

03063
2 ej //



Universidad Nacional Autónoma de México

"ESTUDIO GEOQUIMICO-METALURGICO DE DEPOSITOS HIDROTHERMALES DE LAS REGIONES DORSAL DEL PACIFICO MEXICANO (21º N) Y CUENCA DE GUAYMAS".

T E S I S

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(Oceanografía Química)

p r e s e n t a

ALEJANDRO ORTEGA OSORIO

ICM y L / U.N.A.M.

Mazatlán, Sinaloa

México, Octubre '88

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"Sólo la sabiduría de la percepción tardía de lo obvio, que nada puede permanecer inmenso si cabe medirlo, que toda panorámica junta partes distantes y por lo tanto establece la contigüidad donde antes imperaba la distancia. Así, los mapas y cartas de navegación de las primeras etapas de la Epoca Moderna anticiparon los inventos técnicos mediante los cuales todo el espacio terráqueo ha pasado a ser pequeño y al alcance de la mano. Antes de la reducción del espacio y la abolición de la distancia mediante el ferrocarril, el barco y el avión, se da la infinitamente mayor y más efectiva reducción que acaece mediante la capacidad topográfica de la mente humana, cuyo uso de los números, símbolos y modelos puede condensar y medir según escala la distancia física terráquea, poniéndola al alcance del entendimiento y natural sentido del cuerpo humano. Antes de aprender a rodear la Tierra, a limitar a días y horas la habitación humana, trajimos el globo a nuestro cuarto de estar para tocarlo con nuestras manos y hacerlo girar ante nuestros ojos.

Hannah Arendt
La condición humana

!Y VENDRAN LLUVIAS SUAVES...!

RESUMEN

En este estudio se investigó la composición geoquímica y mineralógica además del contenido de azufre y carbono en varias muestras representativas de los depósitos hidrotermales de la Dorsal del Pacífico Mexicano (21°N) y de la Cuenca de Guaymas. Los análisis revelaron que los materiales tipo óxido/arcillas presentan concentraciones elevadas de Fe ($x = 43\%$) y Mn ($x = 27\%$); para el caso de los materiales tipo sulfuros el Zn (hasta del 27%) y de Cu (hasta de 32%) en los 21°N, no así para los materiales examinados de la Cuenca de Guaymas que presentan los siguientes niveles: para Fe ($x = 8.6\%$), Mn ($x = 1\%$), Zn (hasta 2.3%) y Cu (hasta 3.6%).

Las muestras fueron caracterizadas mineralógicamente por la técnica de difracción de rayos X. Este análisis reveló las principales fases minerales encontrándose como fases predominantes pirita, pirrotita, esfalerita y calcopirita, su abundancia relativa fué estimada a partir de sus difractogramas.

Adicionalmente se realizó un estudio metalúrgico a las muestras de ambas regiones para averiguar la factibilidad de procesamiento industrial, obteniéndose recuperaciones de Cu y Zn de 40%-45% para el compuesto 3 (montículos hidrotermales de la Cuenca de Guaymas); de 35%-58% para el compuesto 2 (chimenea inactiva de 21°N); y hasta del 72% de metal en forma de concentrado para el compuesto 1 (chimeneas activas, 21°N).

CONTENIDO

agradecimientos.....	i
resumen.....	ii
lista de Tablas.....	vi
lista de Figuras.....	vii
1. INTRODUCCION.....	1
2. GENERALIDADES.....	4
2.1 DESCRIPCION Y DISTRIBUCION DE DEPOSITOS	
HIDROTERMALES.....	4
2.1.1 Descripción.....	4
2.1.2 Distribución.....	6
2.1.3 Clasificación.....	6
2.2 METALURGIA EXTRACTIVA DE SULFUROS MASIVOS.....	15
2.2.1 Descripción e Importancia.....	15
2.2.2 Procesos de Separación/Concentración.....	16
2.2.3 Flotación de Sulfuros.....	18
2.3 FASES GEOQUIMICAS.....	23
3. AREA DE ESTUDIO.....	26
3.1 Cuenca de Guaymas, Golfo de California.....	26
3.2 Cordillera del Pacífico Este (21°N).....	28
3.3 Comparación entre las dos áreas (21°N vs	
Cuenca Guaymas).....	30

4. METODOLOGIA.....	34
4.1 Muestreo.....	34
4.1.1 Cuenca de Guaymas.....	34
4.1.2 21°N.....	34
4.1.3 Punto intermedio B/32.....	34
4.2 Análisis Geoquímico.....	34
4.2.1 Análisis elemental.....	37
4.2.2 Determinación de Carbono y Azufre.....	37
4.2.3 Extracción selectiva de metales	37
4.3 Análisis Mineralógico.....	42
4.4 Pruebas Metalúrgicas.....	42
4.4.1 Diseño de una celda de flotación a nivel laboratorio.....	44
4.4.2 Optimización del proceso con el compósito C ₃	44
4.4.3 Pruebas de los compósitos C ₁ y C ₂	48
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	50
5.1 Descripción de las Muestras.....	50
5.1.1 21°N de la Dorsal del Pacífico Mexicano..	50
5.1.2 Cuenca de Guaymas.....	51
5.2 Composición Elemental.....	51
5.2.1 21°N de la Dorsal del Pacífico Mexicano..	51
5.2.2 Cuenca de Guaymas.....	54
5.3 Diagrama Ternario.....	58
5.4 Composición Mineralógica.....	60

5.5 Fases Geoquímicas.....	6
5.5.1 Núcleo B/32.....	66
5.5.2 21°N.....	72
5.6 Pruebas Metalúrgicas.....	79
5.6.1 Balances metalúrgicos	83
5.6.2 Optimización del proceso.....	83
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS.....	90

LISTA DE TABLAS

1. Observaciones generales durante las inmersiones del DS/RV Alvin en los 21°N
2. Descripción de las muestras colectadas en los 21°N
3. Condiciones generales de las pruebas realizadas
4. Descripción de las muestras colectadas en la Cuenca de Guaymas
5. Composición elemental de las muestras de los 21°N
6. Tabla comparativa sobre abundancia relativa de minerales predominantes
7. Comparación de concentraciones con otros estudios
8. Composición elemental de las muestras de la Cuenca de Guaymas
9. Composición mineralógica de las muestras de los 21°N
10. Composición mineralógica de las muestras de la Cuenca de Guaymas
- 11a, b. Análisis de cribas en la alimentación y descarga respectivamente, de molienda para el compuesto 1
- 12a, b. Análisis de cribas en la alimentación y descarga respectivamente, de molienda para el compuesto 2
- 13a, b. Análisis de cribas en la alimentación y descarga respectivamente, de molienda para el compuesto 3

LISTA DE FIGURAS

1. Modelo de circulación hidrotermal
2. Distribución mundial de depósitos hidrotermales
3. Variedad en forma de depósitos hidrotermales
4. Representación esquemática de depósitos hidrotermales según su estado deposicional
5. Representación gráfica del crecimiento de las chimeneas hidrotermales según su estado de evolución
6. Diferentes tipos de celdas de flotación
 - 7a. Sólidos hidrofóbicos
 - 7b. Sólidos hidrofílicos
8. Batimetría de la Cuenca de Guaymas
9. Area de estudio (Cuenca de Guaymas)
10. Area de estudio (21° N)
11. Comparación entre las dos areas de estudio
12. Diagrama de flujo del proyecto
13. Marcha analítica de digestión para determinar la composición elemental
14. Diagrama de flujo de la extracción selectiva (Ruta I)
15. Diagrama de flujo de la extracción selectiva (Ruta II)
16. Diagrama de flujo general del proceso de beneficio
17. Diseño de la celda de flotación
18. Diagrama de flujo del proceso de flotación selectiva para polisulfuros hidrotermales
19. Diagrama ternario de Bonatti
20. Diagrama ternario de Bonatti modificado
21. Patrón de difracción de las muestras analizadas

22. Distribución mineralógica y composicional de chimeneas hidrotermales
- 23a, b, c. Distribución de metales en la fase intercambiable y/o de iones adsorbidos en el núcleo B/32
- 24a, b, c, d, e, f. Distribución de metales en la fase oxidable en el núcleo B/32
- 25a, b, c, d, e, f. Distribución de metales en la fase carbonatos en el núcleo B/32
- 26a, b, c, d, e, f. Distribución de metales en la fase reducible en el núcleo B/32
- 27a, b, c, d. Distribución de cobre en las diferentes fases geoquímicas de las muestras hidrotermales de 21°N
- 28a, b, c, d. Distribución de plomo en las diferentes fases geoquímicas de las muestras hidrotermales de 21°N
- 29a, b, c, d. Distribución de zinc en las diferentes fases geoquímicas de las muestras hidrotermales de 21°N
- 30a, b, c, d. Distribución de hierro en las diferentes fases geoquímicas de las muestras hidrotermales de 21°N
- 31a, b, c, d. Distribución de manganeso en las diferentes fases geoquímicas de las muestras hidrotermales de 21°N
- 32a, b, c, d. Distribución de aluminio en las diferentes fases geoquímicas de las muestras hidrotermales de 21°N
33. Gráficas de % de Recuperación vs Adición de reactivo

CAPITULO I

INTRODUCCION

Una de las manifestaciones más interesantes de la tectónica de placas son los fenómenos hidrotermales que se presentan en los centros de expansión del piso oceánico. Estos comprenden al sistema de cordilleras oceánicas mundial, que se extienden alrededor de la tierra y a través de las cuencas oceánicas (Rona, 1982). En términos de tectónica de placas, un centro de expansión es un límite de una placa divergente, donde se da lugar a rompimiento de corteza oceánica debido a tensiones (Shepard, 1973).

Actualmente existen evidencias contundentes sobre la circulación hidrotermal, gracias a la realización de exhaustivos estudios de flujo de calor que en los centros de expansión se presentan (Lawver y Williams, 1979; Williams et al., 1979; Darcy et al., 1979; Green et al., 1981; Sleep, N. y Wolery T., 1978; Sorendra y Schilling, 1982).

La importancia de los fenómenos hidrotermales radica no solo en la energía que disipan o en sus anomalías térmicas como indicadores de procesos tectónicos, pues es quizá el aspecto "geoquímico" su implicación más interesante (Lister, 1980; Walter y Stoffers, 1985).

El descubrimiento de la actividad hidrotermal submarina y de los depósitos ricos en metales en los centros de expansión, ha despertado considerable interés entre científicos de diversas disciplinas. Estudios experimentales sobre la alteración de rocas y formación de minerales a partir de fuentes hidrotermales también han sido realizados (Hawkins y Rustom, 1963; Bischoff y Dickson, 1975).

Su mecanismo de formación se debe a la percolación de aguas superficiales a través de fracturas o fisuras que alcanzan la vecindad de las cámaras magmáticas. El fluido caliente asciende por otros canales para ser eruptado como agua caliente y vapor en las fuentes hidrotermales y geysers respectivamente. De esta manera cuando el agua caliente, que contiene una cantidad considerable de metales disueltos, al alcanzar la superficie y enfriarse ocurre la precipitación de los minerales. La naturaleza de los depósitos dependerá tanto de la clase de roca con la que el agua caliente

reaccionó en la subsuperficie, como por el grado de mezcla (Bonatti, 1975; Bonatti, et al., 1976; Rona, 1978;1982).

Los sulfuros polimetálicos son parte de una serie de depósitos minerales formados a partir de soluciones calientes, es decir, por soluciones hidrotermales en los centros de expansión del piso oceánico (Rona, 1982).

En los últimos 20 años se han llevado a cabo diversas expediciones oceanográficas en el Pacífico mexicano y Golfo de California para estudiar tan controvertido tema. A partir de los años 70's se han realizado una serie de investigaciones al respecto, y es quizá el Golfo de California quien ha recibido mas atención en cuanto a fenómenos hidrotermales se refiere. El He³, un trazador geoquímico para las nubes emanadas por las fuentes, ha sido determinado, encontrándose en la Cuenca de Guaymas, niveles del 60% al 70% mas altos que aquellos atmosféricos (Lupton, 1979 en Peter, 1986). Durante las expediciones del Deep Sea Drilling Project (DSDP) el Glomar Challenger muestreó núcleos de sitios bien conocidos, encontrando sedimentos hemipelágicos alterados hidrotermalmente (Einsel et al., 1980; Einsel, 1982; Curray et al., 1982), y posteriormente en agosto de 1980, los depósitos hidrotermales fueron localizados por Lonsdale (1980) utilizando sonar y fotografía submarina.

En enero de 1982 una serie de inmersiones fueron realizados en la depresión sur de la Cuenca de Guaymas, abordo del sumergible Alvin de Woods Holl Oceanographic Institution en colaboración con Scripps Institution of Oceanography; numerosos montículos (mounds) y chimeneas hidrotermales fueron muestreadas (Peter, et al., 1986). En el periodo del 30 de agosto al 17 de septiembre de 1985, se volvió a explorar la región Dorsal del Pacífico Mexicano en los 21°N reconociendo y muestreando montículos, chimeneas y fluidos hidrotermales con el sumergible Alvin. En esta ocasión se realizaron 14 inmersiones en tres diferentes sitios (Paéz-Osuna, comunicación personal).

El estudio geoquímico, así como el estudio metalúrgico de las muestras colectadas por la Dra. Rosa Ma. Prol del Instituto de Geofísica de la UNAM durante la expedición del 12 al 26 de enero de 1982, y por el M. en C. Federico Paéz Osuna del Instituto de Ciencias del Mar de la misma Universidad durante la expedición de septiembre-agosto de 1985, constituyen el objetivo fundamental de este trabajo.

Así mismo se pretende presentar una contribución que ayude a delucidar la potencialidad económica de los materiales hidrotermales disponibles.

El trabajo esencialmente esta constituido de cuatro partes; (1) el análisis elemental de metales pesados y algunos

alcalinos, así como el carbono y azufre; (2) análisis mineralógico por difracción de rayos X; (3) pruebas de diferenciación geoquímica para conocer la extractibilidad selectiva de las fracciones presentes; y (4) estudio metalúrgico con el propósito de averiguar la factibilidad de procesamiento industrial en los materiales mencionados.

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 DESCRIPCION Y DISTRIBUCION DE LOS DEPOSITOS

HIDROTERMALES

2.1.1 DESCRIPCION

Los depósitos metalíferos hidrotermales, son formaciones minerales que han venido acumulándose a lo largo del tiempo y son producto o están influenciados directamente por actividad hidrotermal submarina en zonas tectónicamente activas. Estas influencias, así como sus estructuras han sido estudiadas durante varios años (Mero, 1965; Bonatti, 1975; Rona, 1978, 1983; Scott, 1985).

Actualmente nadie duda acerca de la contribución que estos fenómenos tienen sobre la formación de los depósitos, y sus mecanismos parecen estar bien entendidos entre investigadores de diversas disciplinas. Sin embargo, es quizá alrededor de su valor económico donde se ha generado un ambiente de especulaciones (Scott, 1986).

El principal mecanismo de formación que tiene lugar en tales depósitos está relacionada directamente con el fenómeno mismo, es decir, que para poder entender la génesis y evolución de los depósitos es necesario comprender primeramente la causa.

Flujos de agua caliente y materiales son eyectados al fondo del océano, contribuyendo así a las pérdidas de calor global por conducción y convección. En términos de balance energético se puede decir que estos fenómenos obedecen a descargas o liberaciones de energía que están acumuladas en el interior de la tierra, (cámaras magmáticas) y que al encontrar por donde disiparse estas fluyen hacia zonas de menor energía (hot spots, hot brings, hydrothermals vents, vulcanismo submarino, etc.).

En cuanto a los mecanismos propiamente de formación de los depósitos, se cuenta con modelos propuestos por diferentes autores (Rona, 1982; Bonatti, 1984; Scott, 1985; Hekinian et al., 1985), pero que en esencia se tratan de planteamientos similares. A grandes rasgos el mecanismo que impera en la formación de los depósitos hidrotermales son producto de la percolación de agua de mar fría a través de rocas fracturadas permeables o fallas, que al alcanzar las cercanías de las cámaras magmáticas, interacciona con las rocas adyacentes enriqueciéndose en metales, para ser posteriormente, erupcionada al piso oceánico provocándose la precipitación de minerales al contacto con las aguas frías (Figura 1).

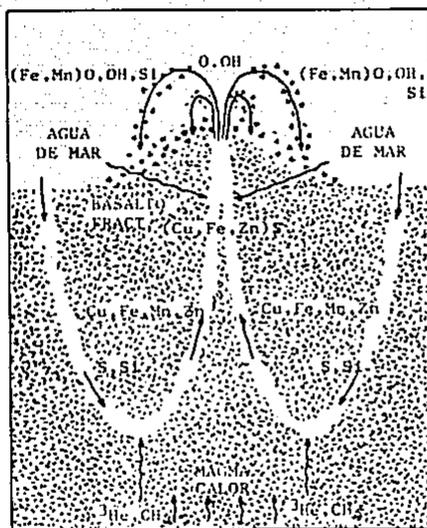


Figura 1. Esquema simplificado del sistema de convección hidrotermal del subfondo marino a través de un centro de expansión del piso oceánico (RONA, 1985) que está dando lugar a la formación de sulfuros polimetálicos.

2.1.2 DISTRIBUCION

Los depósitos hidrotermales están distribuidos ampliamente en el océano mundial y estos se presentan tanto en el océano abierto como en cuencas oceánicas. Sin embargo, la información en este sentido es limitada y ha sido obtenida diseminadamente, de tal manera que la ocurrencia mundial no es bien conocida, excepto para sitios prototipo probados como son: la Cuenca Atlantis II en el Mar Rojo; la Trinchera de las Galapagos (seamounts); Dorsales de la Cordillera del Pacífico Este en 13°S y 21°N (seamounts del EPR); la Cuenca de Guaymas, etc..

En la Fig. 2 se presenta un diagrama mundial de los límites de placas según la teoría tectónica. En él se observan los centros de expansión conceptualizados como "límites de placas divergentes", en donde la litósfera oceánica está siendo creada a ambos lados de un eje de expansión (Rona, 1985). Estos se extienden a lo largo de todo el sistema de cordilleras oceánicas mundial, constituyendo un sin número de sitios hidrotermales potenciales por explorar, y donde la existencia de depósitos de sulfuros sería de esperarse.

Estudios regionales exhaustivos, han revelado la distribución a detalle de depósitos hidrotermales que ya han sido debidamente localizados. Tal es el caso de la Cuenca de Guaymas en donde se han encontrado 130 sitios (Lonsdale y Becker, 1985 en Peter, 1986), y solo en el Pacífico se han "estimado" del orden de 12000 montículos submarinos ("seamounts") (Batiza, 1985).

En este trabajo los sitios estudiados se centran en las regiones conocidas de 21°N de la Dorsal del Pacífico Mexicano (East Pacific Rise (EPR)) y la Depresión Sur (troughs o rifts) de la Cuenca de Guaymas que más adelante se describen.

2.1.3 CLASIFICACION

Los depósitos hidrotermales están influenciados por una gran variedad de factores que actúan modificando su estructura, tanto interna como externa; entre ellos se puede mencionar: tasa de sedimentación, tasa de expansión, profundidad, columna sedimentaria, tipo de roca de interacción, temperatura del fluido, corrientes de fondo,

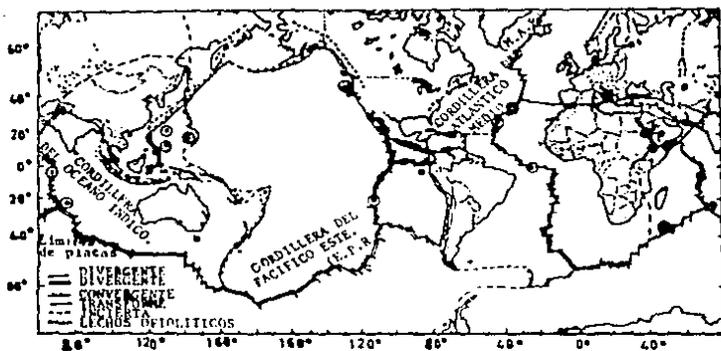


Figura 2. Mapa mundial que muestra los límites de placas (los límites de placa divergentes son centros de expansión). También se detalla la localización de los depósitos hidrotermales conocidos en el océano (círculos). (RONA, 1982).

etc.. Esta serie de factores impide hacer clasificaciones de tipo general, siendo necesario considerar este aspecto desde diferentes puntos de vista.

Una de las clasificaciones más generales se basa en la diferenciación de los depósitos de acuerdo a su edad. Esta solo distingue los depósitos en antiguos y modernos (Scott, 1985). A partir de investigaciones al respecto se ha determinado que las chimeneas hidrotermales se presentan en centros de rápida expansión (mayores a 2 cm/año) (Rona, 1985) y que estas edificaciones, dada su secuencia evolutiva, no permanecen mas allá de 100 años, datos que se han corroborado por medio de mediciones isotópicas de Pb^{210}/Pb en los $21^{\circ}N$ del EPR (Hekinian et al., 1985).

Dentro de los depósitos modernos podemos citar a aquellos encontrados en las dorsales de las Cordilleras del Pacífico Este en los 13° y $21^{\circ}N$: La Cuenca de Guaymas, y los seamounts cerca de las cordilleras oceánicas. Por lo que respecta a los depósitos antiguos, estas son formaciones ofiolíticas y podemos mencionar los depósitos tipo Cyprus de la era Cretácica sobre la isla Cyprus, que son ricos en cobre; depósitos tipo Beshi ricos en pirita de la era Pérmica o Mezozoica y finalmente, depósitos tipo Kuroro ricos en plomo, cobre y zinc del Mioceno en Japón (Scott, 1985).

Desde el punto de vista morfológico y composicional existen clasificaciones basadas en observaciones directas con sumergibles y cámaras submarinas. Dentro de este contexto se pueden mencionar dos grandes grupos: los montículos (mounds) y las chimeneas y espiras hidrotermales.

Los montículos ("mounds") hidrotermales son acumulaciones masivas de precipitados minerales, cuya forma es convexa, redondeados o elípticos, y generalmente de 5 a 25m de altura y de 10 a 50m de sección (Peter, 1986); se componen predominantemente de barita, anhidrita y calcita, su color es comunmente blanco en contraste con aquellos café y verdes, ricos en sulfuros típicamente encontrados sobre las dorsales de las cordilleras.

Las variaciones morfológicas de los montículos ("mounds") reflejan su edad y grado de degradación química y mecánica, que se traduce en su grado de evolución (Hekinian et al., 1985). Las variaciones en color, por otra parte, son debidas a diferencias composicionales y mineralógicas (Peter, 1986).

Existen muy pocos sedimentos pelágicos que cubren los montículos ("mounds"), aún en zonas de altas tasas de sedimentación. Lo anterior, de acuerdo con Peter (1986), se debe a varios factores: 1) una vez que es incorporado el material pelágico a la superficie del montículo, es disuelto

debido a las condiciones fisicoquímicas prevalecientes; 2) la delgada capa superficial de sedimentos pelágicos es continuamente erosionada por influencias gravitacionales, corrientes de fondo, bioturbación, redistribución y/o acomodo de la base del montículo; y 3) la evidencia más contundente, los montículos son mucho más jóvenes que los sedimentos circundantes.

Una característica notable en los montículos ("mounds") hidrotermalmente activos es la existencia de varias formas de vida, como los cangrejos, bivalvos, anémonas y principalmente anélidos que forman costras superficiales con sus habitáculos (Soto y Molina, 1986).

Las chimeneas y espiras hidrotermales son estructuras columnares que varían grandemente en altura, de pocos centímetros a 30 metros sobre el sustrato. Ellas están situadas directamente sobre montículos hidrotermales o sobre sedimentos litificados cercanos a los montículos, o bien en agrupaciones aisladas lejos de cualquier montículo hidrotermal.

Las chimeneas verdaderas tienen un orificio central de varios cm de diámetro, por medio del cual se descargan los fluidos. Por otra parte, las "espiras" carecen de orificio central y mas bien poseen numerosos huecos interconectados por los que escapan los fluidos.

Las chimeneas hidrotermales se pueden subdividir en dos grandes grupos, las chimeneas muertas o inactivas <<white smockers>>, y las chimeneas activas <<blacks smockers>> con diferencias composicionales y de color bien definidas, así por ejemplo, las chimeneas muertas son ricas en sulfatos y las chimeneas activas son ricas en sulfuros. A diferencia de los montículos ("mounds") estas comunmente no presentan incrustaciones de habitáculos de organismos tubícolas.

A partir de investigaciones sobre geoquímica orgánica realizadas (Simoneit et al., 1979; Simoneit y Lonsdale, 1982; Simoneit, 1983; 1984; 1985_a; 1985_b; Simoneit et al., 1984; Brault et al., 1985) y de la apariencia física de ciertas muestras de llegada del presente estudio, se nota que ciertos depósitos hidrotermales se encuentran saturados de petróleo, y se piensa que este es derivado de alteraciones térmicas de material orgánico sedimentario (Simoneit y Lonsdale, 1982).

