

27



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MINERALOGÍA COMPARATIVA DE TRES PRESAS DE JALES EN
ZIMAPÁN, HGO.**

T É S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A

MIGUEL ÁNGEL ZARAGOZA ESTRADA

291376

**FACULTAD DE
INGENIERIA**



U N A M

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. MARÍA GUADALUPE VILLASEÑOR CABRAL.

MÉXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-410

SR. MIGUEL ANGEL ZARAGOZA ESTRADA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora M. en C. Guadalupe Villaseñor Cabral y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

MINERALOGIA COMPARATIVA DE TRES PRESAS DE JALES EN ZIMAPAN HIDALGO

- RESUMEN
- I INTRODUCCION
- II MARCO GEOLOGICO
- III MARCO TEORICO
- IV ESTUDIO MINERALOGICO DE LOS JALES
- V RESULTADOS
- VI DISCUSION
- VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- ANEXOS
- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 5 de marzo de 2001
EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

R

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por apoyarme en los momentos difíciles y por enseñarme el camino a seguir, ya que ellos construyeron a la persona que soy ahora.

De forma especial a la M. en C. M. Guadalupe Villaseñor C. y a la Dra. M. Aurora Armienta H. por su dirección y comentarios, así como por su ayuda incondicional en todo este trabajo.

De igual manera al proyecto DGAPA IN104300 por el apoyo proporcionado durante la realización de esta tesis.

Y a todas las personas que amablemente me apoyaron durante el desarrollo de este trabajo.

INDICE

Resumen.

Página

1

I.- INTRODUCCION

Antecedentes

Objetivo

Justificación

Localización y Acceso

Historia y Producción

Método de Trabajo

6

II.- MARCO GEOLÓGICO

Localización Geológica

Fisiografía

Estratigrafía regional

Geología Estructural

Descripción de los Yacimientos Minerales

14

III.- MARCO TEÓRICO

Sedimentología en Presas de Jales

Alteración de Minerales

Formación de Minerales Secundarios y Terciarios

IV.-ESTUDIO MINERALÓGICO DEL MATERIAL

19

Trabajo de campo

Trabajo de laboratorio

Preparación de muestras

Análisis por difracción de Rayos X

Estudio en el microscopio óptico

Estudio en el microscopio electrónico

Resumen.

El distrito minero de Zimapán se localiza en la parte occidental del estado de Hidalgo. Fisiográficamente se encuentra sobre el Altiplano Mexicano y en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental.

En la zona afloran rocas sedimentarias marinas principalmente carbonatadas, que varían del Jurásico Superior al Cretácico Superior, estas rocas afloran en la mayor parte del distrito y forman las zonas montañosas. Existen también sedimentos continentales del Terciario y Cuaternario. Las rocas ígneas están representadas por intrusivos de composición monzonítica y diversos diques, así como rocas de la formación Las Espinas.

Los yacimientos minerales de la zona son de tipo de reemplazamiento en carbonatos y alta temperatura, se presentan en forma de chimeneas, mantos y vetas. Los principales minerales son: pirita, esfalerita, galena, arsenopirita, pirrotita, sulfosales de plomo, minerales del grupo de la tetrahedrita, estanita, marcasita, cubanita, bornita y minerales de alteración.

Se tomaron muestras de tres presas de jales con material de El Monte y El Carrizal, tomando un perfil en cada una de los tres jales, con el objeto de identificar la mineralogía presente en las diferentes zonas de muestreo.

El material recolectado se tamizó y molió, también se prepararon láminas delgadas pulidas y superficies pulidas, además se seleccionaron granos del material en portamuestras para su análisis. La identificación mineralógica se llevó a cabo mediante difracción de rayos-x, microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido.

Los principales sulfuros que se encontraron en estos jales fueron la pirita, esfalerita, galena, calcopirita, marcasita, estos minerales se alteran principalmente a goethita y magnetita, se encontraron fragmentos de magnetita alterando a goetita-limonita, y óxidos terciarios como la rozenita, así como algunos sulfatos como la jarosita y anglesita, también se encontró gran cantidad de yeso.

Se observó que la alteración del material de las presas disminuye con respecto a la profundidad. Y el tamaño de las partículas también disminuye con respecto a la profundidad. La reacción más importante es la oxidación de los sulfuros de hierro.

En los jales San Francisco los sulfuros se encuentran muy sanos, el grado de alteración es muy bajo. En los jales Preisser los sulfuros se encuentran muy alterados en su parte

I.- INTRODUCCION.

Antecedentes.

