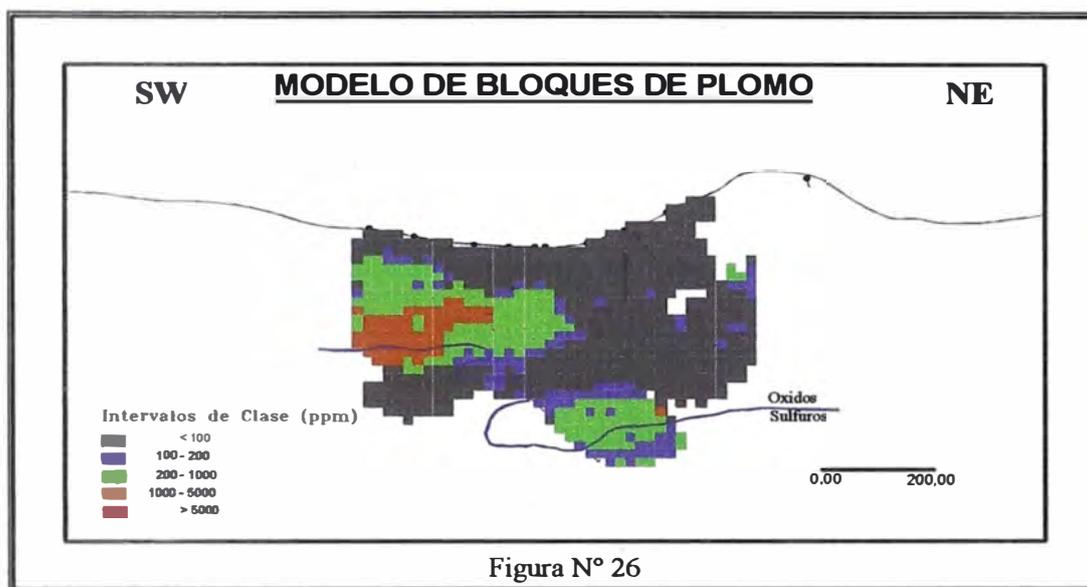
- **BISMUTO**

Muestra un comportamiento similar al del Bismuto, existe un enriquecimiento en los niveles altos del sistema.



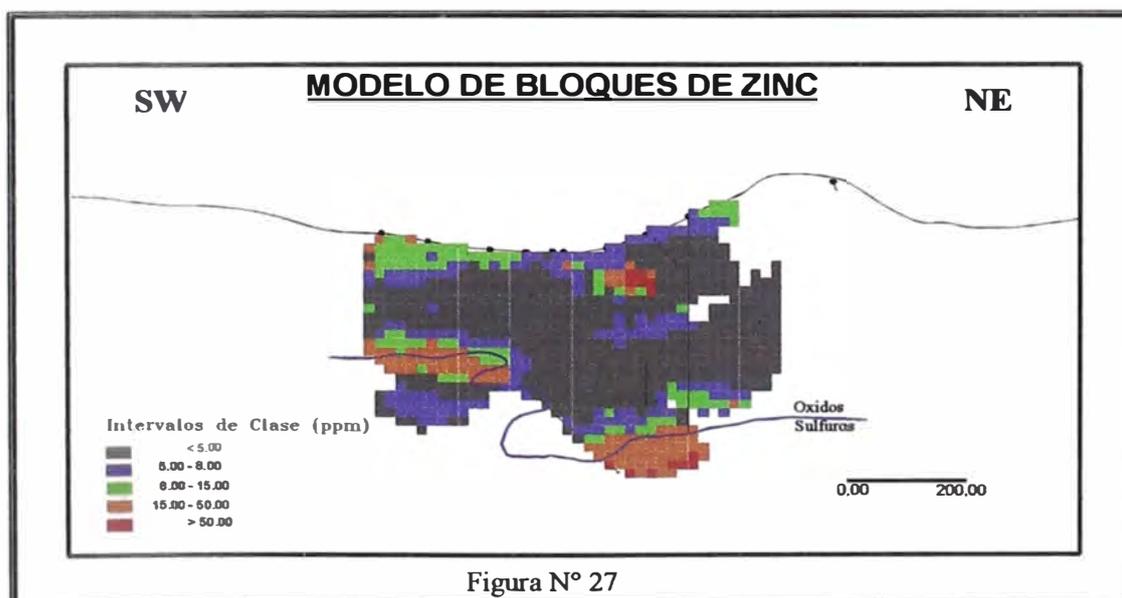
- **PLOMO**

Muestra dos zonas de concentración separadas por un nivel sub-horizontal (30°) barren, este nivel barren correlaciona con concentraciones altas de Bario.