A partir de las clasificaciones anteriores, Haymon y Kastner (1981), describieron a detalle los diferentes tipos de depósitos hidrotermales, realizando las primeras interpretaciones gráficas que se observaron en el piso oceánico (Fig. 3) y que de acuerdo con Hekinian y Francheteau (1985) estos depósitos se pueden describir de

una manera más amplia según su estado de evolución; existen cuatro principales estados :

El primer estado de actividad hidrotermal está marcado por la descarga "inter-almohadillas" <<interpillow>> de fluido de baja temperatura (<30°C), que da la impresión de una ligera corriente de agua clara. Las rocas se empiezan a teñir de naranja, rojo y blanco por los precipitados de los hidróxidos de Hierro, Aluminio y Magnesio. Comunidades de organismos comienzan a poblar e incrustar sus habitáculos tubícolas; cangrejos y bivalvos empiezan igualmente a desarrollarse a lo largo de la fractura de la que emana fluido templado.

En el segundo estado se registra un incremento en la actividad hidrotermal, el fluido ahora se ha tornado a blanco difuso. Los altos valores de pH (>5) sugieren que ocurre una mezcla entre el fluido y el agua de mar percolada antes de ser eyectado a través de los poros. Aquí se dá la precipitación de sulfuros y a su vez se empiezan a crear pequeñas edificaciones (<1m de altura) de forma oval, similar a una bola de cañon <<snowball>> (Fig. 3). Estas incipientes edificaciones se empiezan a poblar por poliquetos identificados como "alvinella" (Desbruyeres y Laubier, 1979 en Peter, 1986), asociándose con otras comunidades de organismos. La temperatura del fluido en este estado ya es de 100°C a 200°C, y las comunidades colonizadoras solo viven alrededor de la edificación a temperatura ambiente más baja (<50°C).

Durante el tercer estado, la intensidad de la descarga hidrotermal alcanza su máxima actividad y chimeneas cilíndricas e irregulares se edifican alrededor de la columna del fluido a altas temperaturas (de 200°C a 350°C), cuyo color ahora es oscuro. Estas chimeneas consisten esencialmente de calcopirita y sulfuros de Zn. El fluido caliente tiene un pH < 5 y es enriquecido en Ca, Si, Rb, Mn, K y Cl y en contraparte disminuye la concentración de Mg y SiO₄ con respecto al agua de mar. En este periodo las comunidades animales han declinado considerablemente debido a las altas temperaturas del ambiente y a las altas tasas de depositación de sulfuros que sepultan a los organismos. Tanto el crecimiento extensivo de nuevas chimeneas como el sepultamiento de organismos sésiles (básicamente poliquetos) y contribuyen a la formación de grandes edificaciones.

El cuarto estado, ahora ya decadente, se presenta cuando los orificios y chimeneas son obstruidas debido a la depositación excesiva de sulfuros y solo cuando disminuye tanto la descarga como la temperatura. Lo anterior se registra por la ventilación de un fluido difuso de baja temperatura (<250°C). Este estado produce una textura masiva sobre las edificaciones ya que los huecos han sido rellenados previamente por los precipitados. Una vez que la

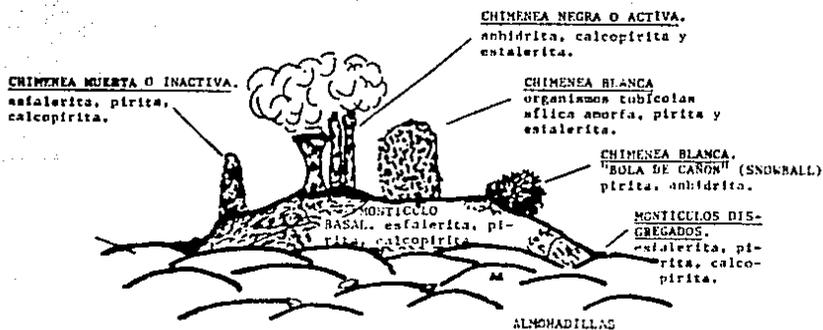


Figura 3. Variedad de estructuras observadas en los diferentes sitios hidrotermales de 21°N - del E.P.R y sus principales minerales asociados (MODIFICADO DE HAYMOND AND KASTNER, 1981).

actividad hidrotermal ha cesado completamente, las edificaciones tienden a degradarse, debido al restablecimiento del ambiente altamente oxidante. El agua de mar reacciona con los sulfuros metálicos produciendo óxidos y oxihidróxidos de hierro. Estos depósitos envejecidos están asociados a compuestos ricos en Fe y Mn que son transportados lejos de las fuentes hidrotermales (una posible explicación a la existencia de concreciones de ferromanganeso de origen hidrotermal (Lalou, 1984)) y son similares a la capa oxidada de los depósitos ricos en sulfuros antiguos.

De la clasificación anterior se desprende que en realidad el reflejo de la naturaleza podría explicar en gran medida el estado actual de los depósitos, sin embargo, esta no permite explicar la diferencia entre chimeneas y montículo, y lo que llama más la atención es que la descripción asume que las chimeneas en su última etapa de actividad son un factor que promueve la creación de los montículos ("mounds").

La última clasificación que se presenta, es posiblemente la más adecuada desde el punto de vista geoquímico, pues incluye el modelo de circulación hidrotermal como base (Bonatti, 1984). Igualmente la clasificación considera al depósito de acuerdo a su estado deposicional, es decir, antes y después de ser eyectado el material. La Fig. 4 presenta esta clasificación que contempla esencialmente 4 diferentes tipos de depósitos metálicos que han sido observados y muestreados en el piso oceánico:

i) Depósitos de predescarga, formados dentro de la corteza ígnea, antes de la descarga de soluciones al piso oceánico (Depósitos hidrotermales formados previamente a la descarga ó Depósitos hidrotermales <<pre-descarga>>), cuya composición es de sulfuros metálicos diseminados y masivos, y óxidos metálicos diseminados.

ii) Depósitos de co-descarga, formados en el sitio de la descarga hidrotermal (Depósitos hidrotermales <<in situ>>), están constituidos por chimeneas (sulfuros metálicos masivos), óxidos metálicos y metalo-silicatos.

iii) Depósitos de post-descarga, formados por elementos derivados de fuentes hidrotermales que precipitan al piso oceánico, después de algún tiempo de residencia en las aguas de fondo (Depósitos hidrotermales formados posteriormente a la descarga ó Depósitos hidrotermales <<post-descarga>>), estos pueden ser concentrados o diluidos y están compuestos principalmente por óxidos metálicos, metalosilicatos y sulfuros metálicos estratificados.

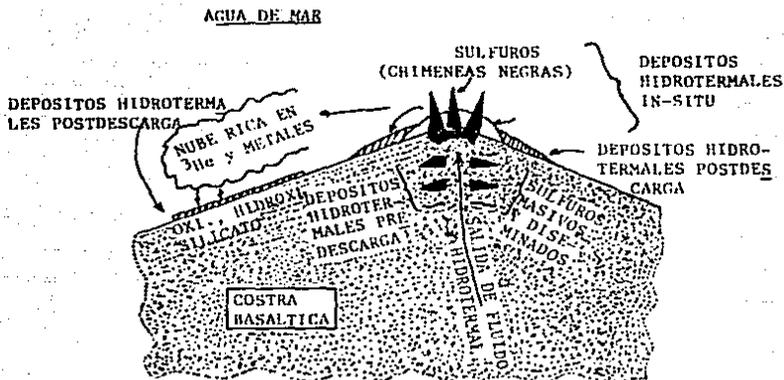


Figura 4. Representación esquemática de los diferentes tipos de depósitos metálicos como resultado de la actividad hidrotermal (Bonatti, 1984).

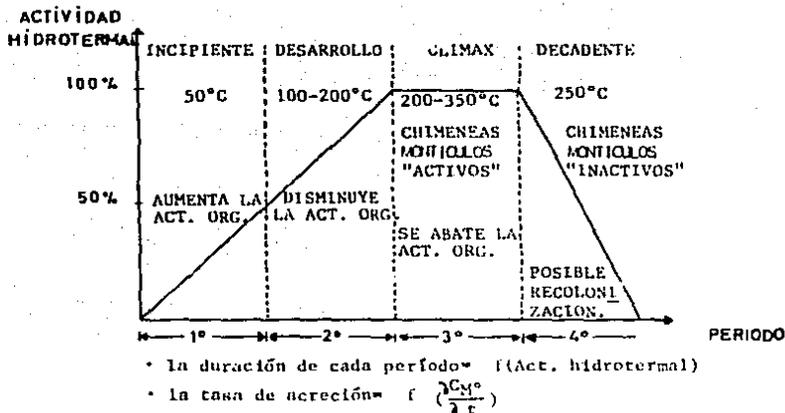


Figura 5. REPRESENTACION GRAFICA DEL CRECIMIENTO DE LAS CHIMENEAS HIDROTERMALES SEGUN SU ESTADO DE EVOLUCION.

iv) Depósitos hidrotermales intrasedimentarios, la última clase de depósitos es aquella que se encuentra cuando las soluciones hidrotermales, enriquecidas en metales, están siendo descargadas de la corteza ígnea a la columna de sedimentos, como por ejemplo, caso típico en zonas de elevadas tasas de sedimentación (Depósitos hidrotermales <<intra-sedimentarios>>), su composición está dada también por sulfuros metálicos, metalo-silicatos y óxidos metálicos.

La Fig. 5 muestra simplídicamente un modelo del ciclo de formación de depósitos en función de la actividad hidrotermal así como los diferentes eventos que caracterizan a cada etapa.

2.2 METALURGIA EXTRACTIVA DE SULFUROS MASIVOS

2.2.1 DESCRIPCION E IMPORTANCIA

El término "Sulfuro masivo" fue primeramente usado en los depósitos de Río Tinto, Brasil, donde altas concentraciones de metales ($\text{Cu} + \text{Pb} + \text{Zn} = 6\%$) se presentan como sulfuros minerales en "lentes" de piritas gigantes de varios miles de toneladas (Ergunlap y Weber, 1985). Hoy en día el término es libremente usado para muchos depósitos ricos en sulfuros, no obstante el concepto original de masivo.

Dado que el modelo de metalogénesis hidrotermal impera en la mayoría de los mecanismos de formación de los depósitos encontrados tanto en continente como en el piso oceánico, el término de acumulaciones de Sulfuros Masivos puede ser ampliamente aplicado.

Los depósitos de sulfuros masivos son de interés económico común debido a sus altos grados (Leyes*) en metales; ellos contienen las reservas mas grandes conocidas hasta ahora (Konigsman, 1985).

Desde el punto de vista metalúrgico, un depósito rico en sulfuros puede ser llamado complejo por dos principales razones: 1) si no es posible recuperar mas del 75% de metales comercializables contenidos en el mineral, por métodos convencionales de bajos costos; y 2) si técnicas de fusión especializadas han sido diseñadas para tratar elementos nocivos ambientalmente, tal como el arsénico.

Muchos de estos materiales no pueden ser satisfactoriamente tratados por métodos convencionales que permitan obtener concentrados de grados comercializables. Una limitación en este sentido puede ser la mineralogía compleja que poseen o bien, la extremadamente fina mineralización o mineralización diseminada. En muchos de los casos, la diseminación es tal que aún con una molienda muy fina (+ 400 Mallas) los minerales no se alcanzan a liberar**.

* Ley mineral = % de metal en la muestra

**Grado de liberación = % de partículas de material que no se encuentran asociadas a otras fases.

El primer problema en el procesamiento de minerales es la separación, ya que los minerales de sulfuros masivos se encuentran asociados a diferentes fases de Silicatos, Sulfatos, Silicoaluminatos, Carbonatos y aun a fases diferentes de Sulfuros metálicos, siendo necesario someterlos a procesos de separación y concentración que ayuden a este propósito.

Algunos de los problemas mas importantes encontrados en la separación de minerales son los siguientes (Leja, 1982):

a) Franca oxidación superficial de granos individuales de sulfuros.

b) La coexistencia de minerales de sulfuros y minerales oxidados, tales como óxidos, carbonatos y sulfatos.

c) Un alto grado de "enclaustramiento" y extremadamente fina diseminación de los valores de sulfuros en el cuerpo de Pirrothita y Piritita masivas.

d) Diseminación fina de valores en matrices afines.

e) La coexistencia de minerales altamente hidrofóbicos, tales como Talco, Grafito, Molibdenita, Carbonatos, Stibinita, Azufre elemental, etc. con valores de Sulfuros metálicos.

f) La coexistencia de Arcillas minerales.

Para el caso de los procesos de separación por flotación todos los puntos señalados representan un obstáculo, ya que tanto los minerales oxidados como la coexistencia de minerales altamente hidrofóbicos y el enclaustramiento inhiben sustancialmente el proceso haciendo poco costeable su utilización.

2.2.2 PROCESOS DE SEPARACION/CONCENTRACION

Los procesos de separación y concentración se pueden dividir en físicos y químicos, los cuales están diseñados en base a ciertas propiedades físicas y químicas de los materiales respectivamente (Habashi, 1980).

Las propiedades físicas en las que se basa la separación/concentración de minerales, son las siguientes:

Color y apariencia general.- Esta es la forma más simple de separación. Es usado ocasionalmente para separar manualmente material útil del no útil, sobre bandas transportadoras; aquí las propiedades de color y lustre son

utilizadas, por ej. el mineral de berilio es casi siempre enriquecido por este método.

Dureza.- La dureza del material es algunas veces utilizada para efectos de separación por cribado, esto es acompañado de operaciones de molienda donde el material suave es diferencialmente molido del mineral mas duro que conserva su tamaño original. El cribado de material proveniente de molienda dará como resultado concentrados de material duro sobre la criba. Algunos minerales como Bauxita se presentan en matrices de arcillas.

Gravedad específica.- La diferencia de esta propiedad en los minerales ofrece un método simple de separación. Este método mejor conocido como "separación gravimétrica" es ampliamente utilizado, obteniéndose concentrados bien clasificados de minerales ligeros y pesados. Dentro de los principales equipos representativos de este método se pueden mencionar desde el "pan de oro" de los gambusinos, hasta los hidrociclones pasando por la mesa Willfley, elutriadores y espirales de separación.

Susceptibilidad magnética.- La separación magnética es un medio de concentración eficiente para muchos minerales que contienen hierro. La magnetita es fuertemente atraída por un campo magnético y puede ser separada de otros minerales no magnéticos.

Propiedades electrostáticas.- Este método utiliza la fuerza de un campo eléctrico para efectos de separación de minerales con diferentes propiedades eléctricas. La unidad de separación consiste de un tambor rotatorio al que se aplican corrientes de altos voltajes-bajos amperajes. Las partículas no conductoras se adhieren al tambor, mientras que las conductoras permanecen inafectadas por pérdidas de carga.

Técnicas de separación más sofisticadas también son utilizadas en base a otras propiedades tales como radioactividad y conductividad térmica.

PROPIEDADES QUIMICAS

Propiedades de superficie.- Esta propiedad es la base de los procesos de concentración por flotación, el cual es actualmente el más importante proceso de concentración para muchos minerales. El proceso depende de la capacidad de humectar (hidroficidad) selectivamente algunas partículas minerales, mientras que otras permanecen incompatibles con el agua (hidrofobicidad), adheriéndose a burbujas de aire que flotan a la superficie y que son removidas como un concentrado en la espuma. Este proceso se realiza en cubas o celdas especiales diseñadas para este fin. Agitación continua y alimentación de agua son mantenidas durante el

proceso que junto con la adición de reactivos químicos que modifican las características superficiales originales promueven la concentración.

El proceso de flotación es comúnmente utilizado para concentrar minerales ricos en sulfuros de cobre, plomo, zinc, y es posible separarlos selectivamente (este proceso es descrito a detalle en el siguiente punto).

Los reactivos utilizados en flotación se pueden generalizar como sigue:

- Espumantes.- Estos son reactivos solubles en agua que bajan la tensión superficial e incrementan la persistencia de burbujas formadas, por ej. alcoholes, ácido cresílico, aceite de pino, etc..

- Colectores.- Estos son usados para cubrir con una película repelente (hidrofoba) al mineral que va a ser flotado, por ej. xantatos, tiofosfatos, aminas, etc..

- Acondicionadores.- Estos incluyen a) reguladores de pH; b) activadores como CuSO_4 para activar esfalerita; c) Depresores como ZnSO_4 o cianuro para deprimir esfalerita.

2.2.3 FLOTACION DE SULFUROS

La flotación es un proceso químico importante por medio del cual un sólido puede ser separado de otros sólidos en una mezcla. La separación de sólidos por flotación se caracteriza por el contacto que se establece entre tres fases, estas son: el sólido a ser flotado, una solución acuosa y un gas (generalmente aire) (Bruyn and Agar, 1962).

Con excepción de muy pocos sólidos inorgánicos, todos los minerales son completamente humectados por la fase acuosa, de tal manera que el primer paso en la flotación es el remplazar parcialmente la interfase sólido-líquido por la interfase sólido-gas. Este proceso de desplazamiento se lleva a cabo con la adición de reactivos específicos a la fase acuosa. Al reaccionar con la superficie del sólido se genera una película hidrofóbica sobre el sólido; aunque el objetivo fundamental de la adición es alterar la superficie del sólido a ser flotado, las reacciones entre los reactivos y las especies derivadas de la disolución de los sólidos son inevitables (Bruyn and Agar, 1962).

La técnica de separación selectiva por flotación puede ser eficientemente aplicada solo para aquellas mezclas donde las partículas a ser separadas se encuentran como granos liberados (individualmente libres). De tal manera que si la fase a ser flotada no esta completamente liberada de otros

sólidos en la mezcla, las partículas serán conjuntamente flotadas y la separación por lo tanto no será completamente selectiva, obteniéndose al final un producto contaminado.

La mezcla de sólidos de tamaño apropiado y liberado, del cual partículas seleccionadas serán separadas, es puesta en agua con agitación. A esta suspensión se le conoce como "pulpa de flotación". La pulpa es entonces vaciada a un recipiente apropiado llamado "celda de flotación". No obstante que existen aproximadamente 40 diseños diferentes de celdas utilizadas en todo el mundo (Leja, 1982), todas ellas en esencia son modificaciones de tres principales tipos:

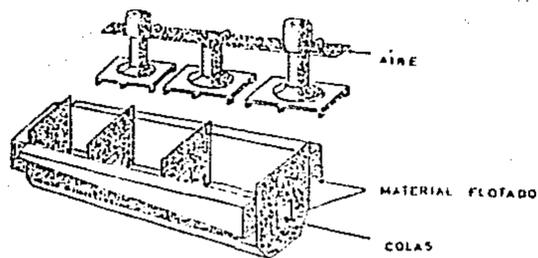
1) Celda mecánica equipada con línea de aire y agitador (rotor) para mantener en suspensión las partículas y dispersar el aire suministrado a través de un tubo central alrededor del rotor (Fig. 6a). Este diseño es el más utilizado.

2) Celda neumática, en la cual la suspensión de las partículas se lleva a cabo solamente por medio de inyección de aire comprimido (compresor) (Fig. 6b).

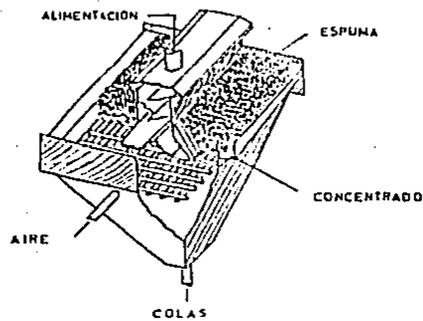
3) Celda tipo ciclón, en la cual la pulpa es alimentada junto con el aire a través de un alimentador ciclónico (Fig. 6c).

El tamaño de estas celdas varía del modelo de laboratorio con una capacidad de 1 litro a 8 litros al modelo industrial de 15m³ a 20m³.

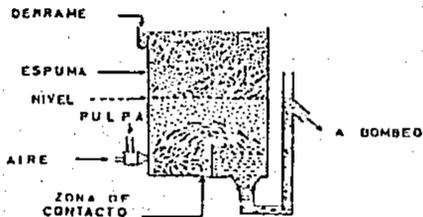
Las superficies de las partículas que van a ser flotadas deben convertirse en hidrofóbicas, es decir, solo humectadas parcialmente por agua. Un indicador del carácter hidrofóbico es observado por la restringida área de contacto cuando una gota de agua es depositada sobre una superficie plana expuesta al aire (Fig. 7a). La silueta de la gota de agua puede ser muy redondeada cuando se trata de un sólido hidrofóbico, o bien la silueta de la gota se aplanan cuando el sólido posee un carácter menos hidrofóbico. El ángulo de contacto <<teta>> medido entre la superficie sólida y la tangente a la superficie líquida, es a menudo referido como una medida de hidrofobicidad, sin embargo, esto solo debe considerarse como un indicador y no una medida (Leja, 1982). Cuando el sólido está completamente humectado por agua, la gota de agua se expande alrededor de la superficie del sólido formando una delgada película (Fig. 7b). A tales sólidos se les conoce como hidrofílicos. Cuando pequeñas partículas son sumergidas en agua y puestas en contacto con una burbuja de aire, las partículas que son hidrofóbicas se fijan a ella, mientras que aquellas que son hidrofílicas no (Fig. 7b).



(a)



(b)



(c)

Figura 6. DIFERENTES TIPOS DE CELDAS DE FLOTACION
 a) CELDA MECANICA; b) CELDA NEUMATICA
 c) CELDA TIPO CICLON (F.F.A., 1982).

GOTA DE LIQUIDO SESIL SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA

AIRE

$$\theta = 0$$



BURBUJA DE AIRE, NINGUNA ADHESION A SUPERFICIES HIDROFILICAS.



PRUEBA DE BURBUJA DE AIRE
CAPTURADORA DE PARTICULAS.



NO EXISTE ADHESION DE
PARTICULAS HIDROFILICAS.

Figura 7 b. SOLIDOS HIDROFILICOS

LIGERAMENTE
HIDROFOBICA
 $\theta < 90^\circ$

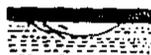
FUERTEMENTE
HIDROFOBICA
 $\theta > 90^\circ$



BURBUJA DE AIRE EN UNA SUPERFICIE PLANA SUMERGIDA.



$$\theta < 90$$



$$\theta > 90$$

PRUEBA DE BURBUJA DE AIRE CAPTURADORA DE PARTICULAS.



POCAS PARTICULAS
FIJADAS.



MUCHAS PARTICULAS
FIJADAS.

Figura 7 a. SOLIDOS HIDROFOBICOS.

Si la superficie del sólido a ser flotado no posee características hidrofóbicas, se debe modificar para crear sobre ella propiedades de hidrofobicidad con la ayuda de la adsorción de surfactantes convenientes, los cuales son llamados colectores.

La flotación pues, es simplemente una de las técnicas para separar partículas hidrofóbicas de otras hidrofílicas.

En separación de mezclas de fases complejas la adición de varios agentes modificadores es requerida, algunos de los cuales ayudarán a mantener el carácter hidrofílico mientras que otros reforzarán la acción de los colectores. Los agentes modificadores son llamados propiamente Depresores y Activadores.

Cuatro grupos de reactivos son utilizados para la flotación de sulfuros minerales, así como gran cantidad de aire, estos son: Espumantes, Colectores, Depresores y Activadores. Un reactivo puede clasificarse en más de una de estas clases, es decir, que un reactivo puede funcionar con más de una de estas propiedades, por ej., un espumante puede ser también un colector, o un depresor para un mineral puede ser igualmente un activador de otro. La concentración del reactivo también es importante, por ej., altas concentraciones de una cadena parafínica de colector actúa como depresor.

ESPUMANTES

Los espumantes usados para flotar sulfuros minerales son reactivos que contienen moléculas con grupos tanto polares como no polares, por ej. el terpinol tiene un grupo polar OH y un grupo no polar $C_{10}H_{17}$. El terpinol es un compuesto típico de los espumantes aceite de pino y aceite de eucaliptus.

El grupo polar no está ionizado en los espumantes comúnmente usados para la flotación de sulfuros. Los espumantes se caracterizan por su fuerte adsorción en la interfase aire-líquido, la mayoría de estos compuestos también son adsorbidos sobre la superficie del sulfuro a altas concentraciones.

COLECTORES

Tagar y colaboradores en 1930 (Roger, 1962) fueron los primeros en hacer y demostrar que los colectores solubles contienen un grupo polar y uno no polar. Ellos postulan que durante la flotación el grupo polar $-OCS_2-$ de etil xantato se fija a la superficie del mineral y el grupo no polar C_2H_5- se orienta hacia fuera de la pulpa. Químicamente los constituyentes del grupo no polar, Carbono e Hidrógeno son los mismos que aquellos de las parafinas. Una vez cubierta

la superficie mineral por el colector, el aire desplaza al agua de la superficie de la parafina, así, el colector sobre la superficie del sulfuro funciona como puente entre la superficie del colector y el aire. Este desplazamiento del agua por aire sobre la superficie mineral cubierto por el colector, hace que el ángulo de contacto entre las fases aire-líquido-sólido sea infinita, condición fundamental para que ocurra la flotación.

DEPRESORES

Los reactivos utilizados son principalmente sales inorgánicas, los cuales compiten con el colector por la superficie del sulfuro.

Las álcalis fueron primeramente utilizadas y a estos siguieron los efectos del NaCN como depresor en soluciones alcalinas. La adición de CN^- previene la flotación por Xantatos de esfalerita y piritita, pero no de galena, por consiguiente concentrados de galena pura son posibles.

Un exceso de cationes de metales pesados y altas concentraciones de muchos aniones deprimen la mayoría de los sulfuros. El sulfato de zinc y el NaCN es un ejemplo de una combinación efectiva entre un catión y un anión para deprimir esfalerita. El Na_2S y sulfito de sodio son ejemplos de otros depresores.

ACTIVADORES

Un activador es una sustancia que altera la superficie de un sulfuro para que así pueda adsorberse un colector y sea flotado. Los activadores al igual que los depresores son generalmente sales inorgánicas, por ej., uno ampliamente utilizado es el $CuSO_4$ el cual activa esfalerita para flotarse con xantato. Plomo, plata y muchos otros iones metálicos pueden ser substituidos por el cobre.

La activación de los iones se lleva a cabo cargándolos de signo opuesto al del colector, de tal forma que los iones Cu^{2+} activan esfalerita para ser flotado con xantatos aniónicos.

La cantidad de activador requiere de control cuidadoso; adicionandose grandes cantidades puede provocarse una precipitación del colector, a este fenómeno se le conoce como pseudopresión.

2.3 FASES GEOQUIMICAS

Los metales pesados están presentes en los sedimentos y se asocian con las diferentes fases geoquímicas

existentes. Saber la distribución que guardan estos metales ayudará a conocer su origen y a detectar a aquellos potencialmente capaces de ser liberados al agua circundante.

Con el objeto de diferenciar las formas químicas o el modo de asociarse de los metales pesados en los sedimentos pelágicos, se han realizado diversos métodos que incluyen por un lado a los modelos, y por otro a las extracciones selectivas (Goldberg and Arrhenius, 1958; Chester and Huges, 1967). Sin embargo, más recientemente (Gupta and Chen, 1975; Tessier et al., 1979; Meguelatti et al., 1983; Tessier y Campbell, 1987) se han propuesto y probado algunos esquemas de extracción secuencial con el fin de averiguar específicamente la asociación de los metales pesados con una serie de fases geoquímicas operacionalmente definidas como sigue: 1) Fase intercambiable y/o de iones adsorbidos; 2) Fase oxidable o metales asociados a materia orgánica y sulfuros; 3) Fase asociada a carbonatos; 4) Fase reducible o metales asociados a óxidos de hierro y manganeso; 5) Fase residual ó litogénica.

No obstante que todas las técnicas de diferenciación geoquímica son ampliamente utilizadas y que su aportación en cuanto a estudios sobre biodisponibilidad y contaminación son interesantes, existen ciertas limitaciones en su utilización que demeritan en cierto grado su validez.

En términos generales se puede decir que los problemas se presentan a tres niveles 1)Reproducibilidad e interpretación, 2)Problemas Operacionales, y 3)Extracción química.

1) Reproducibilidad e interpretación.- Una de las principales limitaciones que se presentan en este sentido es la capacidad de la técnica de extracción para simular los procesos naturales (reacciones lentas con reactivos débiles). Es decir, para el caso de extracciones en organismos se dá la problemática de poder relacionar el índice de biodisponibilidad (biodisponibilidad = $\frac{\text{<M>organismo}}{\text{<M>sedimento ingerido}}$) con la cantidad del elemento lixiviado ó extralado. Sin embargo esto no refleja del todo la calidad del reactivo en cuanto a eficiencia de extracción se refiere, ya que no se consideran los procesos de desintoxicación (excreción, asimilación, etc.).

Por otra parte, se tiene el problema de la interpretación de los resultados, ya que un elemento puede tener más de una forma de asociarse (por ejem. los radionúclidos), y la respuesta de este frente a un reactivo dado dependerá de las propiedades químicas más que de su asociación mineralógica (Martin, et al., 1987).

2) Problemas operacionales.- El pretratamiento de la muestra y su conservación constituyen unos de los problemas

mas importantes desde el punto de vista operacional y desafortunadamente hoy en día no existe ninguna técnica de preservación satisfactoria para todos los metales en todas las fases (Martin et al., 1987), y las que se utilizan comunmente son las técnicas de congelamiento, ya sea en seco ó en húmedo.

3) Extracción química.- La consideración básica de las técnicas de extracción selectiva es que el reactivo destruya selectivamente una fase especifica sin solubilizar otra (reactivos específicos). Esta situación en la mayoría de los casos es poco controlable y es en gran medida fuente de poca confiabilidad en las determinaciones. Dependiendo de la selectividad del reactivo se podran controlar las reacciones secundarias que se llevan a cabo, como son las reacciones de readsorción o la formación de nuevos compuestos, por otra parte si el reactivo es poco selectivo puede provocar contaminación de la muestra ó interferencia de flama en el análisis por absorción atómica.

Cuestionable resulta entonces la designación de una fase extraída (fase intercambiable, fase carbonatos, etc.) en un substrato dado, motivo por el cual estas fases sólo pueden ser definidas operacionalmente (Martin et al., 1987).

A pesar de las numerosas limitaciones mencionadas anteriormente, las técnicas de extracción secuencial se utilizan con libertad ya que estas constituyen una buena aproximación de diferenciación en los procesos de interacción agua-biota-sedimento (fases sólidas) y estas han tenido buena aplicación en los campos de la geoquímica, en estudios de suelos y en estudios de contaminación y medioambiente.

CAPITULO III

AREA DE ESTUDIO

3.1 CUENCA DE GUAYMAS, GOLFO DE CALIFORNIA

La teoría de que el Golfo de California fue originado por la separación de la ahora Península de Baja California del continente, fue primeramente descrito por Wegener (1929), y se basa en el hecho de que la configuración general de la línea de costa, márgenes continentales y la geología aparece a través de todo el Golfo. El eje del Golfo es sísmicamente activo, y al norte está obviamente relacionado estructuralmente al sistema de la falla de San Andrés (Peter, 1986).

El Golfo de California es una "abertura intercontinental creada en el Post-Mioceno (iniciada hace 4 millones de años (Larson, 1972)) por expansión del piso oceánico en una cuenca intracontinental "protogolfo" más vieja (Moore, 1973 en Peter, 1986). La separación de las placas es oblicua a la tendencia general del Golfo, dando lugar en los límites de placas Pacífica-Americana un sistema rectilíneo de ejes de expansión alternados, con una longitud menor a 50 Km y con fallas transformes que son generalmente mayores a 100 Km (Fig. 8).

Al norte del Golfo, los ejes de expansión de la Cuenca Delfin y Wagner han sido sepultados por los aportes fluviales del río Colorado. Al sur del Golfo, la falla transforme Tamayo conecta a todo el sistema con la cordillera del Pacífico Este (EPR).

La Cuenca de Guaymas, al centro del Golfo de California tiene aproximadamente 240 Km de longitud por 60 Km de ancho (Figura 8). Esta, es una cuenca en expansión tectónicamente activa y también forma parte del sistema de ejes de expansión y fallas transformes que se extienden desde el EPR hasta el sistema de fallas de San Andrés. La cuenca es muy activa y consiste de dos depresiones, la depresión sur y la depresión norte, separadas por una falla transforme de 20 Km (en-echelon) (Fig. 8). Estas depresiones tienen de 3 a 4 Km de ancho y poseen una profundidad promedio de 2000 m.

Las tasas de sedimentación en la cuenca son altas, del orden de 0.5 a 2.5 m/1000 años (Calvert, 1966; Simoneit y Lonsdale, 1982; Páez-Osuna y Osuna-López, 1988). Esta rápida acumulación obedece a los aportes tanto de materiales terrígenos como pelágicos. El sedimento clástico es suministrado por los ríos Yaqui y Sonora, los cuales drenan

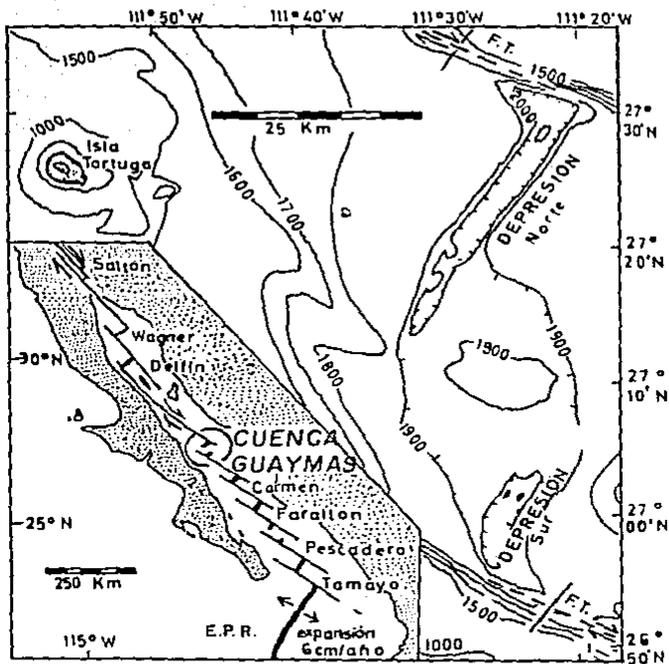


Figura 8. BATIMETRIA EN (m) DE LA CUENCA DE GUAYMAS. F.T= FALLA TRANSFORME. EN EL RECUADRO SE MUESTRA LA LOCALIZACION DE LA CUENCA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA ASI COMO EL SISTEMA DE FALLAS A LO LARGO DEL GOLFO (MATHIAS, J.P., 1986).

la Sierra Madre. Los restos de diatomeas y la abundante materia orgánica en el centro del Golfo es el reflejo de las zonas altamente productivas que, junto con las bajas concentraciones de oxígeno provocan condiciones reductoras en el sedimento y son responsables de los altos contenidos orgánicos (de 2% a 2.5% de C (Simoneit et al., 1979)) sobre las profundidades de los 400 y 800 m. Finalmente la dinámica oceánica y topografía de fondo de la zona contribuyen a la sedimentación.

El area de estudio de este trabajo comprende a la depresión sur de la Cuenca de Guaymas, en la Fig. 9 se presentan los sitios muestreados de acuerdo al número de inmersión correspondiente, así como las características topográficas a detalle de esta zona.

3.2 CORDILLERA DEL PACIFICO ESTE (21°N) (EPR)

El EPR es aparentemente una continuación del sistema de la Cordillera Mezoatlántica (MAR), tiene una dorsal de 2 a 3 Km sobre el piso oceánico y posee pendientes más suaves que aquellas del MAR.

Los 21°N de la Dorsal del Pacifico Mexicano (tasa de expansión de 6cm/año) es el area más estudiada de todos los sistemas hidrotermales del Océano Pacifico (Scott, 1985). Las rocas del piso oceánico son elevaciones tipo basálticas del océano medio (MORB) practicamente denudadas o escasas en sedimentos.

Existen básicamente dos estructuras morfológicas dominantes en la Cordillera del Pacifico Este, que se presentan tanto en 21°N como en aquellas estudiadas por Hekinian y Francheteau (1985) en 13°N:

"Estanques" de lava (lava-pound)

Este es el terreno más prominente encontrado a lo largo de los centros de los grábenes y consiste de estructuras elongadas colapsadas (menores a 50 Km de long.), con formaciones columnares que se presentan en 13°N y 21°N. Los estanques de lava incluyen sitios donde flujos volcánicos recientes están asociados con campos hidrotermales intensamente activos. Los sitios hidrotermales están distribuidos discontinuamente en los estanques de lava.

Dominio fisural

Estas están representadas en los segmentos "en echelon" localizados entre los estanques de lava. Esta estructura es

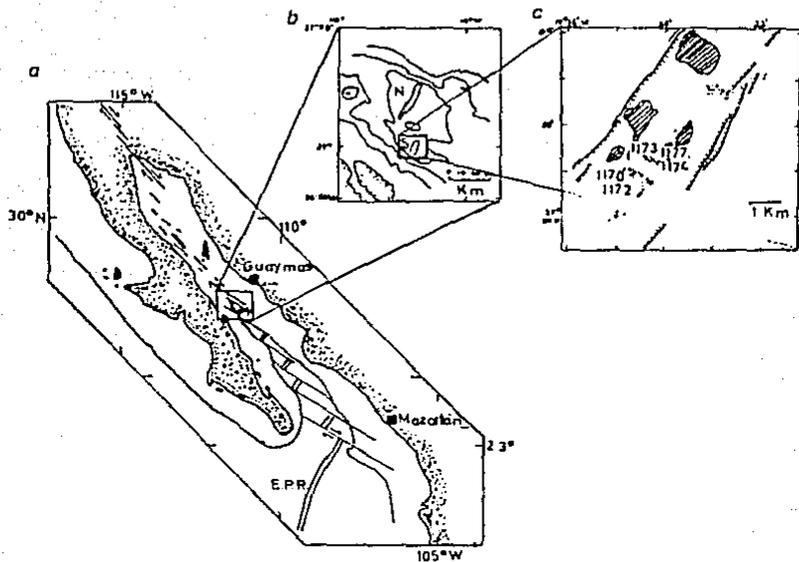


Figura 9. a) MAPA DEL SULEO DE CALIFORNIA QUE MUESTRA LA LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA MUESTREADA. b) MAPA DE LA CUENCA DE GUAYMAS CON SUS DOS DEPRESIONES (NORTE Y SUR) c) MAPA DE LOCALIZACION DE LA DEPRESION SUR DE LA CUENCA QUE MUESTRA EL NUMERO DE IMERSION Y COLECCION DEL ALVIN DURANTE EL MUESTREO (MODIFICADO DE SIMONEI, 1985).

caracterizada por fisuras estrechamente espaciadas que cortan transversalmente a las almohadillas y unidades de flujos de lava masivos. Las fisuras son cuasilineales y paralelas a la dirección principal del eje, ellas son relativamente pequeñas (< 1Km de long. y aprox. de .3 a 20m de ancho) y abundantes en el centro del graben.

La Fig. 10 muestra el area especifica de estudio en los 21°N, así como los sitios muestreados. Esta zona comprende el area de las montañas de Larson's (Lonsdale et al., 1982) y el area de chimeneas hidrotermales en el eje de expansión.

Adicionalmente se colectó el núcleo B/32 sobre una región adyacente a 55 Km de las chimeneas hidrotermales (21°41'8 lat N, 110°05'3 long W a una profundidad de 3220 m) (Figura 10).

3.3 COMPARACION ENTRE LAS DOS AREAS (21°N vs C. de G.)

Las dos areas conocidas en el Pacifico Mexicano poseen fisiografias diferentes y tienen influencia directa sobre el tipo de depósito generado. Por un lado tenemos en el area de 21½N, cordilleras basálticas con trazas de sedimentos; y por otro, la Cuenca de Guaymas es una región densamente cubierta por sedimentos que sobreyacen a las fallas activas.

Los 21°N poseen una tasa promedio de expansión de 6cm/año (Williams et al., 1979; Simoneit, 1985; Scott, 1985), no obstante de pertenecer al mismo sistema del EPR, este valor es inferior al sitio de 13°N con una tasa de expansión de 12cm/año (Scott, 1985) que sugiere una mayor actividad. Los fluidos emanados en la región de 21°N estan siendo expulsados a una temperatura de 350 C a través de las chimeneas. Los principales precipitados hidrotermales son sulfuros de Cu, Zn y Fe con cantidades menores de sulfato de calcio y bario. Dadas las condiciones fisicoquímicas el sulfuro de plomo está prácticamente ausente, siendo la fase dominante la pirita.

La Cuenca de Guaymas por su parte, registra una tasa de expansión similar a aquella de 21°N. La columna de sedimentos en la Cuenca es de aproximadamente de 400 m de profundidad, con una tasa de sedimentación de alrededor de 0.1cm/año (Simoneit, 1983; Scott, 1985). El carbón orgánico en los sedimentos es de 3%. En esta región se han descubierto alrededor de 100 sitios hidrotermales.

Las reacciones que se dan entre agua de mar y rocas por debajo del piso oceánico, según el modelo hidrotermal, generan un fluido parecido al de 21°N, sin embargo en la Cuenca de Guaymas, el fluido ocasionalmente pasa a través de 400 m de sedimento rico en materia orgánica y carbonatos antes de ventilarse. El fluido aquí reacciona con los sedimentos, dando como resultado más altos valores de CO₂ y

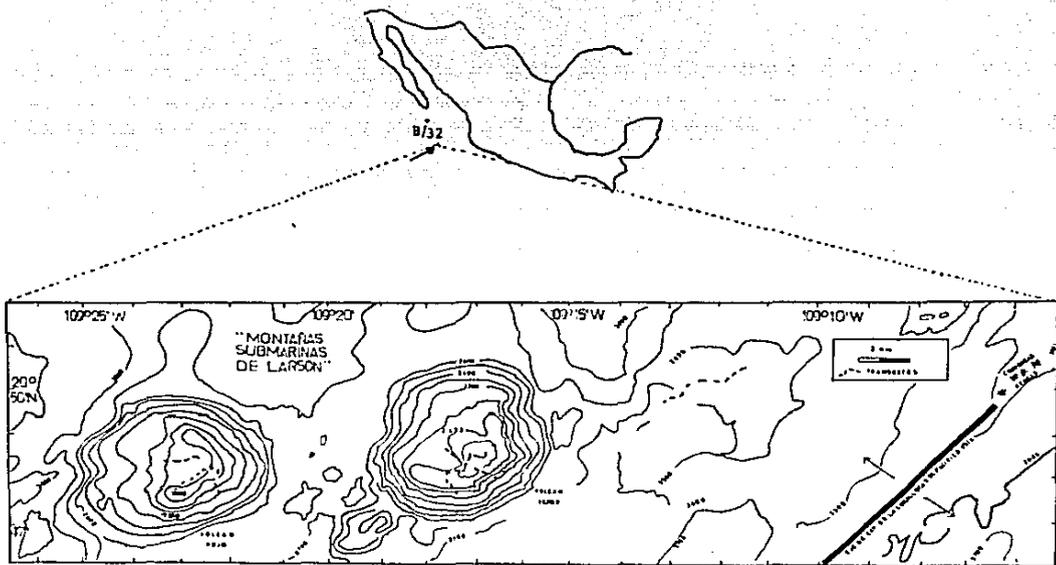


Fig. 10. Area de Estudio. 21° N

Ca a pH mas altos; los valores de metales a su vez son mas bajos que los registrados en fluidos de 21°N (Scott, 1985; Von Damm, 1983).

Si la composición de los fluidos difieren de una y otra zona por tratarse de ambientes distintos, se espera que la composición mineralógica de los depósitos sea directamente afectada. La mineralología de los sulfuros en la Cuenca de Guaymas es pues, diferente a las zonas escasas en sedimentos, por ej., la pirrotita ($Fe_{1-x}S$) es mas abundante en la Cuenca con cantidades menores de Zn, Cu y Pb que en 21°N. La estabilidad de la pirrotita sobre la pirita indica el estado altamente reducido del fluido (Scott, 1985).

La Fig. 11 muestra el modelo hidrotermal de ambas zonas con sus respectivas condiciones.

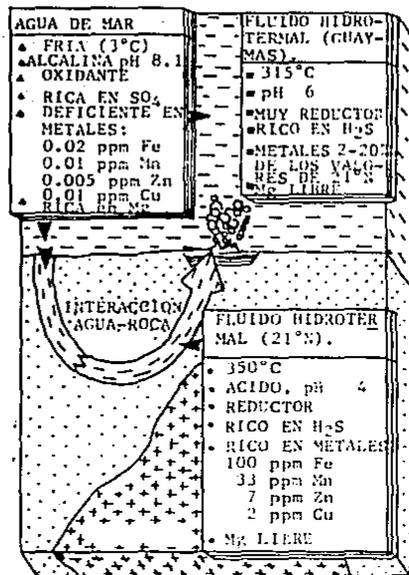


Figura 11. MODELO DE CIRCULACION HIDROTHERMAL TANTO PARA LA CUENCA DE GUAYAS COMO PARA LA REGION DE 21°N. EN LA CUENCA EL FLUIDO HIDROTHERMAL A TRAVES DE 400 m DE COLUMNA SEDIMENTARIA, ANTES DE ALCANZAR EL FONDO OCEANICO (SCOTT, 1985).

CAPITULO IV

METODOLOGIA

4.1 MUESTREO

4.1.1 CUENCA DE GUAYMAS

Durante la campaña oceanográfica estadounidense realizada en el periodo comprendido del 2 al 18 de enero de 1982 abordo de B/O "Lulu" de Woods Holl Oceanography Institute se muestreó la región sur de la Cuenca de Guaymas, realizando varias inmersiones con el sumergible "Alvin". Las muestras de estudio se obtuvieron por medio de muestreo directo con el brazo mecánico del minisub. En las 6 inmersiones que se realizaron se obtuvieron 6 muestras de material representativo como resultado de la colecta durante esta campaña (Prol R.M., comunicación personal) (Fig. 9). Así las muestras colectadas fueron envasadas en bolsas de polietileno en atmósfera inerte (Ar) para su transportación y almacenaje.

4.1.2 21°N

Durante la campaña oceanográfica estadounidense realizada del 25 de agosto al 17 de septiembre de 1985 abordo del B/O "Atlantis II", se colectaron 17 fragmentos de chimeneas hidrotermales por medio de muestreo directo con el manipulador del DS/VR "Alvin" de un total de 18 inmersiones (Fig. 10).

La Tabla 1 muestra una descripción general de la localización de las inmersiones durante esta campaña, así como, observaciones generales de las operaciones de muestreo.

4.1.3 PUNTO INTERMEDIO B/32

Abordo del Buque Oceanográfico "El Puma", durante la campaña oceanográfica Bermejo realizada en 1983, se colectó un núcleo de sedimentos de 88 cm de long., esto se logró utilizando un nucleador de gravedad modificado (Páez-Osuna et al. 1986).

El núcleo se mantuvo a una temperatura de 4°C hasta el momento de procesarse en bolsas de polietileno en atmósfera de Helio.

4.2 ANALISIS GEOQUIMICO

Las muestras de llegada se describieron y clasificaron de acuerdo a sus características físicas. Esto consistió en observaciones macroscópicas y microscópicas (Tabla 2).

TABLE 1. DIMENSIONES DEL DS N°Y ALVIN DURANTE EL PERIODO DEL 30 DE AGOSTO AL 17 DE SEPTIEMBRE DE 1965, EN LA REGION DEL DORSAL 21°N DEL PACIFICO MEXICANO.

Inmersión	Fecha	Localidad	Prof. (m)	Duración (Hrs.)	Tipo de muestra realizado	Observaciones
1632 ^a	31/08/65	27°01'N 111°24'W	2600	5	plancton	
1633	2/11/65	20°50.47'N 109°5.664'W	2600	8	plancton, macrofauna, fluido hidrotermal y rocas.	se colectaron especímenes de <i>Riftia</i> y un trozo de chimenea.
1634	3/11/65	20°50.47'N 109°5.664'W	2600	8	plancton, macrofauna, fluido hidrotermal y rocas.	se colectaron 8 almejas (<i>Calypptogena magnifica</i>) y una porción de la parte media de una chimenea.
1635	4/11/65	20°50.47'N 109°5.664'W	2600	8	plancton, fluido hidrotermal y rocas.	se colectó un trozo de la base de la chimenea.
1636	5/11/65	20°50.47'N	2600	8	plancton, fluido hidrotermal, rocas y sedimentos.	colectaron 2 núcleos de solamente 10 y 15 cm y un trozo de chimenea con cristales bien definidos en el interior de la pared.
1637	6/11/65	20°50.47'N 109°5.664'W	2600	8	plancton, fluido hidrotermal y rocas.	se colectó un trozo de chimenea perforada por <i>Alvinella pompejana</i> .
1638	7/11/65	20°50.47'N 109°5.664'W	2600	8	plancton, fluido hidrotermal y rocas.	colectó 3 ejemplares de basalto.
1639 ^b	8/11/65	20°50.47'N 109°23'W	2000	8	bentos, rocas y sedimentos.	colectaron especímenes de basalto, y 3 núcleos uno de ellos con residuos de cenizas volcánicas.
1640 ^a	9/11/65	20°50.47'N 109°23'W	2000	8	bentos y sedimentos.	4 minibus-coreros y 4 núcleos (20 cm).
1641 ^b	10/11/65	20°50.47'N 109°23'W	2000	8	bentos, agua, roca y sedimentos.	colectaron basaltos subterreos con una capa de óxido de Fe y 5 núcleos (20 cm).
1642 ^b	11/11/65	20°50.47'N 109°23'W	2000	8	bentos y sedimentos.	se muestraó la capa lútica mediante una botella tipo "Van-dorn", coloración rojo-naranja intensa hacia un poco al fondo.
1643 ^b	12/11/65	20°50.47'N 109°23'W	2000	8	bentos, agua y sedimentos.	capa lútica.
1644	13/11/65	20°50'N 109°06'W	2600	8	plancton, agua y rocas.	3 fragmentos de chimenea.
1645	14/11/65	20°50'N 109°06'W	2600	8	plancton, fluido hidrotermal y rocas.	varios trozos de basalto y una roca de sulfuros de la base de las chimeneas, <i>Riftia</i> , y dos ejemplares de la almeja <i>C. magnifica</i> .