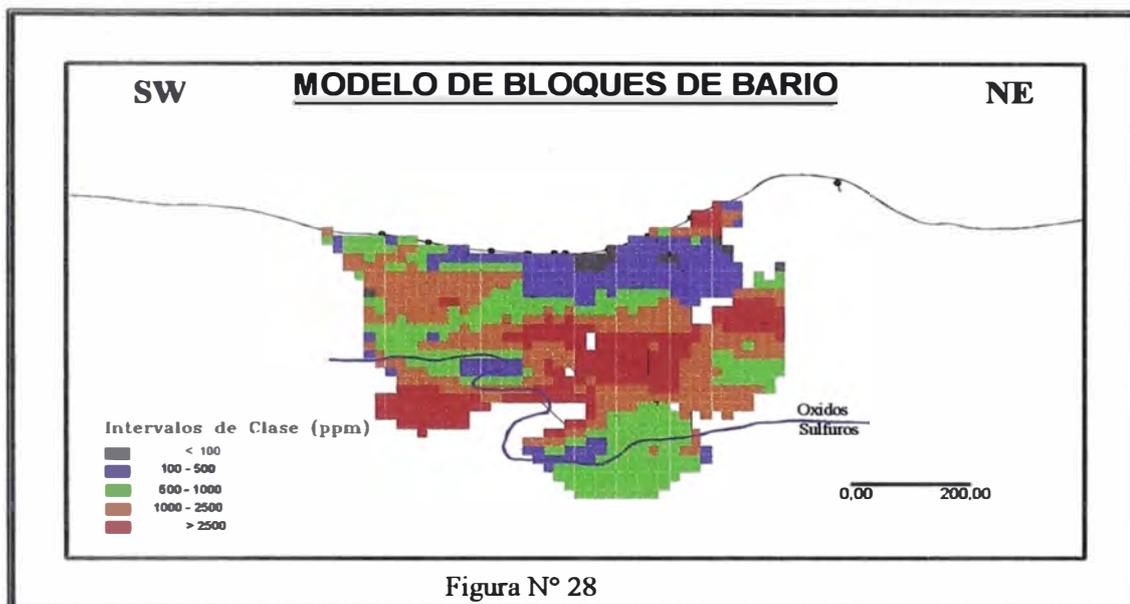
- **ZINC**

Muestra tres zonas de concentraciones: una superficial, asociado a márgenes del sistema, dentro de alteración argílica avanzado a propilítico. Los dos segundos dentro de la zona de sulfuros, pero separados por el nivel barren descrito en el plomo.



- **BARIO**

Las concentraciones mayores de Bario reflejan una inclinación aproximada de 30° hacia el SW, esta penetra a la zona de sulfuros sin mayor incremento en las leyes, aparentemente la lixiviación supérgena no ha modificado su distribución primaria.