(A) Cuenca de Guaymas; (B) Montañas submarinas de Larson.

Tabla 2 Descripción General de las Muestras Colectadas por el Superficie
 DE R/V ALVIN.

MUESTRA	ZONA DE PROCEDENCIA	SECCION MUESTREADA	DESCRIPCION GENERAL
A-1	Volcán rojo	Superficial (7-12 cm del núcleo)	Arcillas rojas (Montmorillonita); óxidos de hierro, color leudrillo en costras acuosas, obtenida con 20 tallas van Dorn mediante el brazo mecánico.
A-2	Volcán rojo	Superficial	Probablemente Montmorillonita, arcillas y óxidos de hierro, color café rojizo en costras acuosas, color más obscuro que la muestra A-1; colectada con brazo mecánico del ALVIN.
A-3	Volcán rojo	Sedimentos de costra báltica	Arcillas rojas y óxidos de hierro, color café rojizo, constitución sólida en sedimentos poco consolidados.
A-4	Chimeneas negras activas	Base de la chimenea	Intrusiones metálicas que dan un brillo adamantino; presenta oxidación superficial colectada con el brazo mecánico del ALVIN, color negro mate en sedimentos consolidados.
A-5	Chimeneas negras activas	Superficie de la base de la chimenea	Habitáculos de anélidos tubícolas; escamas férricas oxidadas en contraste con zonas negras de intrusiones probablemente metálicas, color negro mate en sedimentos consolidados.
A-6	Chimeneas negras activas	Superficie de la base de la chimenea	Costra con habitáculos de anélidos tubícolas; colectada con el brazo mecánico, color negro mate en sedimentos consolidados.
A-7	Chimeneas negras activas	Superficie de la base de la chimenea	Fragmentos de costras con habitáculos de anélidos tubícolas; colectada con el brazo mecánico del ALVIN, color negro mate en sedimentos consolidados.
A-8	Chimeneas negras activas	Superficie de la base de la chimenea	Costras con fuerte olor a sulfuros; habitáculos de anélidos tubícolas; colectada con el brazo mecánico, color negro en sedimentos consolidados.
A-9	Chimeneas negras activas	Basamento de la chimenea	Basalto vitro, color negro vitro en constitución sólida.
A-10	Chimeneas negras activas	Borde de la chimenea	Costras; presenta crecimientos aciculares; colectada con el brazo mecánico del ALVIN, color negro en sedimentos poco consolidados.
A-11	Chimeneas negras activas	Cuerpo de la chimenea	Probablemente pirita y/o bornita, coloración típica de sulfuros de Fe (piritas) y torrnasol; posibles costras; excelente muestra de chimenea, color dorado adamantino en cristales.
A-12	Chimeneas negras activas	Parte alta de la chimenea	Características particulares distintas a todas las demás muestras, color blanco rosado, terrón poco consolidado.
A-13	Chimeneas negras activas	Región interior de la chimenea	Presenta cristales aciculares con brillo metálico que se fragmentan siempre en cristales más pequeños, color negro fuerte como carbón, poco consolidado.
A-14	Chimeneas negras activas	Región interior de la chimenea	Colectada junto con la muestra A-13, ensayándose por separado por las diferencias observadas; el microscopio presenta cristales limonites translúcidos y aciculares negros.
A-15	Chimeneas negras activas	Región interior de la chimenea	Presenta las características de la muestra A-13, pero al microscopio presenta cristales menos fibrosos, es decir, equiaxiales, color negro poco consolidado.
A-16	Chimeneas negras activas	Interior de la chimenea	Pirita; brillo metálico y cristales típicos de pirita, perfectamente definidos y visibles, color verde adamantino en costras consolidadas.
A-17	Chimeneas negras activas	Interior de la chimenea	Presentada trabajado mecánico que sufre exarminaciones a bordo, color negro brillante en fragmentos pequeños.
A-18	Chimenea inactiva	Chimenea fuera A blanca	Muestra de chimenea no activa; se desmorona fácilmente en inmersión de agua.

Para el caso particular del núcleo B/32, este se seccionó longitudinalmente cada 5 cm obteniéndose un total de 15 secciones y analizándose cada una de ellas por separado. El núcleo se sometió a los análisis elemental y de especiación geoquímica.

Las muestras secas se trituraron y pulverizaron en un mortero de porcelana hasta un tamaño de partícula de aproximadamente 200 micrones. Posteriormente el material se submuestreó para los respectivos análisis. La Fig. 12 esquematiza el procedimiento seguido en este punto.

Para todos los análisis el material tanto de vidrio como de polietileno y teflón utilizado, se sometió a una técnica de lavado especial (Moddy y Lindstrom, 1977) para obtener un material libre de metales. Esta técnica consiste en alternar baños de agua bidestilada, HCl y HNO₃ a una concentración 2N para los baños ácidos, esta técnica ayuda a eliminar la contaminación del material y por ende las fuentes de error en la cuantificación.

4.2.1 ANALISIS ELEMENTAL

La digestión se realizó en vasos de precipitados de Teflón; de .2 a .3 g de muestra se sometió al ataque para poner los metales en disolución, empleando tratamientos sucesivos con ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico y ácido perclórico (Bruland et al., 1974; Páez-Osuna et al., 1984(b)). Finalmente las muestras en disolución ácida se leyeron en un espectrofotometro de absorción atómica (Shimadzu AA-630-12). El diagrama de flujo de la marcha analítica seguida se presenta en la Fig. 13.

4.2.2 DETERMINACION DE "C" Y "S"

La determinación de C y S en las muestras se realizó por el método Leco. Para el caso del núcleo B/32 se utilizó un analizador automático tipo Strolein 6000 CS similar al descrito por Páez-Osuna y colaboradores (1984_a); para el caso de las muestras de 21°N y de la Cuenca de Guaymas se utilizó el método tradicional de fusión/titulación Leco (Leco Corporation, 1982).

4.2.3 EXTRACCION SELECTIVA DE METALES

El material pulverizado y homogenizado de las muestras de 21°N y el núcleo B/32 se sometieron a la extracción secuencial de metales pesados de acuerdo a la marcha analítica de especiación propuesta por Meguelati et al. (1983) (Fig. 14). De esta manera un total de 6 elementos fueron analizados en 4 diferentes fases geoquímicas.

Con el fin de averiguar la eficiencia de extracción, las muestras fueron igualmente sometidas a otra ruta

Fig. 17

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ANALISIS

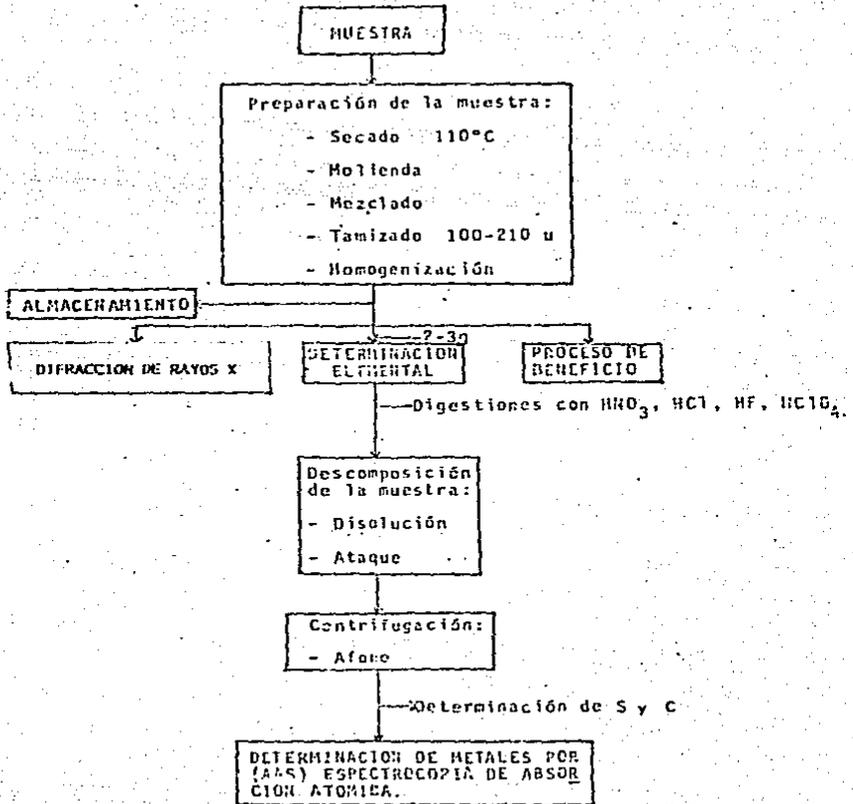
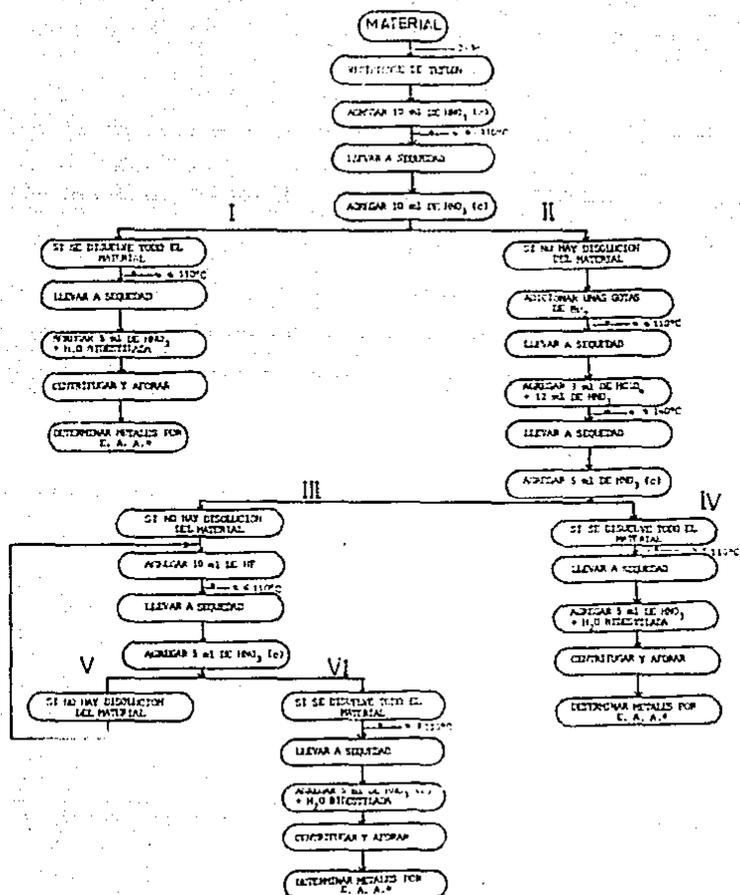


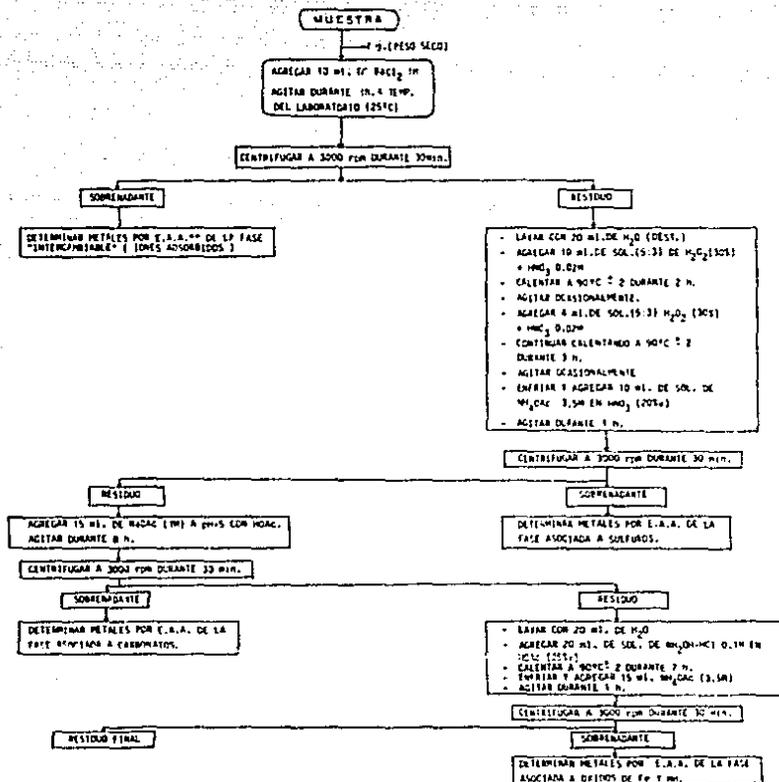
Fig. 13 MARCHA ANALITICA DE DIGESTION PARA DETERMINAR COMPOSICION ELEMENTAL.



* E. A. A. (ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA).
1cf) CONCENTRADO.

14. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA EXTRACCION SELECTIVA DE
METALES PESADOS (FASES GEOQUIMICAS)

RUTA I*



* DIAGRAMA MODIFICADO DE MEGGELATE et al., 1983.
= E.A.A. = ESPECTROSCOPÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

analítica de especiación propuesta por Tessier et al. (1979), en la que básicamente se altera el orden de extracción en las fases, la Figura 15 presenta la marcha analítica seguida en este punto.

Una vez realizados los diferentes análisis de especiación, estos se compararon para observar las diferencias obtenidas.

4.3 ANALISIS MINERALOGICO

Toda la identificación mineral fue realizada por técnica de difracción de Rayos-X utilizando radiación de Cu (K_{α} -Cu).

El material pulverizado y homogenizado en mortero de ágata se montó en portaobjetos esmerilados según técnicas de preparación convencionales (Bujor and Maquet, 1970) para la caracterización mineralógica a través de la interpretación de difractogramas. Las muestras preparadas y montadas fueron corridas de 5° a 70° 2θ .

Una vez obtenido el difractograma, este fue medido y calculado el d_{hkl} de tablas. Así, los picos más intensos fueron identificados de acuerdo a los patrones de difracción correspondiente según fichas de los catálogos para la determinación de compuestos inorgánicos. La abundancia relativa de los minerales fue estimada cuantitativamente a partir de los difractogramas y en función de la intensidad de los picos obtenidos.

4.4 PRUEBAS METALURGICAS

El desarrollo experimental de las pruebas metalúrgicas se diseñó en base a dos consideraciones: 1) la composición elemental y mineralógica de las muestras; y 2) la cantidad de material disponible en el laboratorio.

Se conformaron 3 compositos minerales de acuerdo a la procedencia de las muestras, constituyéndose como sigue:

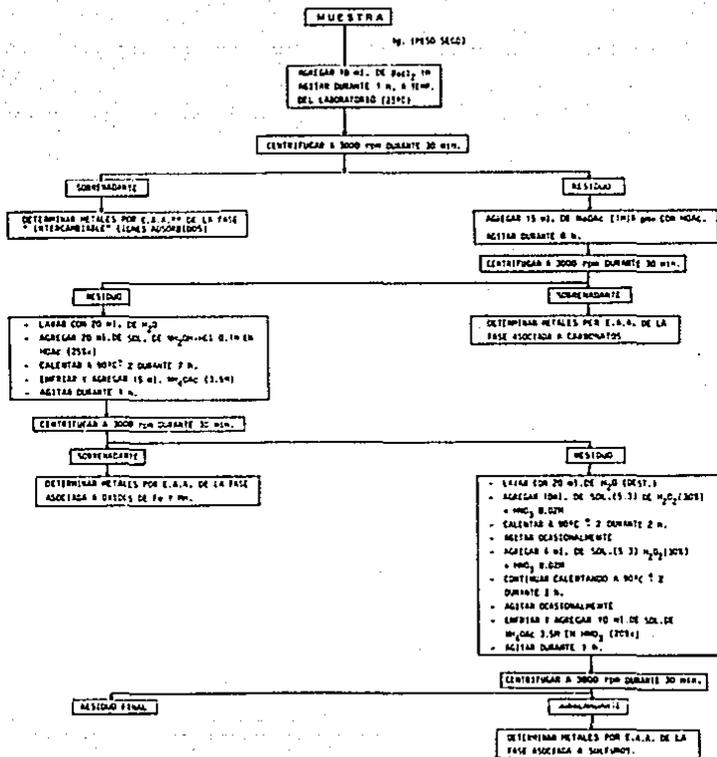
- | | |
|-------------------------------|---|
| Composito 1 <C ₁ > | Región de las chimeneas hidrotermales en 21°N del EPR |
| Composito 2 <C ₂ > | Chimeneas inactivas de 21°N EPR |
| Composito 3 <C ₃ > | Región de la Cuenca de Guaymas |

Una vez conformados los compositos, estos fueron sometidos individualmente a las operaciones de trituración y molienda hasta un tamaño de el 80% a -60+100 mallas.

La trituración se realizó en una quebradora de quijada escala laboratorio (4in x 6in) (Mosqueda, 1987).

15. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA EXTRACCION SELECTIVA DE METALES PESADOS (FASES GEOQUIMICAS)

ruta II*



* DIAGRAMA MODIFICADO DE BESSIER et al., 1979.

** E.A.A. = ESPECTROSCOPÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

La molienda se llevó a cabo en seco en un molino de guijarros de 1 Kg (8in x 8in) escala laboratorio, realizándose análisis de cribas en la descarga y en la alimentación para controlar el tamaño de partícula en el ciclo de flotación. Un diagrama general del proceso se presenta en la Fig. 16.

Los composites fueron homogenizados en un cuarteador Jhonson y así submuestreados para ensayar químicamente la ley de cabezas de cada composite. Este análisis se ejecutó por la técnica de digestión ácida en bombas de presión utilizando ácido (Loring y Rantala, 1977)

4.4.1 DISEÑO DE UNA CELDA DE FLOTACION A NIVEL LABORATORIO

Un factor determinante en el diseño de las pruebas de flotación de este estudio fue la cantidad de material con que se contaba. Esto dió lugar a diseñar una celda de flotación prototipo, minimizando las escalas de laboratorio y que permitiera reproducir el experimento el mayor número de veces posibles pero, sobre todo sin perder las condiciones reales que arrojaran al final resultados confiables.

La celda se diseñó de acuerdo a los modelos a escala laboratorio que fabrica Denver, Co reduciendo el tamaño a una celda de 0.5 Kg de capacidad que permitiera utilizar cantidades pequeñas de material y conservando las condiciones reales. Para su fabricación se utilizó material acrílico transparente color humo que permitiría además la visualización durante el proceso y mejorara la apariencia estética de las celdas convencionales.

La Fig. 17 muestra un esquema de la celda contruida así como sus dimensiones reales.

4.4.2 OPTIMIZACION DEL PROCESO CON EL COMPOSITO C₃

Para la optimización del proceso se utilizó el composite C₃ debido básicamente a las bajas concentraciones que registró y a la cantidad de material con la que se contaba. Esto ayudaría no solo a optimizar el proceso, sino también se sabría a priori, que si el estudio funciona para estos niveles de concentración seguramente funcionaria para aquellos mas altos.

Con todo lo anterior previsto, se dispuso a diseñar las pruebas de flotación. La Fig. 18 presenta un diagrama de flujo de las pruebas de flotación realizadas en este estudio.

Dado que se desconocían las condiciones de operación del circuito de flotación, se diseñaron las pruebas en

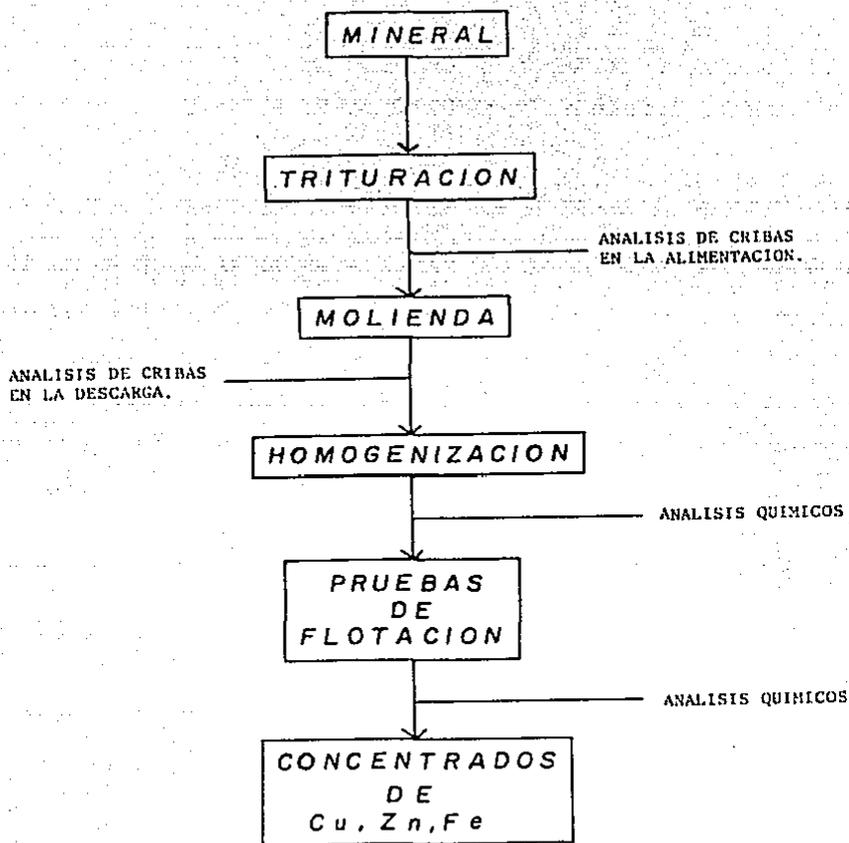


Figura 16 . DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO EXTRACTIVO DE LOS MINERALES DE LA CUENCA DEL CUAYMAS Y DE 21°N DEL E.P.R.

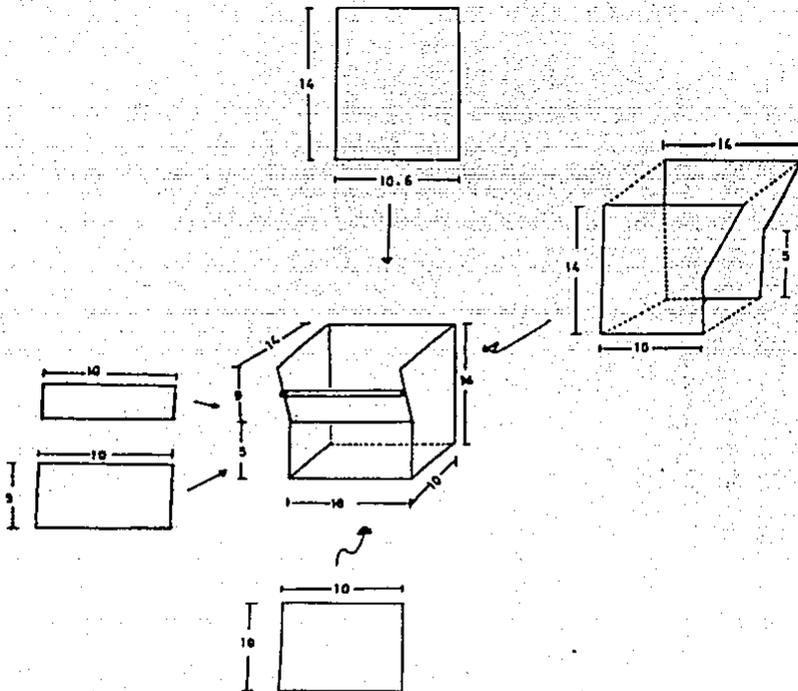


Figura 17. ESQUEMA DEL DISEÑO DE LA CELDA DE FLOTACION DE 0.5 Kg DE CAPACIDAD UTILIZADA EN ESTE ESTUDIO. (TODAS LAS UNIDADES EN cm).