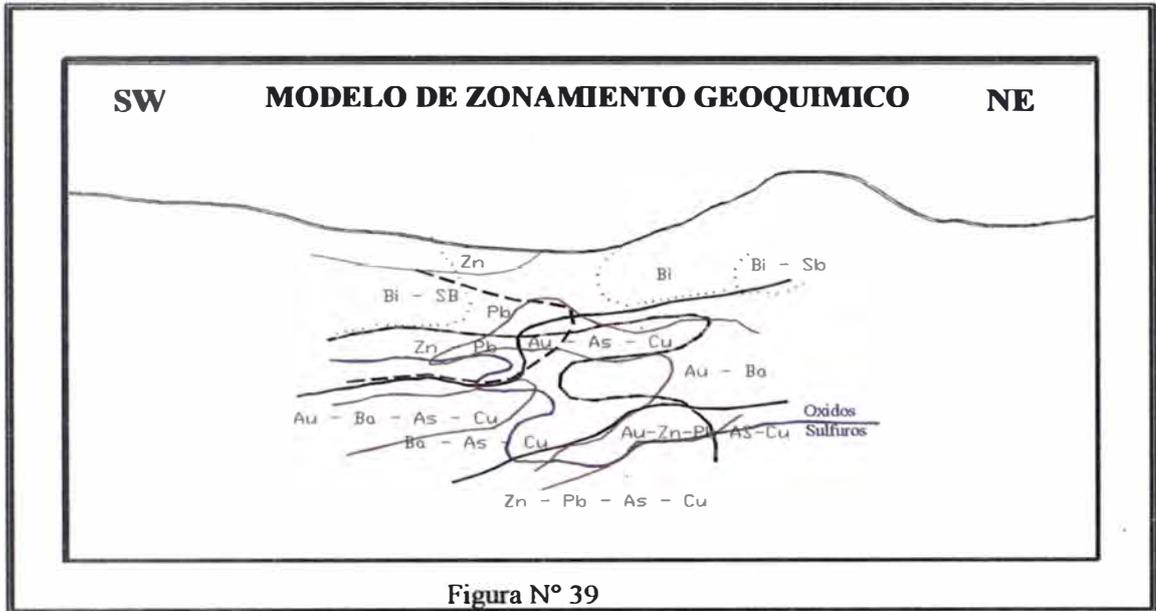


- **Modelo de Zonamiento Geoquímico**

Las concentraciones mayores de todos los elementos analizados ha permitido definir un patrón de distribución o zonamiento dentro del cuerpo mineralizado, como se puede observa en la Figura N°....., en la cual se reconocen tres niveles bien marcados:

- a) Un nivel barren en oro desde superficie hasta caso 100 m. de profundidad, asociada a una zona de alteración de lixiviada (sílice granular), donde se concentran los elementos de Bismuto – Antimonio y altas concentraciones de Mercurio. El Zinc se concentra en el sector SW asociado a alteraciones de sílice clay + propilita
- b) La zona de óxidos, Los valores mayores de 1 gr de oro se correlaciones con mayores concentraciones de cobre y arsénico.

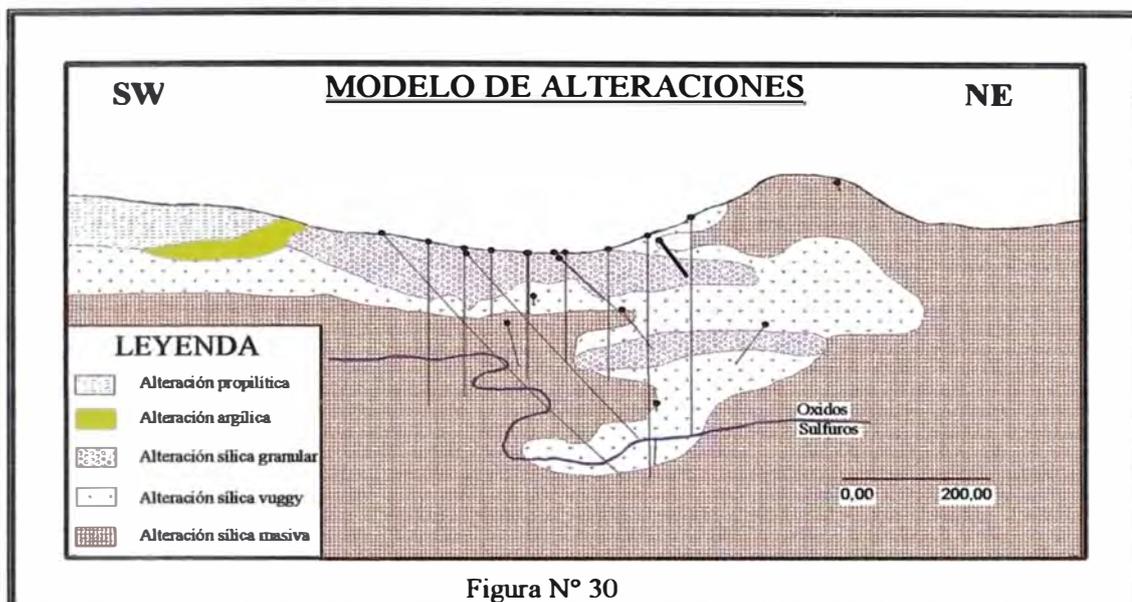
- c) La zona de Sulfuros, en la cual se aprecia dos cuerpos de alta ley de oro, uno asociado a bario, cobre y arsénico. El segundo más profundo, se une al cuerpo del nivel de óxidos asociado a cobre-arsénico – (plomo y zinc)



La figura N° 30 muestra el modelo geológico de alteraciones, elaborado en función a la correlación de las alteraciones logueadas de los sondajes.