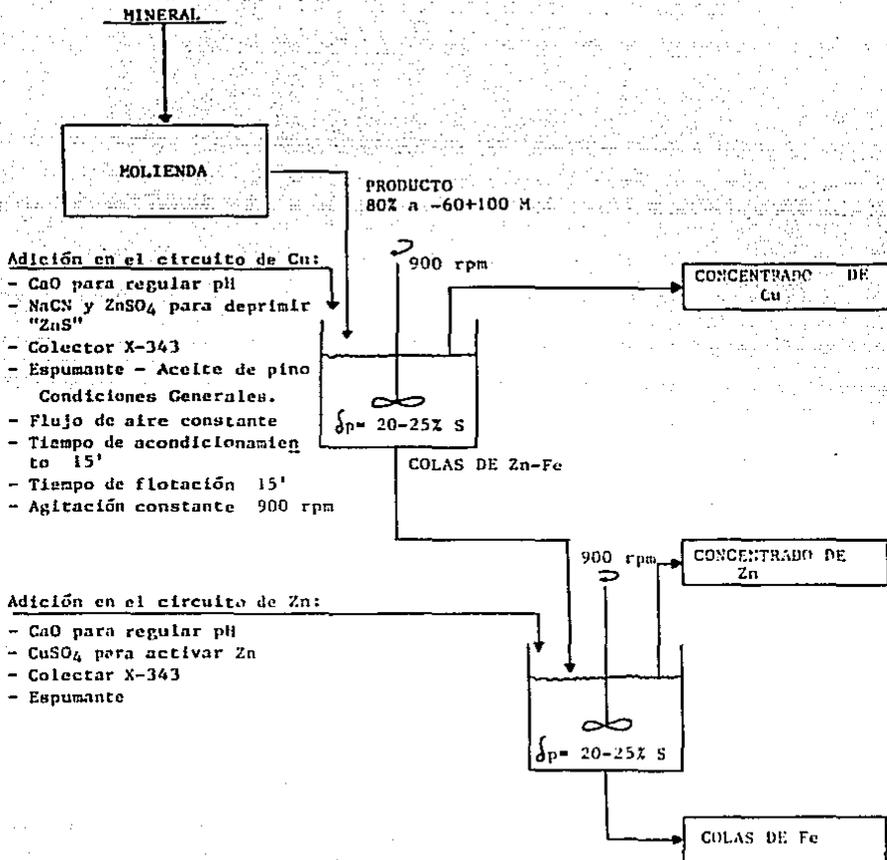


Figura 18. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FLOTACION SELECTIVA PARA POLISULFUROS HIDROTERMALES.

función de los parámetros mas determinantes, a fin de averiguar las condiciones óptimas de trabajo o de mayor "recuperación" del metal en cuestión; los parámetros seleccionados fueron: pH, adición de depresor, adición de activador y adición de colector tanto en el circuito de Cu como en el de Zn. Lo anterior dió como resultado un total de 27 pruebas. La Tabla 3 presenta la dosificación de los reactivos por número de prueba y las condiciones generales de operación (rpm de agitación, cantidad de aire, tiempo de acondicionamiento, tiempo de flotación, cantidad de espumante, etc.)

Así los concentrados de Cu, Zn y Fe fueron ensayados por la misma técnica de disolución y ataque (Loring y Rantala, 1977) para la determinación de metales por E.A.A..

Una vez analizados las leyes de cabezas, concentrados y colas se realizaron los respectivos "balances metalúrgicos" para obtener resultados sobre el grado de recuperación (%) vs adición de reactivo, que conllevaría a la investigación de las condiciones óptimas.

4.4.3 PRUEBAS DE LOS COMPOSITOS C_1 Y C_2

De todo lo anterior se desprendieron las condiciones óptimas del proceso para así someter a las mismas los compositos restantes. De igual manera se realizaron tanto las pruebas de flotación como los balances metalúrgicos para conocer el grado de recuperación y finalmente evaluar tanto el potencial económico de los minerales como la factibilidad de explotación desde el punto de vista metalúrgico.

Tabla 3. Condiciones Generales de las Pruebas Realizadas.

Prueba No.	Dosificación de Reactivo (g/ton)					pH
	ZnSO ₄	NaCN	X-343 Cu	X-343 Zn	CUSO ₄	
1	200	200	70	70	600	8.5
2	200	200	70	70	600	11.5
3	20	200	70	70	600	8.5
4	400	200	70	70	600	8.5
5	200	20	70	70	600	8.5
6	200	400	70	70	600	8.5
*7	200	200	50	70	600	8.5
8	200	200	100	70	600	8.5
*9	200	200	70	50	600	8.5
10	200	200	70	100	600	8.5
11	200	200	70	70	400	8.5
12	200	200	70	70	800	8.5
13	20	200	70	70	600	11.5
14	400	200	70	70	600	11.5
15	200	20	70	70	600	11.5
16	200	400	70	70	600	11.5
*17	200	200	50	70	600	11.5
18	200	200	100	70	600	11.5
*19	200	200	70	50	600	11.5
20	200	200	70	100	600	11.5
21	200	200	70	70	400	11.5
22	200	200	70	70	800	11.5

Tamaño de partícula= 80% a -60 + 100

Agitación= 900 rpm.

Densidad de Pulpa= 20-25% S.

Aeración= Regulada

Tiempo de acondicionamiento= 15 min.

Tiempo de flotación= 15 min.

* Pruebas eliminadas.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSION

En este capitulo se presentan tanto los resultados obtenidos en este estudio como la interpretación de los mismos. En este, igualmente se incluyen tablas, gráficas y figuras en el estricto sentido de resultados.

5.1 DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

5.1.1 21°N DE LA DORSAL DEL PACIFICO MEXICANO

Las descripciones preliminares de las muestras de llegada del area de 21°N se presentan en la Tabla 2, en ella se detalla la sección muestreada y observaciones generales de colecta. En esta también se observa que las muestras se dividieron en dos clases dependiendo de su zona de colecta; las muestras etiquetadas con A₁, A₂ y A₃ pertenecen a la zona de los volcanes o "Montañas de Larson" (Lonsdale et al., 1982). Esto sugirió la primera consideración para su tratamiento por separado. Tanto su apariencia como posteriormente su química, fueron rasgos distintivos del resto de las muestras. Nada sorprendente, tratándose de zonas de colecta diferentes, cuyas condiciones medioambientales de depósito son particulares y evidentemente distintas entre si.

Las muestras restantes etiquetadas con A₄ a la A₁₈ se agruparon en la zona de las chimeneas hidrotermales en el eje de expansión de 21°N. Todas estas, a excepción de las muestras A₉, A₁₂ y A₁₇, aunque diferentes morfológicamente guardaron un patrón distintivo de la zona, olor, color, constitución, etc.. No así, para la muestra A₉ que se trataba de vidrio basáltico con características bien diferentes al resto de este lote. Esto no quiere decir que se tratase de alguna anomalía, pues debemos recordar que el basamento de las chimeneas esta constituido de almohadillas o pillow-lavas.

Para el caso de la muestra A₁₂, esta fue un ejemplar un tanto extraño en apariencia y constitución, que por la escasa cantidad colectada resultó difícil de situar. Las observaciones preliminares sugirieron se trataba de un terrón carbonatado.

Finalmente sobre la muestra A₁₇ no existió duda que se trataba de una porción de chimenea muerta (inactiva), no obstante desconocer localidad exacta de colecta. Su color blancusco y apariencia general son típicas de este tipo de chimeneas.

5.1.2 CUENCA DE GUAYMAS

El material muestreado en la Cuenca de Guaymas consistió principalmente de sedimentos consolidados y rocas, es así que la Tabla 4 presenta algunas de sus características más importantes.

Todas las muestras presentaron diferencias entre sí, sin embargo ellas desprendían un fuerte olor a sulfuros.

Una muestra interesante fue la G-6 en la que se evidenció la presencia de un material aceitoso, que podría tratarse de residuos de hidrocarburos, tal como lo describen los estudios de Simoneit (1985_a), además también se detectó un fuerte olor a petróleo.

5.2 COMPOSICION ELEMENTAL

5.2.1 21°N DE LA DORSAL DEL PACIFICO MEXICANO

Se determinó la concentración total de 18 elementos, la Tabla 5 presenta los valores obtenidos para las 18 muestras analizadas.

Como se puede observar de esta tabla, las muestras A₁, A₂ y A₃ presentaron los valores más altos de Fe y Mn, razón importante para considerarlos como posibles óxidos de estos metales. Lonsdale et al. (1982) reportan la existencia de tales compuestos en el "Volcán Rojo", que debe su nombre precisamente a ellos.

Por otro lado, la muestra A₉ presentó los valores más altos de Al que por su apariencia basáltica sugiere se trate de posibles silicoaluminatos.

Por lo que toca a la muestra A₁₂, esta registró un valor marcadamente más elevado de Ca que el resto, motivo para considerarlo como un posible compuesto carbonatado.

Para el resto de las muestras, los niveles más relevantes los mostraron los metales Zn, Cu, Fe y Mn que variaron dependiendo de la región de chimenea muestreada. Así, para las muestras A₁₁ y A₁₅ los niveles mostrados fueron los más altos en Cu y se detectó cierta tendencia general inversa con respecto al Zn, es decir, que a valores altos de Cu bajos de Zn y viceversa.

Para la determinación de Ag se decidió efectuar el análisis por dos vías; por curva de calibración y por adición de estándares, debido a que los valores esperados serían muy bajos, encontrándose que a valores altos, por la técnica de adición, se mejoró la determinación.

Tabla 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MUESTRAS COLECTADAS POR EL (DSRV) ALVIN EN LA REGIÓN DE LA CUENCA DEL GUAYMAS.

Muestra	N° de Inmersión	Zona de Pro- cedencia	Sección Mues- treada	Descripción General
G-1	1170-1	Depresión Sur Cuenca de Guaymas	Superficial	Roca ó sedimento muy bien con- solidado, color negrusco y que dado el tiempo de almacenamien- to, presenta franca oxidación
G-2	1172-2 _{A5}	Depresión Sur Cuenca de Guaymas	Superficial	Roca o sedimento muy bien con- solidado, color verde oscuro con brillo metálico, posibles metales (inclusiones).
G-3	1173-18	Depresión Sur Cuenca de Guaymas	Superficial	Roca en forma de loza, color grisáceo, bien consolidada, más raras que el resto, poco brillo.
G-4	1174-5	Depresión Sur Cuenca de Guaymas	Superficial	Roca bien consolidada, color café-grisáceo, presenta poca oxidación, opaca.
G-5	1174-8 _E	Depresión Sur Cuenca de Guaymas	Superficial	Roca poco consolidada, deslea- nable, color gris-negrusco, ma- te, poca oxidación humedecida
G-6	1177-2	Depresión Sur Cuenca de Guaymas	Superficial	Roca poco consolidada, color verde pardo, acetoso, negre- cida interiormente, olor a pe- tróleo, sin brillo metálico

TABLA 5. CONCENTRACION ELEMENTAL DE LOS MATERIALES COLECTADOS POR EL SUMERGIBLE (DSRV) ALVIN, EN LA REGION DORSAL 21°N DEL PACIFICO MEXICANO.

Muestra	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (*Concentraciones en %)															
	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Cd	Zn	Sn	Ag	Ag**	Fe	Mn	Al	V	Ca	Mg
A ₁	22.5	7.4	7.7	4.7	18.9	2.2	62.3	730.8	2.1	2.6	41.7*	38.9	0.2*	130.5	1.3*	0.8*
A ₂	133.3	<1.0	75.8	77.2	12.0	2.8	102.2	464.5	1.7	3.5	40.5*	42.2*	219.9	242.7	3.4*	0.9*
A ₃	34.0	4.8	10.7	11.5	16.0	2.3	34.8	391.5	1.9	4.7	46.2*	0.4*	523.3	165.1	1.7*	0.6*
A ₄	36.4	1.0	0.4*	16.6	68.2	71.4	6.0*	430.0	5.6	12.4	33.5*	0.2*	365.7	11.0	0.7*	<0.1
A ₅	40.2	<1.0	0.7*	<1.7	151.3	404.1	18.7*	313.7	30.8	44.4	34.1*	3.5*	0.1*	<0.02	0.5*	<0.1
A ₆	121.2	1.0	0.4*	<1.7	167.1	18.7	0.9*	688.8	3.8	8.2	20.7*	0.2*	343.6	<0.02	1.0*	<0.1
A ₇	919.3	<1.0	0.6*	<1.7	0.1*	436.6	29.1*	85.7	33.9	52.9	21.4*	5.6*	530.1	2.0	0.5*	257.6
A ₈	40.4	7.0	1.0*	<1.6	357.4	376.0	16.0*	236.0	20.7	20.5	34.1*	10.0*	0.2*	10.4	0.9*	0.2*
A ₉	63.7	302.0	100.7	<1.7	20.1	2.3	104.5	556.2	0.7	2.3	5.7*	0.3*	3.5*	159.3	9.9*	4.6*
A ₁₀	115.6	<1.0	1.9*	<1.7	460.8	443.0	18.7*	236.6	46.6	61.1	15.3*	0.2*	116.6	0.5	12.0*	0.1*
A ₁₁	138.5	4.4	31.6*	<1.9	24.0	26.5	0.7*	316.9	7.8	13.8	22.2*	123.6	186.5	<0.02	13.4*	1.2*
A ₁₂	6.7	0.6	257.1	<1.6	16.8	1.7	269.5	832.6	1.2	1.8	0.4*	68.3	57.1	2.2	66.2*	10.0*
A ₁₃	69.1	<1.0	0.8*	<1.6	101.3	155.6	5.8*	190.0	12.1	14.5	5.7*	5.5*	115.6	1.5	15.9*	0.2*
A ₁₄	113.2	0.2	0.5*	<1.7	338.1	269.8	15.8*	241.8	16.9	17.3	20.7*	0.1*	80.1	<0.02	13.0*	0.1*
A ₁₅	143.9	<1.0	27.0*	<1.7	28.0	21.4	0.7*	284.0	11.0	15.1	22.9*	89.4	162.3	0.9	4.6*	1.2*
A ₁₆	200.8	3.6	6.5*	<1.6	463.7	237.0	12.9*	44.1	5.2	5.3	12.3*	0.1*	207.4	4.0	14.4*	1.7*
A ₁₇	110.5	<1.0	1.8*	<1.6	85.6	92.6	7.3*	258.8	7.9	12.0	2.9*	110.1	323.8	<0.02	25.3*	5.5*
A ₁₈	95.0	<1.0	2.8*	<1.7	193.4	208.2	8.8*	8.2	17.2	18.6	9.4*	0.1*	383.5	<0.02	14.4*	0.5*

** Por adición de estándares.

Para el caso de Ba, este se determino, encontrandose niveles nada sorprendentes, no obstante que la presencia de Ba en forma de barita ha sido reportada como mineral accesorio en los depósitos hidrotermales (Burns, 1979).

Los niveles de S fueron naturalmente altos ya que se trata fundamentalmente de matrices de sulfuros. Para el caso de C los niveles encontrados fueron bajos respecto a los reportados por Simoneit (1985_a) < a 3% y se infiere que este C es producto principalmente de la actividad orgánica en la zona de chimeneas hidrotermales.

Los valores del coeficiente de variación de las determinaciones a diferentes niveles de concentración se presentan a continuación: para el Pb a un nivel de concentración de 12 $\mu\text{g/g}$ se obtuvo un coeficiente de 21%, para 18.2 g/g el coeficiente fue 1.5%, para el nivel de 0.1% fue 0.6%; Cd para niveles de 21.4 $\mu\text{g/g}$ el coeficiente fue 1.2%; Zn para niveles de 102.2 $\mu\text{g/g}$ se tiene un coeficiente de 0.5%; Sn a niveles de 730.8 $\mu\text{g/g}$ el coeficiente fue 29%; Ag para niveles de 3.8 $\mu\text{g/g}$ corresponde un coeficiente de 3.6% y para 30.8 $\mu\text{g/g}$ se tiene un coeficiente de 0.6%; Fe para niveles de 5.0 $\mu\text{g/g}$ corresponde 2.1% y para 100 $\mu\text{g/g}$ se obtuvo 3.4%; Mn para niveles de 2.0% se obtuvo un coeficiente de 3.9% y para niveles de 123.6 g/g se tiene 1.9%; Al para niveles de 57.1 $\mu\text{g/g}$ corresponde un valor de 1.7% y para 162.3 g/g corresponde 1.9%; V para los niveles de 5 $\mu\text{g/g}$ se tiene 0.9% y para 0.3 $\mu\text{g/g}$ corresponde 2.5%; Ca para el nivel de 0.5% se tiene 4.1% de coeficiente; Mg para el nivel 257.6 $\mu\text{g/g}$ se tiene 1.2%.

Por ultimo se presenta una comparación con otros análisis realizados por otros autores con el objeto de confrontar los datos obtenidos en este estudio (Tabla 7).

5.2.2 CUENCA DE GUAYMAS

Se midió la concentración total de 18 elementos en las 6 muestras provenientes de esta zona. No obstante, que las muestras provienen de una area afin, estas presentaron diferencias entre sí. La Tabla 8 resume los resultados obtenidos en este punto.

A diferencia de las muestras de 21^oN, estas no registraron valores extraordinarios de Zn y Cu.

Las mayores diferencias las presentaron entre la muestra G₁ y G₆, esta última resultó pobre en casi todos los elementos analizados, sin embargo, se incluyó y se le dió mas importancia, ya que se pensó, que si funcionaba el proceso de industrialización a estos niveles de concentración resultaría seguramente ventajoso para aquellos minerales de niveles más altos.

TABLA 7. CONCENTRACION ELEMENTAL EN MATERIAL HIDROTHERMAL COLECTADO EN SEPTIEMBRE 1985,
 EN LA REGION DORSAL 21°N, POR EL DR R/V ALVIN. ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).
 (ANALIZADAS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA, DESPUES DE DIGESTION CON
 HNO_3 , HClO_4 , HF).

	I (n=7)	II (n=6)	III (n=1)	IV (n=3)	V (n=1)	VI (n=4)	VII (I/II)	VIII (IV)	IX
Cu	0.5-31.6%	0.4-1%	101	7.7-75.8	257	16.1-22.4	0.18%	118	30.7-31.2%
Zn	0.7-18.7%	0.9-29.1%	105	34.8-102	270	41.6-57.7	49.7%	420	ND
Co	111-201	36.4-919	63.7	22.5-133	6.7	15.6-40.8	10	190	ND
Pb	24-464	68.2-357(.1%)	20.1	12-18.9	16.8	2-64.8	ND	ND	ND
Cd	2.14-443	18.7-437	2.3	2.2-2.8	1.7	2.8-7.8	ND	ND	ND
Sn	44.1-317	85.7-689	556	392-731	833	ND	ND	ND	ND
Ag	5.3-61.1	8.2-52.9	2.1	2.6-4.7	1.8	0.5-5.7	ND	ND	ND
V	0.1-4	0.1-10.4	159	131-243	2.2	ND	ND	ND	ND
Cr	1.0-4.4	1.0-7.0	302	1.0-7.4	1.0	17.6-154	ND	5	0.1%
Ni	1.7	1.7-16.6	1.7	4.7-77.2	1.7	26.3-120	ND	690	ND
Mn	89.4	-5.5%	0.2-10%	0.3%	39	-42%	68.3	231-527	ND
Fe	5.7-22.9%	20.7-34.1%	5.7%	40.5-46.2%	0.4%	1.9-3.1%	8.9%	28.2%	31.8-33.4%
Al	80.1-324	34.4	-0.2%	3.5%	220	-0.2%	57.1	ND	ND
Ca	4.6-25.3%	0.5-1.0%	9.9%	1.3-3.4%	66.1%	ND	ND	1.7%	ND
Mg	0.1-5.5%	0.1-258(.2%)	4.6%	0.6-0.9%	10.0%	ND	ND	0.7%	ND

I. TIPO SULFURO CRISTALINO; II. TIPO SULFURO OSCURO; III. BASALTO VITREO; IV. TIPO OXIDO-AR-
 CILLA; V. MATERIAL BLANCO (POSIBLEMENTE TALCO); VI. BASALTO VITREO DE LA CUENCA MAZATLAN (PA-
 EZ-OSUNA Y OSUNA-LOPEZ (en prensa)); VII. TIPO SULFURO DE LA DORSAL DEL PACIFICO ESTE 21°N (BONATTI Y
 JOENSUU, 1966); VIII. TIPO OXIDO DE EPR 11°S (HEKINIEN et al., 1980); IX. CALCOPIRITA DE LA -
 CORDILLERA MESO-ATLANTICA (ANALIZADA POR ELECTRONMICROPROBE) (BONATTI et al., 1976).

Tabla 8. CONCENTRACION ELEMENTAL DE LOS MATERIALES COLECTADOS POR EL SUMERGIBLE DS/RV ALVIN EN LA DEPRESION SUR DE LA CUENCA DE GUAYMAS.

Muestra	CONCENTRACIONES EN %																	
	Zn	Cd	Cu	Pb	Fe	Mn	Ni	Al	Ti	Ag	Ca	Na	Mg	Cr	C	S	Ba	Si
G-1	2.3	350*	0.7	2.1	22.5	0.6	<1.7*	0.3	<2.0*	122*	0.1	0.85	2.8	<1.0*	0.6	54.0	0.8*	2*
G-2	1.4	317.3*	3.6	1.4	14.4	4.1	<1.7*	0.7	<2.0*	78*	6.7	0.5	0.5	<1.0*	0.5	11.4	1.7*	4*
G-3	0.6	49.3*	2.4	0.7	5.4	0.7	<1.7*	296*	<2.0*	21*	28.6	0.1	0.9	49*	0.6	6.0	9.3*	2*
G-4	0.6	44.3*	1.8	1.2	3.9	0.35	<1.7*	669*	<2.0*	6*	29.6	0.4	0.7	49*	0.6	4.0	4.7*	3*
G-5	1.1	16.4*	3.0	0.6	4.7	0.34	<1.7*	0.2	<2.0*	10*	20.4	0.5	1.6	50*	0.4	6.4	5.8*	3*
G-6	0.5	14.6*	195*	0.8	0.7	40*	<1.7*	0.6	<2.0*	92*	195*	0.8	2.6	49*	0.7	6.9	16.0*	4*

* ug / g

Las muestras mas similares de acuerdo a su localización deberian ser las más próximas entere sí, es decir, por un lado G_1 y G_2 y otro conjunto estaria formado por G_3 , G_4 , G_5 , G_6 .

El carbóno se mantuvo más o menos constante en todas las muestras y el valor más alto presentado por la muestra G_5 no fue significativo a pesar de la apariencia aceitosa o la existencia de supuestos hidrocarburos. No así para el S que el valor significativamente mas alto lo registro la muestra G_1 .

5.3 DIAGRAMA TERNARIO

La relación $Fe/Mn/(Co+Cu+Ni)*10$ es frecuentemente utilizada para conocer el origen o bien la influencia de cierta fuente sobre los sedimentos oceánicos . Tanto para el caso de las muestras de $21^{\circ}N$ como de las de la Cuenca de Guaymas los valores de estas relaciones se calcularon y graficaron en el diagrama ternario de Bonatti (1981) (Figura 19), con el objeto de verificar o averiguar, según el caso, la influencia hidrotermal o hidrogénica de las muestras de este estudio.

Partiendo de que no existe duda sobre la constitución de las muestras, no sólo en cuanto a su procedencia, sino sobre todo en cuanto su estricto caracter "hidrotermal", se discute lo siguiente:

De la Figura 19, apreciamos que las zonas hidrotermal e hidrogénica del modelo de Bonatti no coinciden con la tendencia general de las muestras de este estudio. En primera instancia, esto podria sugerir que el hecho de que los valores del vertice de la sumatoria $Ni+Cu+Co$ sean más altos en estas muestras que en los sedimentos de mar profundo normales, invalidaría la utilización del modelo. Los bajos valores de Mn por otra parte, indican la poca afinidad a la fase sulfuros.

Dado que el modelo ha sido creado para sedimentos de ferromanganeso (Bonatti, 1981) con contenidos de $Ni+Cu+Co$ por debajo aproximadamente del 10% normalizado, parece no funcionar para estas muestras y se concluye por lo tanto, que el modelo ternario de Bonatti resulta ser válido solo para valores maximos del 10% normalizado de $Ni+Cu+Co$.

Sin embargo en base a lo anterior, se propone por consiguiente, una nueva distribución o zonación en el diagrama para las muestras provenientes de chimeneas y mounds hidrotermales de $21^{\circ}N$ y Cuenca de Guaymas de acuerdo a su comportamiento general en la gráfica de la Figura 20.

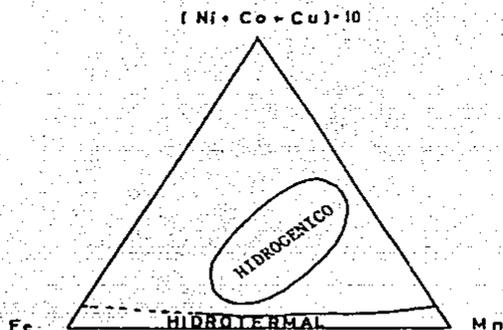


Figura 19. RELACION Fe/Mn/(Ni+Co+Cu)·10 EN DEPOSITOS OCEANICOS RICOS EN METALES. EN EL DIAGRAMA SE MUESTRAN LAS ZONAS DE INFLUENCIA HIDROGENICA E HIDROTERMAL. (BONATTI, 1981).

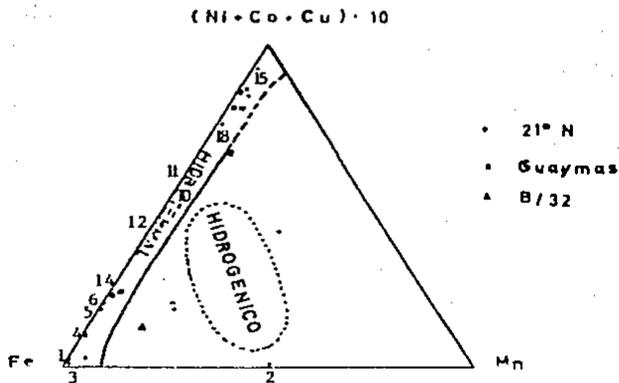


Figura 20. ZONACION PREDOMINANTE PARA LAS MUESTRAS DE ESTE ESTUDIO UTILIZANDO LA MISMA RELACION DE METALES (MODIFICADO DE BONATTI, 1981).

5.4 COMPOSICION MINERALOGICA

La caracterización mineralógica realizada por difracción de R-X arrojó las especies predominantes de las muestras, así su abundancia relativa se estimó a partir de la intensidad de los picos en el difractograma.

Para ambas zonas, las muestras sometidas a este estudio mostraron picos bien definidos a $3.12_{\text{Å}}$; $2.7_{\text{Å}}$; $1.9_{\text{Å}}$; y $1.63_{\text{Å}}$ para el caso de Esfalerita (ZnS); $1.63_{\text{Å}}$; $3.12_{\text{Å}}$; $2.7_{\text{Å}}$; $2.4_{\text{Å}}$ para Pirita (FeS); para Calcopirita (FeCuS) $3.03_{\text{Å}}$; $1.85_{\text{Å}}$; $1.59_{\text{Å}}$; $1.86_{\text{Å}}$; para Pirrotita (Fe_xS_x) $2.64_{\text{Å}}$; $2.97_{\text{Å}}$; $2.06_{\text{Å}}$.

La Figura 21 muestra un patrón de difracción típico de las especies mineralógicas encontradas.

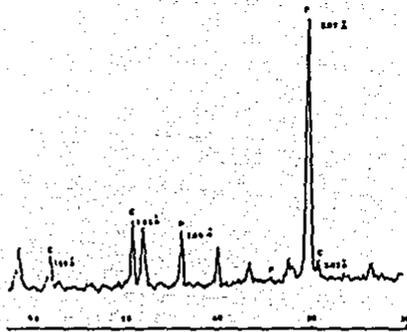
De las Tablas 9 y 10 sobre abundancia relativa se destaca que la presencia de Pirrotita con respecto a Pirita fué mayor para el caso de la Cuenca de Guaymas que para 21°N , no así para Pirita que tuvo el comportamiento inverso. De acuerdo a Scott (1985), las condiciones medioambientales particulares de cada zona dan lugar a especies características, por ej., la Pirrotita se favorece en ambientes anóxicos y a altas tasas de sedimentación, mientras que la estabilidad de la Pirita es más alta en ambientes más bajos de pH y mayor presión parcial de O_2 .

La barita permaneció en niveles bajos junto con la calcita, aragonita y anhidrita, debido a que son minerales de influencia hidrotermal, pero asociados a las etapas inactivas de los montículos y chimeneas.

Como era de esperarse, a partir de los resultados de composición elemental, las especies mineralógicas metálicas fueron menos abundantes en la Cuenca de Guaymas que en los 21°N .

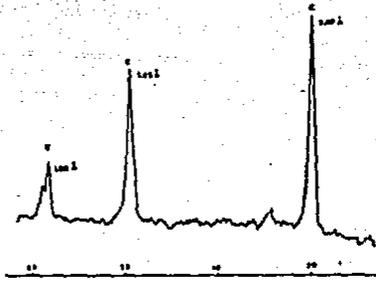
Las especies encontradas coinciden con las reportadas por otros autores (Peter and Scott, 1986), aunque en diferentes proporciones, debido seguramente a la técnica de cuantificación utilizada. A continuación se da una lista comparativa de los intervalos de abundancia relativa de este estudio con otros autores (Tabla 6).

Es así, como utilizando la información anterior y apoyada en la literatura, se construyó un esquema general sobre la distribución mineralógica y composicional de las chimeneas y mounds hidrotermales de 21°N y Cuenca de Guaymas de este estudio (Figura 22).



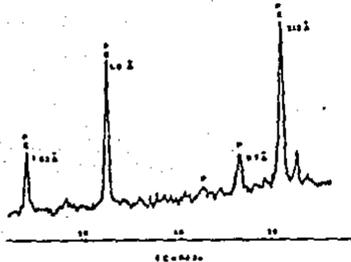
(a)

Al. K_α / Cu K_α



(b)

Al. K_α / Cu K_α



(c)

Al. K_α / Cu K_α

Figura 21. Difractograma de R-X de las muestras de depósitos hidrotermales: (a) U₄, Cuena de Guaymas; (b) A11, 21°N; (c) A7, 21°N

Tabla 9. 1 Composición mineralógica de las muestras colectadas en la región dorsal oriental (21°N).

FASE MINERALÓGICA	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 10	A 11	A 13	A 14	A 15	A 16	A 17	A 18
Esfalerita (ZnS)	XXX	XXXX	XY	XXXXX	XXXX	XXXX	-	XXX	XXX	-	XXX	XXX	X
Pirita (FeS ₂)	XXX	XXX	XXX	XXX	XXXX	XX	X	XX	XXX	XX	XX	X	XX
Marcasita (FeS ₂)	XXXX	XXX	XXX	XXX	XX	XXX	X	XX	XXX	XX	XXX	X	XX
Wurzita (ZnS)	XX	XXX	X	XXX	XX	XX	X	XX	XXX	X	XXX	XX	XXX
Pirrotita (Fe _{1-x} S)	XX	XX	X	X	XX	-	-	X	XX	X	-	-	X
Galena (PbS)	X	X	X	XX	X	X	-	X	X	-	X	X	X
Calcopirita (CuFeS ₂)	X	X	X	X	XXX	XXX	XXXX	XX	XX	XXXX	XXX	XXX	XXX
Cubanita (Cu ₅ FeS ₄)	-	-	-	-	X	X	XX	X	-	X	X	XXX	X
Stevensita (Mn ₂ As ₂ S ₄)	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bornita (Cu ₅)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	X	-
Calcocita (Cu ₂ S)	-	-	-	-	-	-	-	-	XX	-	-	X	-
Barita BaSO ₄	-	X	XX	X	X	XXX	X	X	X	X	XXX	XXX	X
Calcita CaCO ₃	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aragonita CaCO ₃	-	-	X	X	X	X	X	X	XX	X	X	X	X
Anhidrita CuSO ₄	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	XXX	X
Silica amorfa	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arcillas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxidos de hierro y manganeso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Muy abundante (XXXXX); Abundante (XXXX); Moderado (XXX); Escaso (XX); Trazas(X); Ausente (-).

Tabla 10. Composición Mineralógica en las Muestras Colectadas en la Cuenca de Guaymas.

FASE MINERAL \ MUESTRA	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Intervalo
Esfalerita	XXX	XX	X	--	XXX	X	de - a XXX
Pirita	X	X	XX	--	--	X	de - a XX
Marcasita	X	XX	XX	--	--	X	de - a XX
Wursita	X	XXX	XX	X	--	X	de - a XXX
Pirrotita	XX	XXX	XXXX	XXX	XX	XX	de XX a XXXX
Galena	XX	XX	X	--	--	X	de - a XX
Calcopirita	XX	X	XXX	XXX	XXX	X	de X a XXX
Cubanita	X	X	XXX	X	X	--	de - a XXX
Stevensita	--	--	--	--	--	--	---
Barita	XX	X	X	X	X	XXX	de X a XXX
Anhidrita	XX	X	X	X	X	XXX	de X a XXX
Calcita	XXX	X	X	X	XX	XXX	de X a XXX
Aragonita	XX	X	X	X	XX	XX	de X a XX
Silica Amorfa	X	X	X	X	X	X	X
Arcillas	X	X	X	X	X	X	X
Oxidos de Fe-Mn	X	X	X	X	X	X	X
Bornita	--	--	X	X	X	--	de - a X
Calcocita	--	--	X	--	X	--	de - a X
Natrojarosita	--	--	XX	X	X	--	de - a XX
Jarosita	--	--	--	X	X	--	de - a X

Muy abundante (XXXXX); Abundante (XXXX); Moderado (XXX); Escaso (XX); Trazas(X); Ausente (-).

TABLA N° 6.- MINERALOGIA COMPARATIVA DE LAS MUESTRAS DE 21º N Y CUENCA DE GUAYMAS.

MINERAL	FUENTE	ESTE ESTUDIO 21º N	ESTE ESTUDIO GUAYMAS	SCOTT, 1986 GUAYMAS	MATHIAS GUAYMAS 1987
Esfalerita	(ZnS)	de - a XXXX	de - a XXX	X	X
Pirita	(FeS ₂)	de X a XXXX	de - a XX	XX	XX
Marcasita	(FeS ₂)	de X a XXXX	de - a XX	de - a XXXX	de - a XXXX
Wurita	(ZnS)	de X a XXX	de - a XXX	-	-
Pirrotita	(Fe _{1-x} Si)	de - a XX	de XX a XXXX	XX	XX
Galena	(PbS)	de - a X	de - a XX	X	X
Calcolrita	(CuFeS)	de X a XXXX	de X a XXX	-	-
Cubanita	(CuFeS ₂)	de - a XXX	de - a XXX	X	X
Stevansita	(Hg-Snqtitita)	de - a X	-	de - a XXXXX	de - a XXXXX
Bornita	(Cu ₅)	de - a X	de - a X	~	~
Calcosita	(Cu ₂ Si)	de - a XX	de - a X	~	~
Barita	(BaSO ₄)	de - a XXX	de X a XXX	XXX	XXX
Calcita	(CaO ₃)	de - a X	de X a XXX	-	XXXXX
Aragonita	(CaCO ₃)	de - a XX	de X a XX	-	-
Anhidrita	(CaSO ₄)	de X a XXX	de X a XXX	de - a XX	de - a XX
Silica Amorfa	(SiO ₂)	de - a X	X	XXXXX	XXXXX
Arcillas	-	-	X	de - a XXXXX	de - a XXXXX
Oxidos de Fe y Mn	-	-	X	XX	XX
Natrojarosita	-	~	de - a XX	~	~
Jarosita	-	~	de - a X	~	~

XXXXX Muy abundante

XXXX Abundante

XXX Moderado

XX Escaso

X Trazas

- Ausente

~ No analizado

CHIMENEA MUERTA.
(WHITE SMOKER)

A₁₇

Esfalerita, Calcopirita,
Cubanita, Barita,
Anhidrita.
Cu 1.8%
Zn 7.3%
Fe 2.9%
Ca 25.3%
Mg 5.5%

CHIMENEA ACTIVA (BLACK SMOKER)

Exterior: A₁₀, A₁₃, A₁₄, A₁₆, A₁₈

Esfalerita, Pirita, Marcasita,
Wurzita, Calcopirita, Barita.

Cu 2.5%, Zn 10.3%, Fe 12.7%
Interior: A₁₁, A₁₅

Calcopirita
Cu 29.3%, Zn 0.7%, Fe 22.5%

CHIMENEA ACTIVA

A₅, A₆, A₇, A₈

Esfalerita, Pirita, Marcasita,
Wurzita.

Cu 0.7%
Zn 16.2%
Fe 27.5%
Mn 19.3%
Ca 0.7%

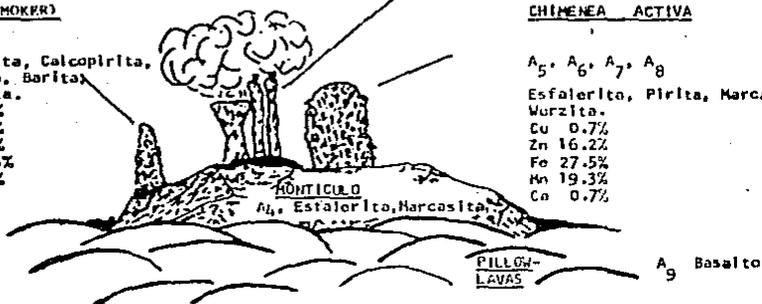


Fig. 1. Distribución mineralógica y composicional en chimeneas hidrotermales para las muestras colectadas en los 21°N de la Dorsal del Pacífico Mexicano.

5.5 FASES GEOQUIMICAS

5.5.1 NUCLEO B/32

De los estudios que sobre diferenciación geoquímica se efectuaron al núcleo B/32 y a las muestras de 21 N se llegaron a las siguientes resultados:

De la Figura 23 a la 26 se muestran los perfiles obtenidos en la extracción selectiva secuencial del núcleo B/32. Aunque no se aprecia un patrón general de comportamiento, sí se obtuvo información en cuanto al orden de extracción predilecto.

Por lo que toca a la Fase Intercambiable se observó que las secciones superficiales presentaron para el caso de Cu y Fe valores de .5 a 1.5 $\mu\text{g/g}$, no así para el Mn que en la sección superficial presentó el máximo valor. Sin embargo para los tres elementos se pueden notar máximos en las secciones intermedias, que representa un potencial interesante para ser removidos diagenéticamente.

Por lo que respecta a la Fase Oxidable, dada la secuencia de extracción, la R-I presentó una marcada diferencia de valores con respecto a la R-II, aunque los perfiles de concentración guardaron la misma tendencia.

La R-I resultó ser por lo tanto, en la que se lograron los valores mas altos de concentración, mientras que al invertir el orden de extracción en la R-II la fase asociada a Sulfuros sufre cierto grado de degradación, un comportamiento general observado para todas las fases. Todos los metales estudiados presentaron la misma influencia, a excepción del Fe, quien registro un comportamiento anómalo, debido quizás a que los valores máximos de este metal estan asociados a la fase Reducible.

La Fase Carbonatos por su parte, no mostró el mismo comportamiento que la fase anterior. En esta el Mn, Pb y Zn presentaron mejores extracciones por la R-II como sería de esperarse, pero no así para el Fe, Cu y Al quienes mostraron los valores mas altos por la R-I, en esta ocasión no hubo una aparente degradación de la fase, o bien se puede pensar que la extracción previa de la fase de Sulfuros para estos metales favorezca la extracción de Carbonatos.

Finalmente para la Fase Reducible, el Fe, Zn, Cu y Al no presentaron una aparente diferencia al invertir las extracciones y por lo contrario la extracción fué mayor por la R-I. El Pb y Mn si modificaron su perfil apreciandose mayor extracción por la R-II.

Los resultados anteriores indican que las variaciones entre una ruta y otra existen en función del orden de

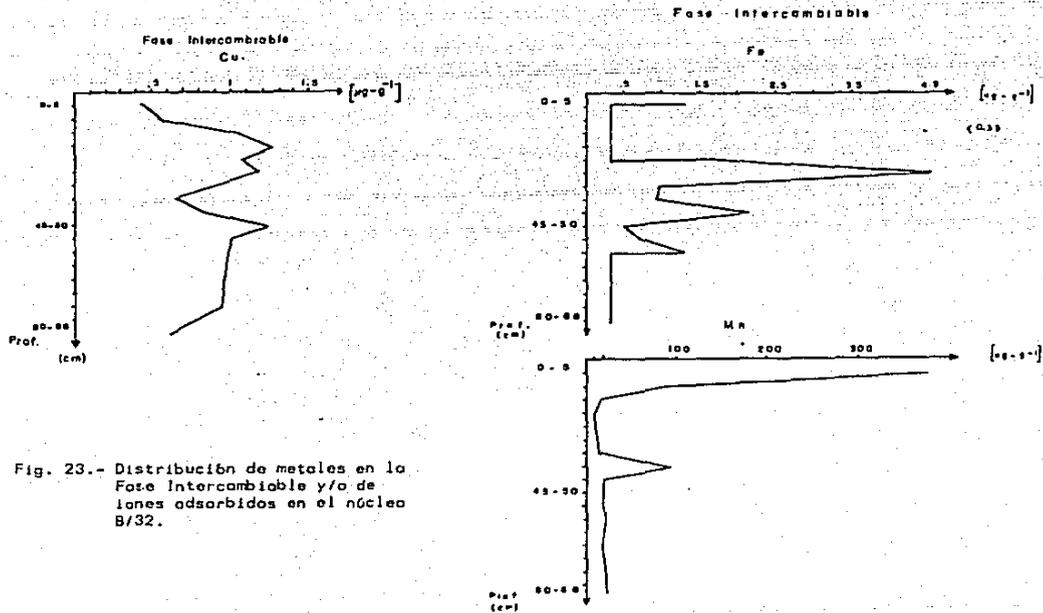


Fig. 23.- Distribución de metales en la Fase Intercambiable y/o de iones adsorbidos en el núcleo B/32.

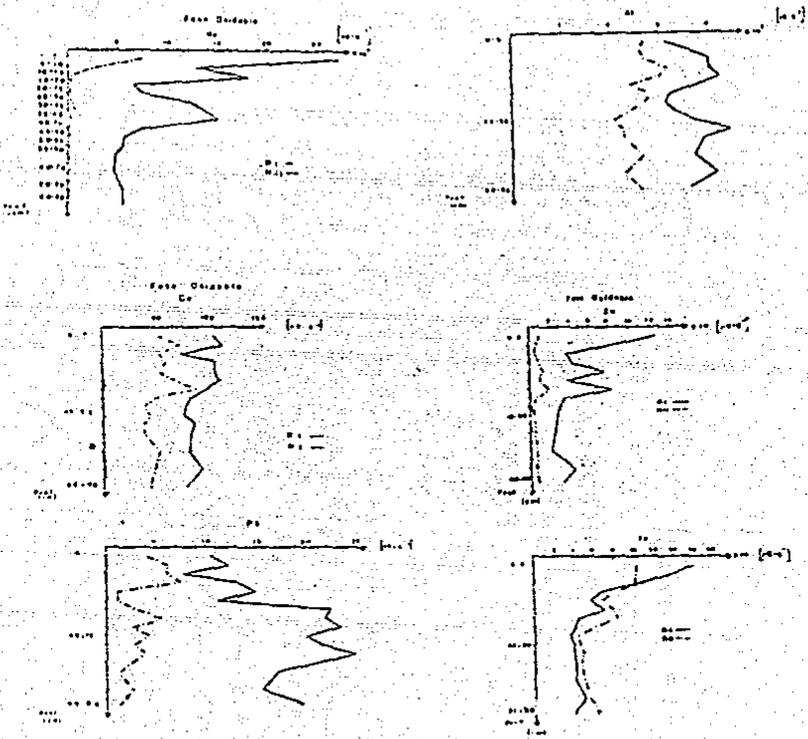


Fig. 24.- Distribución de metales en la Fase Oxidable en el núcleo B/32.

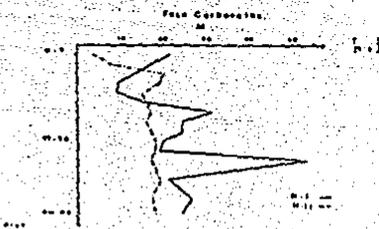
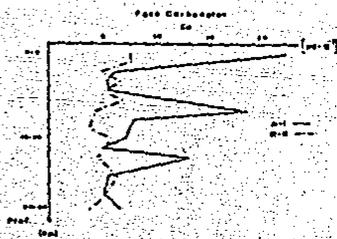
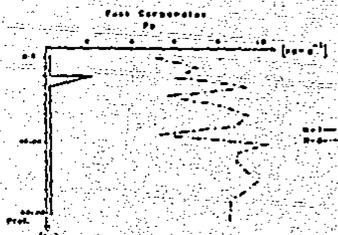
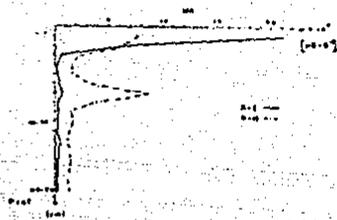
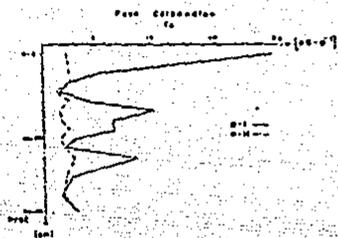


Fig. 25.-Distribuci3n de metales en la Fase Carbonosa del n3cleo B/32.

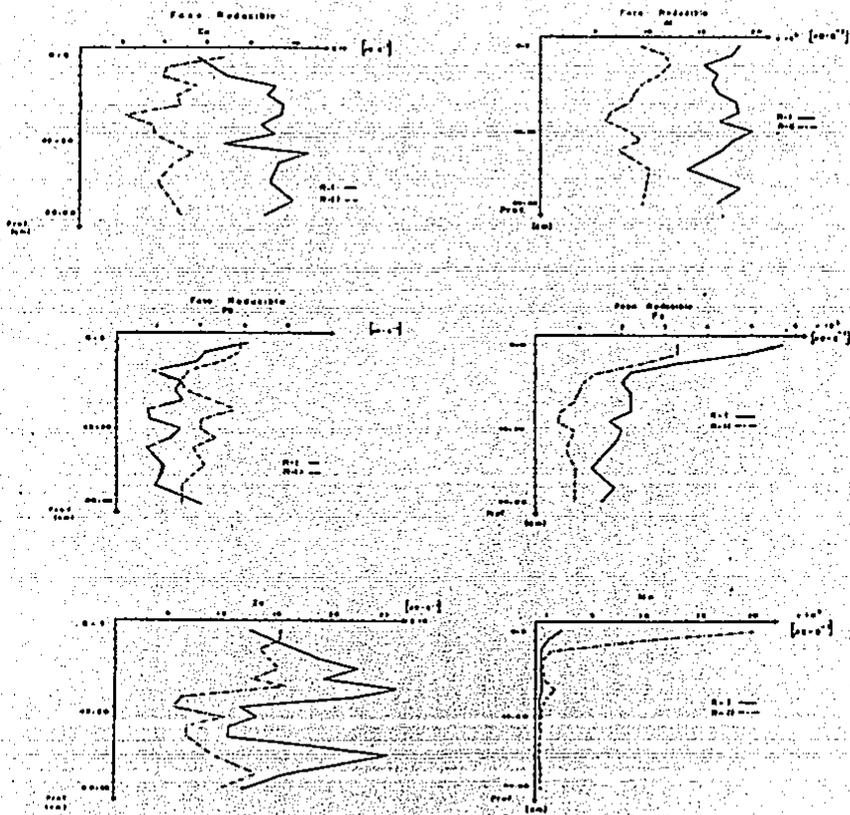


Fig. 26.- Distribución de metales en la Fase Reducible en el núcleo B732.

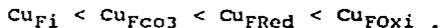
extracción, sugiriendo rutas predilectas, pero que dependen de la fase y elemento del que se trate. Sin embargo, esto no puede ser utilizado categoricamente ya que una de las primeras consideraciones que se deben tomar en cuenta son primeramente que las técnicas utilizadas en este estudio, siendo parecidas carecen, como muchas otras técnicas de extracción secuencial, de condiciones estándares que permitan realizar estudios fielmente comparativos; y segundo como ha sido señalado por Martin et al. (1987) la efectividad de una extracción depende fundamentalmente de varios factores entre otros a el pretratamiento y conservación de la muestra, reacciones secundarias provocadas por el extractante (readsorción, coprecipitación, etc.) y selectividad del reactivo.