Se observa una zona muy cerca a la superficie de alteración de sílice granular, este nivel correlaciona con la ausencia de anomalías de oro, a la vez en este nivel se concentran el bismuto, antimonio y valores altos de mercurio, corroborando el modelo genético, que define este nivel como parte del la fase de dominio de vapor sobre el nivel de ebullición.

Inmediatamente debajo de la zona de sílice granular, se reconoce el nivel de sílice vuggy, a esta cota se debió ubicar el nivel de la paleo mesa de agua (nivel de ebullición). la sílice granular se superpone a esta alteración, evidenciando fluctuaciones del nivel freático durante el proceso hidrotermal.



## 6.2. ANALISIS Y CONCLUSIONES

La geoquímica superficial de plata define una anomalía muy débil la cual circunda a la anomalía del cuerpo principal de oro. En el cuerpo mineralizado en sí, prácticamente no existe mineralización de plata, horizontes de pequeñas concentraciones con valores entre 1 y 2.5 ppm se observan en la zona de óxidos y asociado a la zona de alteración de sílice granular.

El antimonio y el bismuto se concentran en los niveles superiores del sistema, es acompañado por fuertes concentraciones de mercurio, el cual está distribuido en todo el cuerpo.

Existe un cuerpo central mineralizado por Baritina que refleja una inclinación débil a moderada hacia el Sur-oeste. Esta inclinación se correlaciona con la concentración de leyes altas de oro.

El plomo y zinc se distribuyen lateralmente a la concentración de bario en forma muy zonificada, sin embargo estos niveles son acompañados por el cobre y el arsénico, que en la zona de sulfuros tienen una distribución muy similar y concordante. Ellos se puede explicar por el ensamble de mineralización primaria (oro-enargita-lusonita-pirita) explicada en la secuencia paragenética.

Esta distribución zonada de los pathfinders y el oro permite concluir que existe un solo foco de mineralización que a alimentado los yacimientos de Carachugo y Chaquicocha, cuya distribución y control distrital es estructural, pero que la deposición principal de los cuerpos tiene un control probable de alteración o litológica.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente trabajo cumple con la expectativa de haber generado un estudio de investigación con un fin aplicativo y a la vez permitir obtener mi grado de Ingeniero con Mención de Ingeniero Geólogo.
- Chaquicocha Sur es un típico depósito de tipo Acido-Sulfato, con ensambles de alteración que revelan el sistema hidrotermal casi completo, sílice granular que representa la parte alta del sistema, sílice opalina en los bordes del sistema, sílice vuggy asociado al nivel de la mesa de agua y la sílice masiva precipitada debajo de ella.
- De la geoquímica superficial se deduce:
  1. Es evidente que la mejor guía para una prospección por depósitos epitermales de oro el mismo elemento, pero cuando estos indicios no son conspicuos como el caso de Chaquicocha sur es necesario recurrir al análisis de la geoquímica de los elementos guías.
  2. De las 1096 muestras solo 14 muestras superan los 1000 ppb y principalmente asociados a estructuras y diques de brechas. Si no existe un buen conocimiento del modelo geológico, es posible que depósitos escondidos no sean descubiertos.
  3. El mercurio y el bario son los elemento que muestran mejor correlación con el oro.
  4. Todos los elementos, en mayor o menor grado definen un lineamiento NW de control de mineralización, ello se comprueba en el modelo de bloques .
  5. Se definen tres familias de elementos afines: Sb – Bi - Pb , el cual se mantiene para todas poblaciones cut off de oro; Ba – Ab – Pb se manifiesta a partir de la población cut off 350 ppb de Au y Hg – As – Zn se manifiesta a partir de la población threshold.

- De la geoquímica de sondajes y el modelo de bloques se deduce:
  1. El modelo geológico representado en la sección geológica, muestra un nivel de alteración de sílice granular con ausencia casi total de anomalía de oro. Este nivel está asociado a un dominio de alteración de fase vapor, ubicado por encima del nivel freático, donde solo los elementos volátiles pueden ser transportados.
  2. Es muy importante el conocimiento de la geología y los modelos conceptuales que permitan ubicarse al geólogo de exploración en que nivel del sistema hidrotermal se encuentra. Definir que la sílice granular en Chaquicocha es el nivel superior del sistema ha permitido su descubrimiento.
  3. La correlación de un elemento con el oro, para definirlo como guía de exploración es una herramienta que ayuda en la búsqueda de nuevos cuerpos escondidos, pero la ausencia de correlación solo puede estar definiendo niveles de precipitación química, mas no descartar la posible presencia de mineralización (el caso de antimonio y bismuto).
  4. Mayores concentraciones de elementos volátiles cerca al nivel de la paleosuperficie (Mercurio – Antimonio – Bismuto).
  5. Ausencia o débiles anomalías de ciertos elementos guías en superficie por lixiviación supérgena, (Cobre – Arsénico), los cuales son precipitados en niveles de enriquecimiento secundario (calcosita – covelita).
  6. Fuerte asociación del oro en la zona de mineralización primaria a la enargita – luzonita – covelita – pirita. Confirmado por las correlaciones de cobre-arsénico-oro.
  7. Es muy importante continuar con este tipo de estudios en otros depósitos para poder definir patrones de distribución distrital y permita encontrar nuevos depósitos escondidos.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

GONZALES B. FELIX, 1972. Introducción a la Geoquímica; Programa regional de desarrollo científico y tecnológico, Departamento de Asuntos Científicos – OEA, Washintong DC, pp 49-57.

DAVIS JOHN C, 1986. Statistics and Data Analysis in Geology (Second Edition), Elementary estadistic, p.10; Analysis of Sequence of Data (p. 141); Map Analysis pp. 287.

ALASTAIR J. SINCLAIR, 1978. Probability Graphs in Mineral Exploration. Histograms pp 8-10; Lognormal Distribution pp 12-13: The Association of Exploration Geochemist, Spetial Volume N°4.

SIEGEL R. FREDERIC, 2000. Geoquímica de Gases y Vapores; Departamento de Geología –Universidad de Washintong, artículo de página web.

BARNES L. HULBERT, 1997. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposit; The Pensylvania State University – University Park, Pensylvania, Third Edition pp 303-358, 699-731, 937-958.

WHITE D. E., MUFFLER L. J. P. and TRUESDELL A. H., 1971. Vapor Dominated Hydrothermal System Compared with Hot-Water Systems; Economic Geology Vol. 66 pp 75-97.

TURNER, STEPHEN, 1997. The Yanacocha Epithermal Gold Deposits, Northern Peru: High Sulfidation Mineralization in a Flow Dome Setting. Hesis submitted to the Faculty and Board of Trustees of the Colorado School of Mines in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Geology).

QUIROZ, ANDDRES, 1997. El Corredor Estructural Chicama- Yancocha y su importancia en la Metalogenia del norte del Perú. IX Congreso Peruano de Geología, resúmenes extendidos, Sociedad Geológica del Perú, Volumen Especial1, p 149-154.

BERGER B. R., BETHKE P. M. (Volume Editors), Geology and Geochemistry Systems. Reviews in Economic Geology Vol. 2 pp 129-162 and 203-270.

COOPE J. ALAN, LAVIN OWEN and WEILAND ERICK, 1991. Exploration Geochemistry Short Course Manual; Newmont Exploration Limited-Geochemistry Department.

THOURET, JEAN CLAUDE, 1998. Introducción a la Vulcanología, Curso teórico práctico-Arequipa Newmont Perú Limited.

TEAL LEWIS, STAN MYERS and LONGO ANTHONY, 1999. Revisión de los Yacimientos de Oro de Alta Sulfuración del distrito de Yanacocha, Norte del Perú; Newmont Mining Corporation-Internal Report.

VIDAL CESAR, 2000. Bonanzas en Yancocha. Informe Interno.

HARVEY BRUCE, MYERS STAN and KLEIN THOMAS, 1998. Yanacocha Gold District, Northern Peru. Internal Report.

KRIST BRIAN, 1999. Introductory Stones for Windows, Short Course-Minera Yanacocha SRL.