5.5.2 21°N

Los resultados de la evaluación sobre diferenciación geoquímica en las muestras de 21°N se presentan de la Figura 27 a la 32. De estas se observa nuevamente, que para el caso de la Fase Intercambiable todas las muestras y para todos los elementos, presentan los niveles de concentración más bajos, haciendo un análisis por elemento se encontro lo siguiente:

Cu.- La información obtenida sobre la distribución de este elemento en las diferentes fases no fue del todo significativa, ya que los resultados de este análisis estan muy por debajo del valor de concentración total, es decir que los valores de $Cu_{Fi} + Cu_{FOxi} + Cu_{Fco3} + Cu_{FRed} \ll Cu_{total}$.

Sin embargo se puede apreciar de una manera general el orden creciente de concentración en las diferentes fases.



Para el caso de las muestras ensayadas por la ruta II se observaron diferencias interesantes, tal es la muestra A₁₅ que en la fase CO₃⁼ se logro una mayor extracción que por la ruta I, aquí el orden de extracción volvió a ser determinante, como en el caso de la muestra A₂ en la fase Oxi.

Pb.- Dadas las bajas concentraciones encontradas, resultó mas difícil observar diferencias entre una y otra ruta en las muestras seleccionadas, sin embargo, se puede notar que para el Pb la ruta I en la fase Oxi. fue mas efectiva. No así para la fases CO₃⁼ y Red. que tuvo el efecto contrario.

La muestra A₄ presentó los niveles mas altos, que se pudo deber a contaminación o a que la destrucción de las fases fue muy efectiva.

COPRE

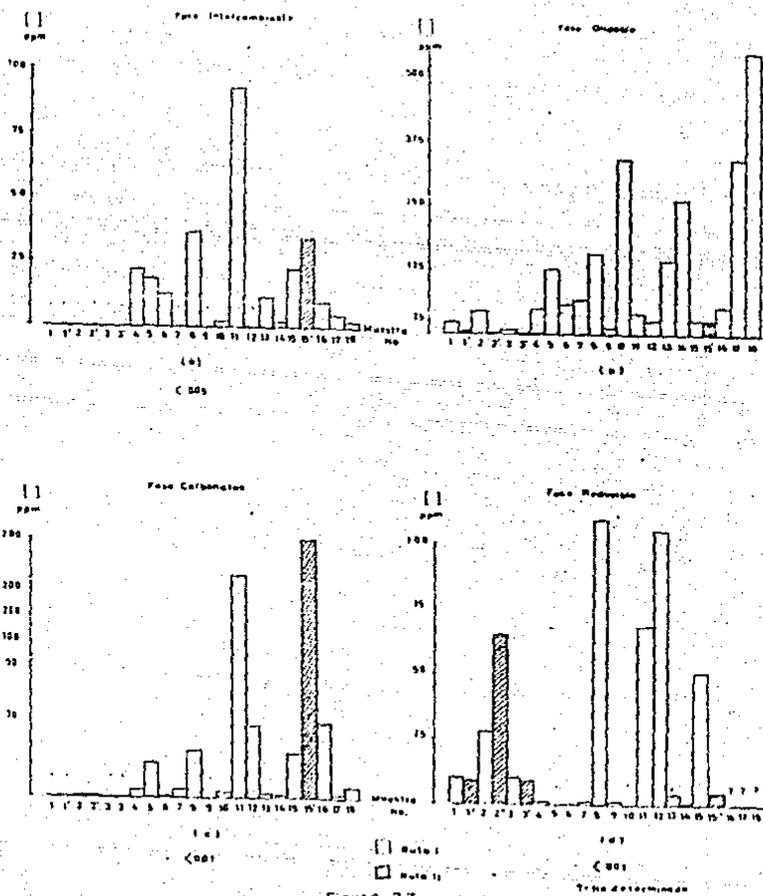


Figura 27.

Distribución de Cobre en las diferentes Fases de las muestras hidrotermales de 210 N.

PLOMO

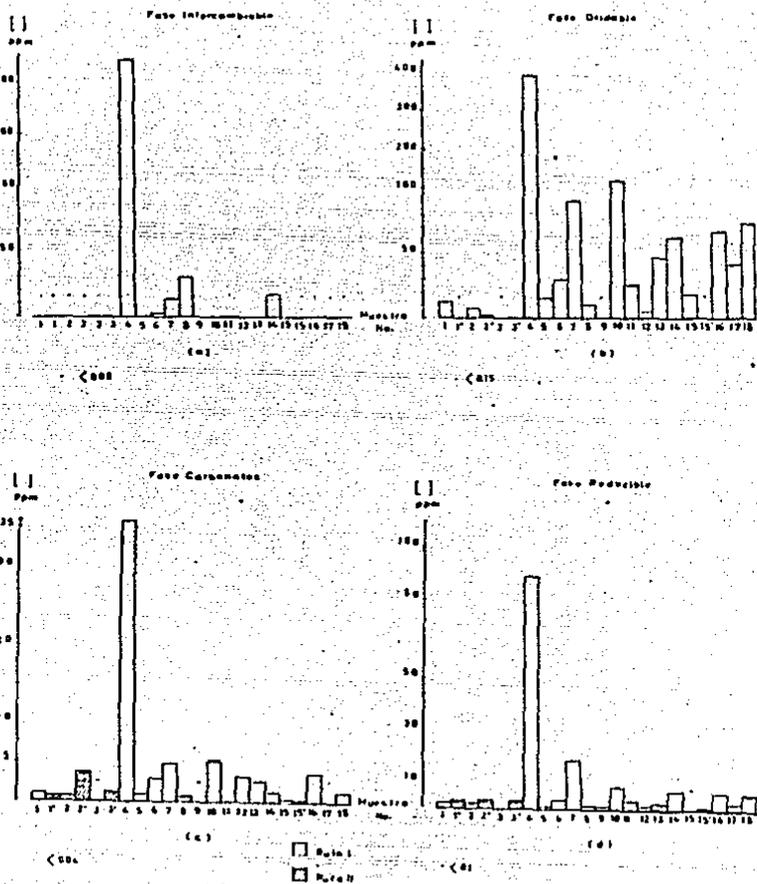
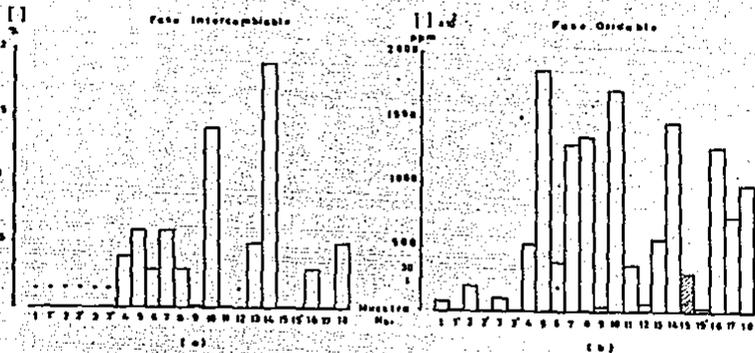


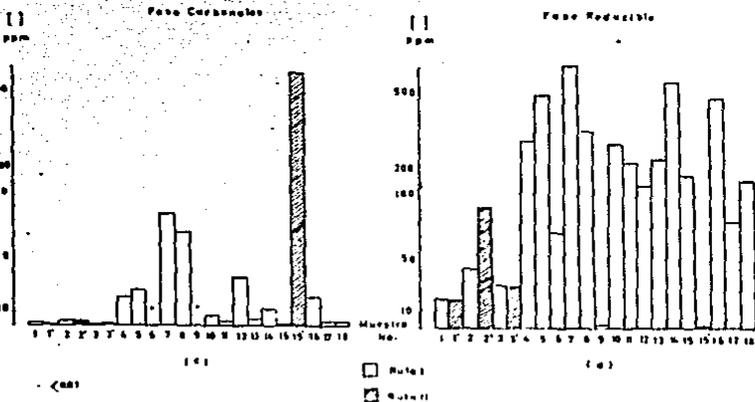
Figura 28.
Distribución de Plomo en las diferentes Fases de las muestras hidrotermales de 21^a N.

ZINC



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 29.

Distribución de Zinc en las diferentes Fases de las muestras hidrotermales de 21° N.

Hierro

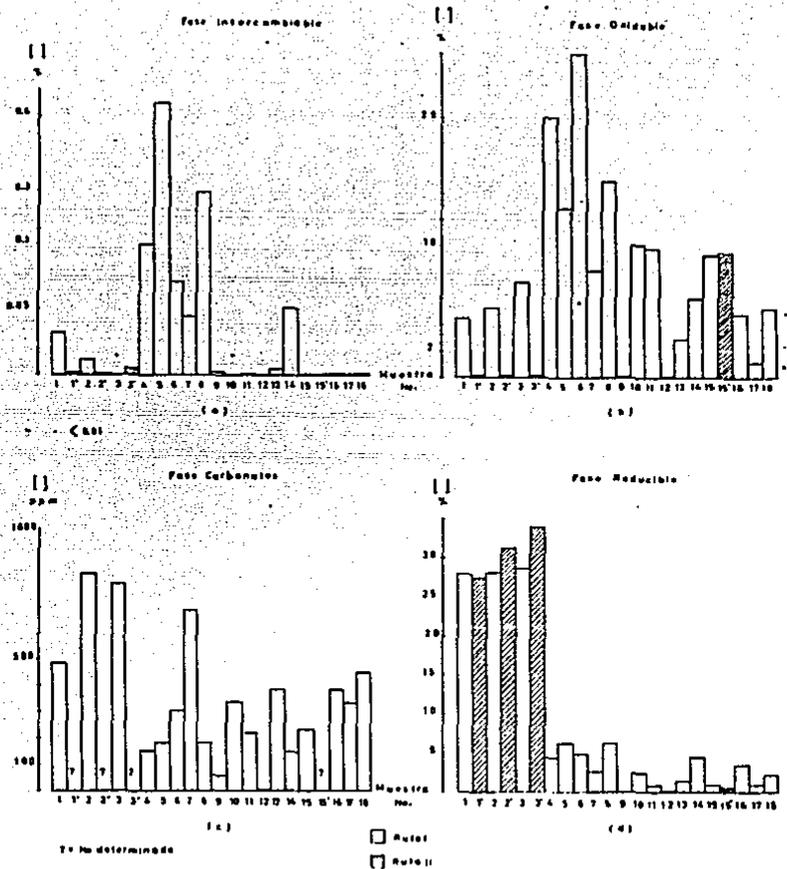


Figura 30.

Distribución de Hierro en los diferentes Fases de los muestras hidrotermales de 21° N.

MANGANESO

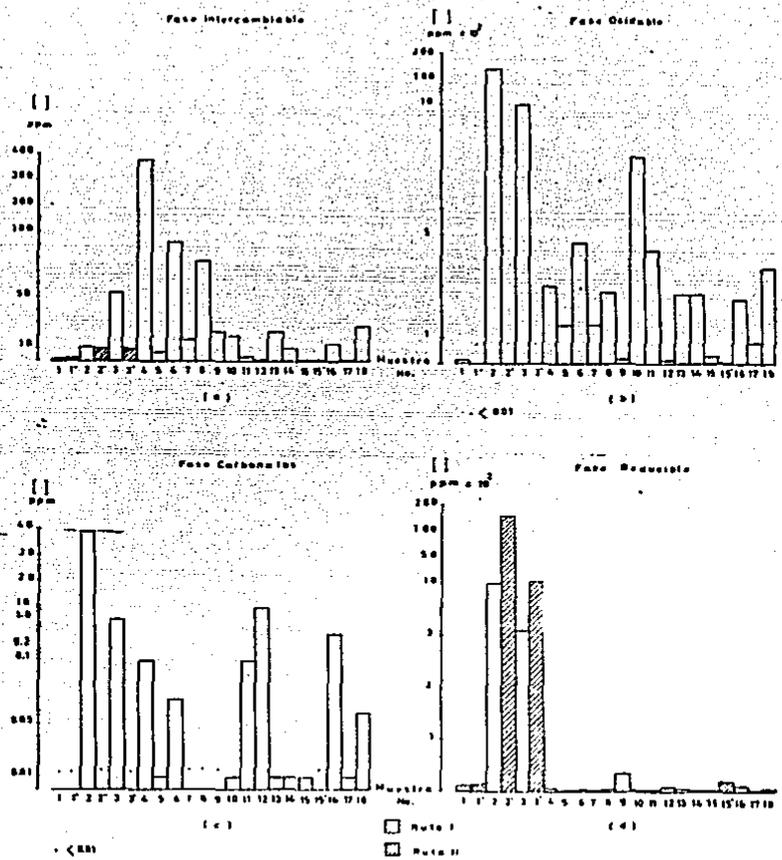


Figura 31.

Distribución de Manganese en las diferentes Fases de las muestras hidrotermales de 210 N.

ALUMINIO

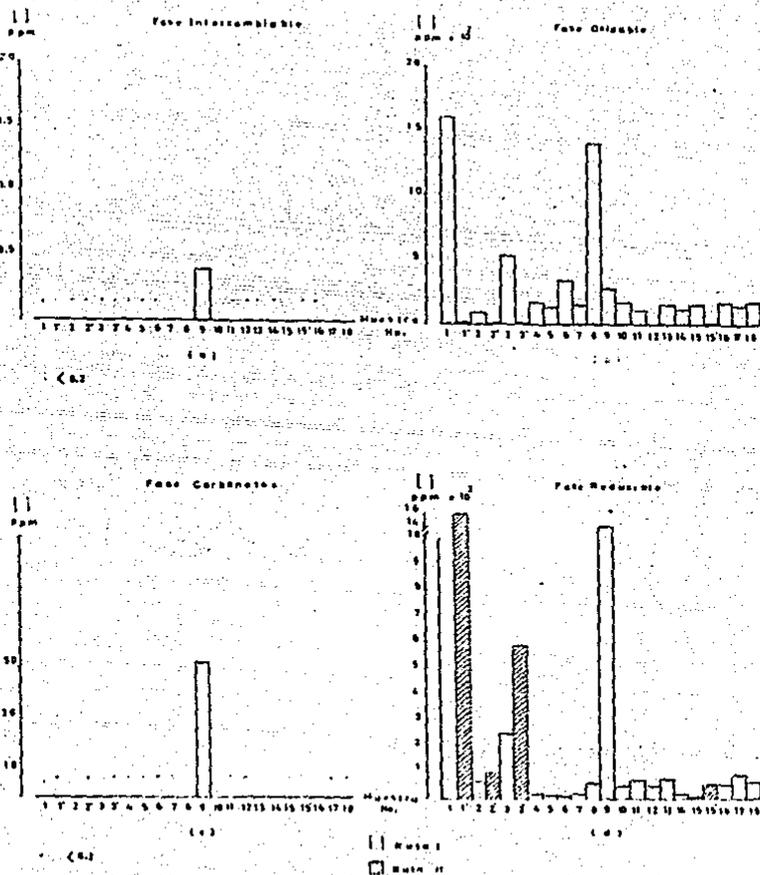
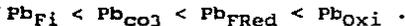


Figura 32:

Distribución de Aluminio de las diferentes Fases de las muestras hidrotermales de 21° N.

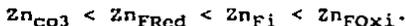
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

el Pb se distribuyó como sigue:

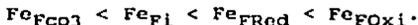


Zn.- Para este elemento se puede notar que la mayor proporción se distribuyó en la fase Oxidable, situación que viene a apoyar los estudios de caracterización por R-X, en los que se encontró una alta abundancia de esfalerita en las muestras.

La ruta I resultó ser mas efectiva para la fase Oxi. en las muestras ensayadas. De acuerdo a este estudio el Zn se distribuyó como sigue:

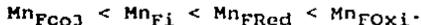


Fe.- El hierro en la fase Intercambiable al igual que el Zn presentó los valores mas altos que el resto de los elementos, debido posiblemente, a la alta concentración total que se registró en las muestras, esto podría sugerir que existe una saturación del elemento que refleja mayor abundancia de iones adsorbidos. En términos globales el Fe se distribuyó así:



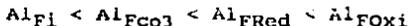
Cabe aclarar que para el caso de las muestra A₁, A₂, y A₃ los valores en las fase Red. fueron naturalmente los más altos, corroborando que se trata de óxidos de Fe y Mn. La ruta II para esta fase fue mas efectiva.

Mn.- Para las muestras A₁, A₂ y A₃ el Mn registró valores similares tanto en la fase Red. como en la fase Oxi., por lo demás la distribución fue como sigue:



Para la fase Red. la ruta II resultó ser mas efectiva no así para la fase Oxidable que la ruta I funcionó mejor.

Al.- Finalmente para este elemento la ruta II para las muestras seleccionadas en la fase Red., resultó ser la más efectiva, no así para la fase Oxi. que la ruta I fue mejor, por lo demás la distribución fue como sigue:



La muestra A₂ presentó los valores más altos de Al, como sería de esperarse tratandose de una muestra basáltica.

5.6 PRUEBAS METALURGICAS

Las pruebas metalúrgicas se llevaron a cabo con material proveniente del ciclo de molienda, a un tamaño de

Tabla 11(a). Análisis de Cribas en la Alimentación a Molienda para el composito 1.

Malla	Peso (g)	o/w	% Acum (-)	% Acum (+)
+6	133	14.8	100	14.8
-6 +6	130.4	14.5	85.3	29.2
-8 +14	165.0	18.3	70.8	47.5
-14 +20	76.3	8.5	52.5	56.0
-20 +30	69.8	7.7	44.0	63.7
-30 +40	55.4	6.1	36.3	69.9
-40 +48	37.1	4.1	30.2	74.0
-48 +60	18.9	2.1	26.1	76.1
-60 +100	62.1	6.9	24.0	83.0
-100 +200	63.7	7.1	17.1	90.1
-200	89.7	10.0	10.0	10.0

Tabla 11(b). Análisis de Cribas en la descarga de molienda para el Composito 1.

Malla	Peso (g)	o/w	% Acum (-)	% Acum (+)
+20	17.3	2.7	10.0	2.7
-20 +30	3.5	0.6	97.4	3.3
-30 +40	3.5	0.6	96.6	3.9
-40 +50	3.5	0.6	96.2	4.5
-50 +60	1.7	0.3	95.6	4.8
-60 +100	0.7	1.1	95.3	5.9
-100 +200	26.5	4.2	94.2	10.1
-200	567.5	90.0	90.0	10.0

Tabla 12(a). Análisis de Cribas en la alimentación a Molien-
da para el Composito 2.

Malla	Peso (g)	o/w	% Acum (-)	% Acum (+)
-1/2 +1/4	200	35.7	10.0	14.8
-1/4 +4	333.3	6.0	64.3	41.7
-4 +6	23	4.1	58.3	45.8
-6 +8	16.8	3	54.2	48.8
-8 +14	29.1	5.2	51.2	5.4
-14 +20	14.3	2.6	46.0	56.6
-20 +30	18.1	3.2	43.4	59.8
-30 +40	16.8	3	40.2	62.8
-40 +50	12.5	2.2	37.2	65.0
-50 +60	8.0	1.4	35.0	66.4
-60 +100	36.2	6.5	33.6	62.9
-100 +200	53.2	9.6	27.1	82.5
-200	97.8	17.5	17.5	100

Tabla 12(b). Análisis de Cribas en la Descarga de Molien-
da para el Composito 2.

Malla	Peso (g)	o/w	% Acum (-)	% Acum (+)
-1/2 +1/4	23.4	7.3	100	7.3
-1/4 +4	3.0	0.9	93.0	8.2
-4 +6	1.0	0.3	92.1	8.5
-6 +8	0.5	0.2	91.8	8.7
-8 +14	0.5	0.2	91.6	8.8
-14 +20	0.5	0.2	91.5	9.0
-20 +30	1.4	0.4	91.3	9.4
-30 +40	18.2	5.7	90.9	15.1
-40 +50	104.3	32.4	85.2	47.5
-50 +60	18.2	5.7	52.8	53.2
-60 +100	37.5	11.7	46.9	64.9
-100 +200	9.0	2.8	35.2	67.7
-200	104.3	32.4	32.4	100

Tabla 13(a). Análisis de Cribas en la Alimentación a Molien
da para el Composito 3.

Malla	Peso (g)	o/w	% Acum (-)	% Acum (+)
-1/2 +1/4	57.5	27.0	100	27
-1/4 +4	125	5.9	73	32.9
-4 +6	125	5.9	67.1	38.0
-6 +8	120	5.7	61.2	44.5
-8 +14	23.5	11.0	55.5	55.5
-14 +20	121.3	5.7	44.5	61.2
-20 +30	158.9	7.5	38.8	68.7
-30 +40	153.5	7.2	31.3	75.9
-40 +50	270.0	12.7	34.1	88.6
-50 +60	155	7.3	11.4	95.9
-60 +100	61.1	2.9	4.1	98.8
-100 +200	16.6	0.8	1.2	96.6
-200	8.6	0.4	0.4	100

Tabla 13(b). Análisis de Cribas en la descarga de Molien
da para el Composito 3.

Malla	Peso (g)	o/w	% Acum (-)	% Acum (+)
+60	858.7	40.4	100	40.4
-60 +100	960	45.2	59.6	85.6
-100 +200	225	10.6	14.4	96.2
-200	81.3	3.8	3.8	100
2° CICLO				
+30	62.3	8.8	100	8.8
-30 +40	33.3	4.7	91.2	13.5
-40 +48	225.0	31.6	86.5	45.7
-48 +60	107.5	15.1	54.9	60.2
-60 +100	166.5	23.4	39.8	83.6
-100 +200	82.0	11.5	16.4	95.1
-200	35.0	4.9	4.9	100
3er. CICLO				
-60 +90			90%	

partícula del 80% a -60+100 M. Los resultados del análisis de cribas en la alimentación y descarga de molienda se presentan de la Tabla 11 a la 13. De lo anterior se desprenden fundamentalmente dos cuestiones; por un lado la distribución de tamaños del material de llegada, después del ciclo de trituración, y por otro el grado de dureza del material que permite estimar, aunque muy burdamente, la energía requerida para llevar hasta dicho tamaño. De tal manera que, por ej., para el compuesto 3 requerimos hasta de tres ciclos, mientras que para el compuesto 1 y 2 sólo un ciclo, en términos de energía requerida para moler el material en orden decreciente sería el siguiente:

$$C_3 > C_2 > C_1$$

5.6.1 BALANCES METALURGICOS

Es así, que los compósitos fueron sometidos a las diferentes pruebas de flotación que generaron los datos necesarios para efectuar los respectivos balances metalúrgicos, un ejemplo de estos se muestra a continuación:

BALANCE METALURGICO PARA 250 TONELADAS DE MINERAL

	LEYES			CONTENIDO			RECUPERACION		
	§			Kg			§		
Peso	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn	Cu	Fe	Zn
Cab 250	2.9	26.1	14.5	7.2	65.3	36.3	100	100	100
Cu 96	5.4	24.2	15.2	5.2	23.2	14.6	72.2	37.3	51.2
Zn 40	2.9	27.5	22.2	1.2	11	8.9	16.6	17.7	31.2
co 114	.7	24.6	4.4	.8	28	5	11.1	45	17.5

5.6.2 OPTIMIZACION DEL PROCESO

Una vez realizados todos los balances metalúrgicos, se procedió a obtener valores más objetivos sobre las pruebas, para tal efecto, se graficaron los valores de % de Recuperación vs Dosificación de reactivo, encontrándose así los resultados que se presentan de la Figura 33a a la 33j:

Estos resultados ayudaron a optimizar el proceso, al que se sometieron los compósitos C_1 y C_2 .

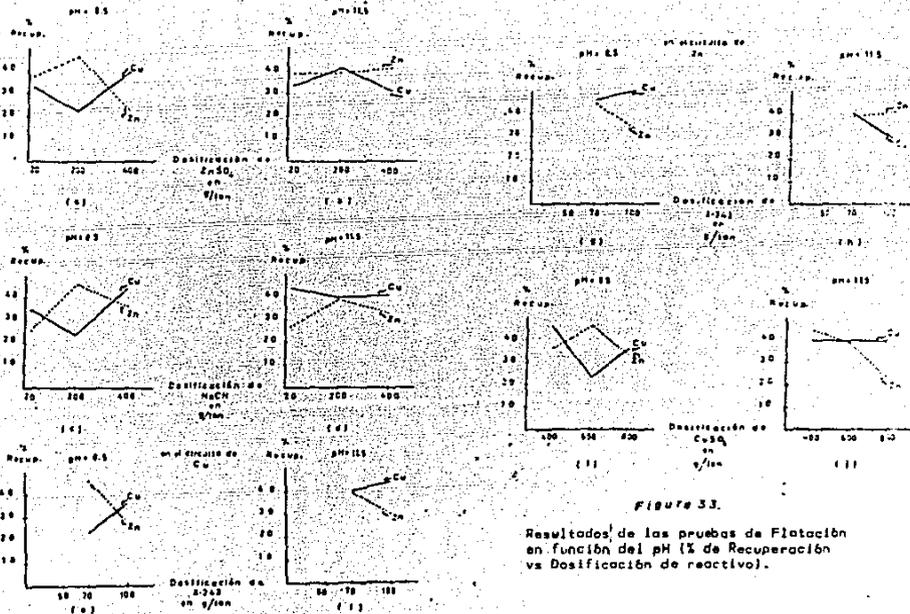


Figura 3.

Resultados de las pruebas de Flotación en función del pH (% de Recuperación vs Dosificación de reactivo).

De las gráficas anteriores se notan fundamentalmente dos situaciones; 1) aunque no se aprecia una evidente información respecto al comportamiento del proceso, debido principalmente al número de eventos realizados y/o a las condiciones de operación de laboratorio; y 2) las recuperaciones estuvieron lejos de considerarse buenas comercialmente, ya que estas fueron < al 70% deseado comúnmente.

No obstante, los niveles de concentración manejados y las condiciones de operación, la tendencia general mostrada por el experimento, reveló ciertamente las mejores condiciones. Es así como a partir de ellas se desprende que las condiciones óptimas de operación fueron:

Reactivo	Dosificación	pH
NaCN	20 g/t	11.5
ZnSO ₄	200 g/t	11.5
X-343 _{Cu}	100 g/t	11.5
X-343 _{Zn}	100 g/t	11.5
CuSO ₄	400 g/t	11.5

Con los datos anteriores se reprodujeron finalmente las pruebas para los compósitos 1 y 2, obteniéndose las siguientes recuperaciones después de efectuado el balance metalúrgico, donde se observó una marcada mejora en el proceso:

		Cu	Fe	Zn
Compósito 1	conc. Cu	72.2%	37.3%	51.2%
	conc. Zn	16.6%	17.7%	31.2%
	colas	11.1%	45.0%	17.5%
		Cu	Fe	Zn
Compósito 2	conc. Cu	35.3%	20.4%	21.1%
	conc. Zn	22.4%	18.4%	57.9%
	colas	42.2%	61.2%	21.1%

Estos resultados no sólo corroboraron la validéz del experimento, sino además revelaron el potencial económico de

estos depósitos minerales desde el punto de vista metalúrgico.

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Investigadores de diversas disciplinas coinciden en la importancia del estudio global de los fenómenos hidrotermales, y en términos genéricos, argumentos concluyentes han sido arrojados en el sentido siguiente:

- Uno de los principales descubrimientos en oceanografía en las últimas décadas ha sido la existencia de ventilas hidrotermales activas asociadas a sedimentos metalíferos en las crestas de las Cordilleras Mezoocéánicas. Su importancia radica, no solo en la confirmación de los procesos geológicos en límites de placas divergentes según la teoría Tectónica, sino en la contribución de estos procesos para la formación de depósitos metálicos.

- Los depósitos formados sobre las crestas denudadas de las cordilleras del Pacífico Este son diferentes a aquellos que se forman en ambientes cercanos a la costa, donde existen altas tasas de sedimentación, tal es el caso de la Cuenca de Guaymas.

- La química y mineralogía de los depósitos están en función de las rocas de interacción del fluido caliente, como lo muestra el modelo de circulación hidrotermal.

- Los depósitos hidrotermales de la Cuenca de Guaymas y de 21°N pertenecen a los depósitos hidrotermales modernos en centros de rápida expansión.

Las principales conclusiones a las que se llegaron en este estudio son presentadas a continuación:

- El piso oceánico en los centros de expansión ofrecen un potencial interesante de estudio de los procesos hidrotermales que se están llevando a cabo.

- Clasificando a las muestras de este estudio desde el punto de vista evolutivo se tiene lo siguiente:

Muestra	Localidad	Clasificación	Etapas
compósito 1 A ₅ -A ₁₈	21° N	Chimeneas y Snowbal activos	2a-3a
compósito 2 A ₁₇	21° N	Chimenea	4a

muerta

compósito 3 G₁-G₆ Cuenca de Mounds 4a
Guaymas inactivos

- Los principales constituyentes de las muestras de la Cuenca de Guaymas fueron Pirrotita > Marcasita > Piritita, con contenidos relativamente bajos de sulfuros metálicos.

- Los principales constituyentes minerales de las muestras de 21°N, a diferencia de las de la Cuenca de Guaymas fueron los sulfuros metálicos de Zn, Cu y Fe. La piritita se evidenció en mayor proporción que la presencia de pirrotita.

- El diagrama ternario de Bonatti (1981) no se ajusta a cualquier tipo de sedimento marino, en consecuencia, se propone una nueva distribución para las muestras analizadas. Las altas concentraciones de ciertos metales, específicamente de Cu por un lado, y por otro los bajos niveles de Mn, provocan que los valores "normalizados" aparezcan desplazados hacia la región de los vértices de la sumatoria de (Co+Ni+Cu)*10 y del Fe, dando lugar a una nueva zonación para las muestras estrictamente de origen hidrotermal.

- A partir de los resultados sobre especiación se concluye que: la eficiencia de extracción de una u otra ruta, dependerá de la fase y del metal del que se trate, ya que para algunos metales la extracción se vuelve más efectiva al cambiar la secuencia de extracción.

- Por otra parte, se pudo observar que las últimas fases extraídas sufren cierto grado de destrucción, ya que los valores metálicos disminuían al invertir las rutas. Si esto es cierto, evidentemente sugerirá rutas predilectas de extracción.

- Los principales problemas de las extracciones en general radican en los siguientes aspectos:

+ se desconoce el grado de selectividad (poco efectiva)

+ se plantean dos importantes cuestiones:

1a.- el extractante químico, altere y/o ataque otras fases destruyendo las ya existentes y/o formando nuevos compuestos.

2a.- una vez que se liberan los metales de una fase, pueden provocarse reacciones secundarias de asociación con otras fases (readsorción, co-precipitación, complejación, etc.).

- No obstante, lo que se sabe hasta la fecha sobre la asociación geoquímica entre metal-fase, ha permitido evaluar la magnitud de dichas asociaciones en el material particulado, en sedimentos y ahora en muestras de material consolidado de origen hidrotermal.

- Un factor determinante para llevar a efecto la explotación de los depósitos hidrotermales será el demostrar la factibilidad de procesamiento industrial rentablemente.

- La técnica de separación-concentración por flotación para la recuperación de los valores metálicos, resultó ser efectiva para estos minerales de sulfuros polimetálicos.

- Las pruebas realizadas con el compuesto 3, constituido fundamentalmente por las muestras provenientes de montículos hidrotermales de la región de la Cuenca de Guaymas, revelaron las condiciones óptimas del proceso.

- No obstante, que las recuperaciones de Cu y Zn fueron menores a aquellas de explotación comercial, la tendencia general fue satisfactoria en cuanto a los valores metálicos obtenidos.

- Dentro de las principales limitaciones que regularon la experimentación en el laboratorio se pueden mencionar las siguientes:

cantidad de material

en consecuencia, tamaño de la celda

remoción excesiva de material durante la agitación

selectividad del reactivo

flotabilidad natural

- Los minerales de sulfuros metálicos oxidados, presentan mayor dificultad de flotar que los minerales recién recuperados (frescos, en verde).

RECOMENDACIONES

- Dentro de las consideraciones mas importantes para mejorar el proceso se recomienda:

estudio previo de flotabilidad natural

determinación del grado de hidrofobicidad

determinación de S elemental

efectuar deslame para material = 400 M

extracción diferencial con Na_2S_2

utilización de dispersantes

diseño de equipo mecánico adecuado si se utiliza la celda propuesta

- No obstante, que por el momento ningún depósito hidrotermal submarino es considerado como una "mena" - ya que no ha sido demostrada su recuperación rentable - a partir de este trabajo se pueden considerar como recursos potenciales alternativos en un futuro, siempre y cuando los precios de los metales base excedan al costo de explotación, es decir, extracción, transportación, beneficio y comercialización.

- La tecnología para la recuperación de minerales del piso oceánico parece no representar un obstáculo, pues si los proyectos desarrollados para la extracción de nódulos de manganeso funcionan, seguramente también funcionarán para los depósitos hidrotermales, debido fundamentalmente a que las condiciones de los depósitos son más favorables desde el punto de vista logístico, es decir, profundidades menores a aquellas de los depósitos de los nódulos de manganeso, mayor cercanía a la costa, etc. Su explotación, por lo tanto, dependerá más de la política internacional y de la economía mundial que de la naturaleza de los depósitos y de la tecnología en sí.

- Este trabajo asienta las bases para estudios posteriores que sobre depósitos hidrotermales se realicen ya que contribuye sustancialmente al aspecto de recuperación metalúrgica.

- Por primera vez en México se evalúa la potencialidad minera que estos depósitos representan a futuro, ya que estas pruebas permiten asegurar que existen rutas convencionales de procesamiento industrial efectivas con recuperaciones de hasta 72.2% de Cu y de 57.9% de Zn de valores metálicos a bajos costos.

REFERENCIAS

- Batiza, R., 1985. "Qualitative assessment of polymetallic sulfide mineral deposits on seamounts". *Marine Mining*, Vol 5, No 2: pp 181-189.
- Bischoff, J.L. and F.W. Dickson, 1975. "Sea water-basalt interaction at 200°C and 500 bars. Implications for origin of sea floor heavy metals deposits and regulation of sea water chemistry". *Eart and Plant. Sci.*, Vol 25: pp 385-397.
- Bonatti, E. and Joensuu, O., 1966. "Deep sea iron deposits from the South Pacific". *Science*, vol. 54: pp 643-645.
- Bonatti, E., 1975. "Metallogenesis at oceanic spreading centers". *Ann. Rev. Earth Plant. Sci.*, Vol 3: pp 401-431.
- Bonatti, E., B.M. Gurstein-Honnorez and J. Honnorez, 1976. "Copper-iron sulfide mineralizations from the equatorial Mid Atlantic Ridge". en Rona, P. A. and R. P. Lowell (edit), 1980. *Sea Floor Spreading Centers. Benchmark Pappers in Geology 56*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.: 424 pp.
- Bonatti, E., 1981. "Metal deposits in the oceanic lithosphere". en Emiliani (edit). *The Sea*, Vol 7: pp 639-686.
- Bonatti, E., 1984. "Hydrothermal metal deposits from the oceanic rifts: A classification" en Rona, P., Bostrom, K., Laubier, L. and Smith, K. L. (edits), 1984. *Hydrothermal Proceses at Seafloor Spreading Centers*. Plenum Publishing Co., New York: pp 491-502.
- Brault, M., B.R. Simoneit, J.C. Marty et A. Saliot, 1985. "Les Hydrocarbures dans le systeme hydrothermal de ride Est-Pacifique, a 13°N" *C.R. Acad. Sc. Paris. T 301, Serie II, No 11: pp 807-812*.
- Bruland, K. W., Bertin, K., Hoide, M. and Goldberg, E.D., 1974. "History of metal pollution in southern California coastal zone". *Envir. Sci. Technol.*, vol. 8: pp 425-432.

- Bruyn de, P.L. and G.E. Agar, 1962. "Surface Chemistry of Flotation" en Fuerstenau, D. W. (edit), 1962. Froth Flotation, 50h Anniversary Volume, AIME. New York, USA : pp 91-138.
- Bujor, M. y A. Maquet, 1970. "Difracción de Rayos X y Microscopia Electrónica". UNAM, F. Q. D. E. S., México: 161 pp.
- Burns, R.G., 1979. "Marine Minerals". Elsevier Scientific Publishing. 475 p.
- Calvert, S.E., 1966. "Factors affecting the distribution of laminated diatomaceous sediments in Gulf of California". en Van Andel, Tj. H., and Shor, GG., eds., Marine Geology of the Gulf of California, Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 3, 408pp.
- Curry, J.R., et al., 1982. Initial Reports of Deep Sea Drilling Project. Vol 64: 1313 pp.
- Chester, R. and Huges, M.J., 1967. "A chemical technique for the separation of ferromanganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments". Chem. Geol., vol. 2: pp 249-262.
- Darcy, G.T., R.B. Scott and P.A. Rona, 1979. "Geology of a submarine hydrothermal field, Mid Atlantic Ridge, 26 N latitude". Journal of Geophysical Research. Vol 84, No. B-13: pp 7453-7466.
- Einsel, G., Gieskes, J.M., Curry, J., Moore, D.G., Aguayo, E., Aubry, M.P., Fornari, D., Gerrero, J., Kastner, M., Kelts, K., Lyle, M., Matoba, Y., Molina-Cruz, A., Niemitz, J., Rueda, J., Saunders, A., Schrader, H., Simoneit, B. and Vacquier, V., 1980, "Intrusion of basaltic sills into highly porous sediments, and resulting hydrothermal activity". Nature, vol. 283: pp 441-445.
- Einsel, G., 1982. "Mechanism of sill intrusion into soft sediments and expulsion of pore water" en Curry, J.R. et al., Initial Reports of the DSDP. Vol 64, part II, Washington, D. C., U.S. Government Printing Office: pp 1169-1176.
- Ergunlap, D. and H. Weber, 1985. "Massive sulfides on the East Pacific Rise and their beneficiation". Erzmetall. Vol 38, No. 5: pp238-242.
- Goldberg, E.D. and Arrhenius, G.O.S., 1958. "Chemistry of Pacific pelagic sediments". Geo. Cosmochimica Acta, 13: pp 153-212.

- Green, K.E., R.P. Von Herzen and P.L. Williams, 1981. "The Galapagos spreading center at 86°W: a detailed geothermal field study". Journal of Geophysical Research. Vol 86, No. B2: pp 979-986.
- Gupta, K.S. and K.Y. Chen, 1975. "Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of near shore sediments". Environmental Letters. Vol 10, No. 2: pp 129-158.
- Habashi, F., 1980. "Principles of Extractive Metallurgy". G. & B. Science Publishers, N.Y.. Vol 1; Vol 2: p 413.
- Raymond, R.M. and Kastner, M., 1981. "Hot spring deposits on the East Pacific Rise at 21°N. Preliminary description of mineralogy and genesis". Earth Planet. Sci. Let. Vol. 53: pp 363-381.
- Hawkins, D.B. and R. Rustum, 1963. "Experimental hydrothermal studies on rock alteration and clay mineral formation". Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol 27: pp 1047-1054.
- Hekinian, R., Feurier, M., Bischoff, J.L., Picot, P. and Shanks, N.C., 1980. "Sulfide deposits from the East Pacific Rise near 21°N". Science, vol 207: pp 1443-1444.
- Hekinian, R., J. Francheteau and R.D. Ballard, 1985. "Morphology and evolution of hydrothermal deposits at the axis of the East Pacific Rise". Oceanological Acta. Vol 8, No. 2: pp147-155.
- Konigsman, K.V., 1985. "Flotation techniques for complex ores", en Zunkel, A.D., R.S. Boorman, A.E. Morris and R.J. Wesely (edits), 1985. Complex Sulfides, Processing of Ores, Concentrates and By-Products. Publishing of the Metallurgical Society Inc.. Pennsylvania, USA: pp 5-20.
- Lalou, C., 1984. "Genesis of ferromanganese deposits: Hydrothermal origin", en Rona, P., K. Bostrom, L. Laubier and K.L. Smith (edits), 1984. Hydrothermal Processes at Sea Floor Spreading Centers. P. P. Co., N.Y.: pp 503-534.
- Larson, R. L., 1972. "Bathymetry, magnetic anomalies, and plate tectonic history of the mouth of the Gulf of California". Geol. Soc. Am. Bull.. Vol 83: pp 3345-3360.

- Lawver, L.A. and D.L. Williams, 1979. "Heat flow in the central Gulf of California". Journal of Geophysical Research. Vol 84: pp 3465-3478.
- Leja, J., 1982. "Surface Chemistry of Froth Flotation". Plenum Press, N.Y., USA: p 758.
- Leco Corporation, 1982. "Manual de Operación". Determinador de C y S. St. Joseph, M.I., USA.
- Lister, C.R.B., 1980. "Heat flow and hydrothermal circulation". Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.. Vol 8: pp 95-117.
- Lonsdale, P., 1980. "Hydrothermal plumes and baritic sulfide mounds at a Gulf of California spreading center". Abstract. Eos. Trans. Am. Geophys. Union. Vol 61: p 995.
- Lonsdale, P., R. Batiza and T. Simkin, 1982. "Metallogenesis at seamounts on the East Pacific Rise". Marine Technological Society Journal (MTSJ). Vol 16, No. 3: pp 54-61.
- Loring, D.H. and R.T.T. Rantala, 1977. "Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter". Technical Reports No. 700. Department of Fisheries and the Environment Fisheries and Marine Service Research and Development Directorate. Dart Mouth, Nova Scotia: p 55.
- Martin, J.M., P. Nirel and A.J. Thomas, 1987. "Sequential extraction techniques: promises and problems". Mar. Chem., vol 22: pp 313-341.
- Meguellati, N., D. Robbe, P. Marchandise and M. Astruc, 1983. "A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments-interpretatio". Conference Heavy Metals in the Environment, Heidelberg '83.
- Mero, J.L., 1965. "The Minerals Resources of the Sea". Elsevier Scientific Publishers. New Holland.
- Moddy, J.R. and Lindstrom, R.A., 1977. "Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples". Anal. Chem., vol 49: pp 2264-2267.
- Mosqueda, M.G., 1987. "Optimizaci3n de los Par3metros en Molienda". T3sís de Licenciatura (Bcs Sc.). Facultad de Químico, UNAM, México.

- Páez-Osuna, F., M.L. Fong Lee y H. Fernandez-Pérez, 1984^a. "Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos". An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton, México, 11 (1): pp 257-264.
- Páez-Osuna, F., M.L. Fong Lee, H. Fernandez-Pérez, R. Lozano-Santa Cruz y G. Villaseñor, 1984(b). "Heavy metals and mineralogy in sediments cores from a tropical coastal lagoon, México". Indian Journal of Marine Sciences, vol 13: pp 153-158.
- Páez-Osuna, F., J.I. Osuna-López, L.D. Miller y M.I. Abdullah, 1986. "Modificación a un nucleador ligero y económico para muestrear sedimentos sin disturbarlos". Anales del ICM y L, UNAM. Vol 3, No 1: pp 449-454.
- Páez-Osuna, F. y Osuna-López, I., 1988. "Ventilas hidrotermales en la cuenca de guaymas y la región Dorsal Este del Pacífico Oriental 21°N: Aspectos geoquímicos". Revista Ciencias del Mar, UAS (divulgación).
- Páez-Osuna, F. y J.I. Osuna-López, (en prensa). "Metales pesados en fragmentos de basalto de la boca del Golfo de California". An. Inst. Cienc. Mar y Limn., UNAM.
- Peter, J.M., 1986. "Genesis of Hydrothermal Vent Deposit in the Southern Trough of Guaymas Basin, Gulf of California: A Mineralogical and Geochemical Study". Unpublished, Mr. Sc. Thesis, University of Toronto: p 180.
- Peter, J.M. and S.D. Scott, 1986. "Geochemical, mineralogical, fluid inclusion and stable isotope studies of Hydrothermal vent precipitates, Guaymas Basin, Gulf of California". in the Genesis of Stratiform sediment-hosted lead and zinc deposits: Conference Proceedings, Turner, R.J. and M.T. Einaudi (edits). Stanford University Publications, Geol. Sci.. Vol XX: pp 151-155.
- Peter, J.M., W.C. Shanks, D. Kadko and S.D. Scott, 1986. "Hydrothermal vent deposits from the southern trough of Guaymas Basin, Gulf of California: A fluid inclusion stable and radiogenic isotope study". Geoxpo '86, University of Toronto. Canada: p 69.
- Rona, P.A., 1978. "Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in ocean crust". en Rona, P.A. and Lowell (edits), 1980. Sea Floor Spreading Centers. Benchmarks Papers in Geology. 56.

- Dowden Hutchinson & Ross Inc. Stoudsburg, Pennsylvania: pp 378-403.
- Rona, P.A., 1982. "Polymetallic sulfide at sea floor spreadings centers. A global overview". Mar. Tec. Soc. Jou.. Vol 16, No. 3: pp 81-86.
- Rona, P.A., 1983. "Exploration for hydrothermal mineral deposits at sea floor spreading centers". Marine Mining, Vol 4, No. 1: pp 7-38.
- Rona, P.A., 1985. "Hydrothermal mineralization at slow-spreading centers: Red Sea, Atlantic Ocean and Indian Ocean". Marine Mining. Vol 5, No. 2: pp 117-145.
- Rogers, J., 1962. "Principles of sulfide mineral flotation", en Fuerstenau, D.W. (edit), 1962. Froth Flotation, 50th Anniversary Volume. AIME, N.Y., USA: pp 139-169.
- Scott, S.D., 1985. "Seafloor polymetallic sulfide deposits: Ancient and Modern". Marine Mining. Vol 5, No. 2: pp 191-212.
- Scott, S.D., 1986. "Seafloor polymetallic sulfides: Scientific curiosities or mines of the future?", en Teleki, P. et al. (edits), 1986. proceedings Nato Advanced Research Workshop on Marine Minerals: Resource Assessment Strategies. D. Reidel Publ. Co.: pp 1-21.
- Shepard, P.F., 1973. "Submarine Geology". Harper & Row Publ., N.Y.: p 517.
- Simoneit, B.R.T., 1983. "Organic geochemistry of laminated sediments from the Gulf of California", in Sues, E. and Thiede, J. (edits), 1983. Coastal Upwelling. Plenum Publ. Co.: pp 527-543.
- Simoneit, B.R.T., 1984. "Effects of hydrothermal activity on sedimentary organic matter: Guaymas Basin, Gulf of California-petroleum genesis and protokerogeno degradation". Rona, P.A. et al. (edits), 1984. Hydrothermal Processes at Sea Floor Spreadings Centers. P. P. Co., N.Y., USA: pp 451-471.
- Simoneit, B.R.T., 1985 (q). "Hydrothermal petroleum: genesis, migration and deposition in Guaymas Basin, Gulf of California". Canadian Journal of Earth Sciences. Vol 22, No. 12: pp 1919-1929.

- Simoneit, B.R.T., 1985b. "Hydrothermal petroleum: composition and utility as a biogenic Carbon source". Biol. Soc. Wash. Bull.. No. 6: pp 49-56.
- Simoneit, B.R.T., M.A. Mazurek, S. Brenner, P.T. Crisp and I.R. Kaplan, 1979. "Organic geochemistry of recent sediments from Guaymas Basin, Gulf of California". Deep-Sea Research. Vol 26A, No. 8: pp 879-891.
- Simoneit, B.R.T. and P.F. Lonsdale, 1982. "Hydrothermal petroleum in mineralized mounds at the seabed of GUaymas basin". Nature. Vol 295, No. 5846: pp 198-202.
- Simoneit, B.R.T., R.P. Philp, P.D. Jenden and E.M. Galimov, 1984. "Organic geochemistry of deep sea drilling project sediments from the Gulf of California-hydrothermal effects on unconsolidated diatom ooze". Organic Geochemistry. Vol 7, No. 3/4: pp 173-205.
- Sleep, N.H. and T.J. Wollery, 1978. "Egress of hot water from Midocean Rige hydrothermal systems: some thermals constraints". Journal of Geophysical Research. Vol 83, No. B-12: pp 5913-5922.
- Soto, A.L. y C.A. Molina, 1986. "Exploración submarina de ventilas hidrotermales eb la Cuenca de Guaymas". Ciencia y Desarrollo, CONACyT. No. 67, año XII. México: pp 17-26.
- Surendra, P.V. and J.G. Shilling, 1982. "Galapagos hot spots-spreading center system". Journal of Geophysical Research, vol. 87, No B13: pp 838-856.
- Tessier, A., P.G. Campbell and M. Bisson, 1979. "Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metal". Analytical Chemistry. Vol 51, No. 7: pp 844-851.
- Tessier, A. and P.G.C. Campbell, 1987. "Partitioning of trace metals in sediments: relationships with bioavailability". Hydrobiologia. 149: pp 43-52.
- Von Damm, K.L., 1983. "Chemistry of Submarine hydrothermal solutions at 21° N, East Pacific Rise and Guaymas Basin, Gulf of California". (PhD.) Thesis, Unpublishing. Woods Hole Oceanographic Institution, M.I.T..
- Walter, P. and P. Stoffers, 1985. "Chemical characteristics of metalliferous sediments from eight areas on the Galapagos rift and East Pacific

Rise between 2°N and 42°S". Marine Geology, Vol. 65:
pp 271-287.

Wegener, A., 1929. "The Origin of Continents and
Oceans". N. Y., USA. Dover, 1966.

Williams, D.L., K. Becker, L.A. Lawver and R.P. Von
Herzen, 1979. "Heat flow at the spreading centers of
the Guaymas Basin, Gulf of California". Journal of
Geophysical Research. Vol 84: pp 6757-6769.