La industria minera es de gran importancia en la economía de México porque genera la materia prima para la industria nacional de transformación y de capital. Es además una industria que involucra la creación de medios de transporte, estimula obras de infraestructura, así como el uso de energéticos y combustibles. Los metales son esenciales para el confort material de una sociedad, por lo que se requiere un aprovechamiento óptimo de estos recursos. Como el cuidado y preservación del ecosistema es de vital importancia y en vista de que la minería es una actividad que puede contaminar, se requiere diseñar adecuadamente métodos de remediación así como minimizar el impacto negativo de esta actividad. Para ello es necesario investigar en primer término, la mineralogía de los productos de desecho para lo cual se estudiarán por diversas técnicas varios perfiles de diferentes jales, identificando el mayor número posible de minerales. Esta tesis forma parte de un proyecto del Instituto de Geología y del Instituto de Geofísica titulado "Procesos geoquímicos de liberación y transporte de metales pesados en dos distritos mineros de México" en el que se pretende estudiar la influencia de diferentes procesos físicoquímicos en la movilidad de elementos que pudieran ser nocivos al ambiente, se espera conocer el aporte probable, de arsénico, plomo zinc y fierro al ciclo geoquímico a partir de jales con diferente composición mineralógica y sometidos a diferentes condiciones ambientales. El antecedente de este último proyecto es el estudio realizado por Armienta et al 1997, Armienta et al 2001 acerca de la contaminación con arsénico en el agua subterránea de Zimapán.

Objetivo

Conocer las diferentes fases minerales presentes en los perfiles de las presas de jales estudiadas utilizando diferentes técnicas de estudio.

Establecer el protocolo analítico para el estudio de los minerales presentes en las presas de jales.

Determinar el grado de alteración de los sulfuros en las presas de jales.

Los minerales terciarios representan los precipitados que provienen de los metales existentes en las presas de jales disueltos por acción del agua, principalmente son minerales en diferentes estados de hidratación. Los sulfatos de hierro son los precipitados terciarios más comunes y son seguidos en abundancia y ocurrencia por el yeso.

Los minerales cuaternarios son los que se forman en la superficie del jal después de que el agua capilar se evapora y los núcleos se han estabilizado a temperatura ambiente. Los más comunes resultan de la reacción de los sulfuros de hierro de grano fino y de la humedad de la atmósfera.

El conocimiento de esta secuencia en la alteración de los minerales es importante para determinar el comportamiento y movilidad de elementos contaminantes que se encuentran presentes en las presas de jales.

La mineralogía de las vetas o cuerpos mineralizados condiciona la composición de los componentes solubles en los tiraderos de desechos mineros y el impacto que tienen en la calidad de aguas superficiales. Estos componentes solubles se liberan al ser expuestos los minerales finamente molidos a la atmósfera y quedar en condiciones propicias para su alteración.

El factor más importante como fuente de variación dentro de estructuras de presas de jales se debe a las condiciones locales de drenaje, que a su vez depende de la ubicación de terrazas y escorrentias superficiales, así como a la presencia y grosor de estratos que tienen diferente permeabilidad.

Localización y Acceso.

El Distrito Minero "ZIMAPAN" se localiza en la porción occidental del Estado de Hidalgo a 94 KM en línea recta de la ciudad de Pachuca. La elevación media es de 1900 m. sobre el nivel del mar correspondiéndole las siguientes coordenadas geográficas: 20 grados 45 minutos de latitud norte y 99 grados 23 minutos de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

El acceso al Distrito es por la carretera México-Nuevo Laredo a la altura del kilómetro 205; cuenta con una pista para avionetas, servicio telefónico así como correos y telégrafos. Para su estudio se ha dividido al Distrito en cuatro áreas las cuales en orden de importancia son: Carrizal, El Monte, San Pascual-Santa Gorgonia y La Cruz.

Las actividades nuevamente se suspendieron a causa del Movimiento Revolucionario de 1910 y una vez estabilizada la situación política del país, se abrieron las fuentes de producción de minerales. En la década de los 20s había en operación un total de 18 minas cuya producción era fundida en los hornos de la región.

Fue en ésta cuando la Hidalgo Mining And Smelting Co., inició los trabajos de explotación en el área de El Monte.

En 1945 fueron descubiertos nuevos cuerpos de óxidos en la mina Lomo de Toro y para estimular la producción se construyó el camino de acceso a la barranca del Carrizal, con lo que se incrementó la extracción de las minas existentes (Balcones y Lomo de Toro) . En esa misma década la Compañía Fresnillo, S.A. de C.V., inició sus actividades de exploración y explotación de óxidos y sulfuros en pequeña escala, en el área de El Monte. A partir de 1975 la Compañía Fresnillo S.A. de C.V., contó con su propia planta de beneficio en la cual desde su arranque y hasta abril de 1990, mes en que la mina de El Monte paró sus operaciones, procesó los minerales de dicha mina y los de Animas-La Cuña. Actualmente sólo beneficia mineral de esta última(Cía. Fresnillo, 1991).

Método de Trabajo.

Se realizó una compilación bibliográfica de estudios realizados sobre mineralogía en las presas de jales y los métodos utilizados para su estudio. Posteriormente se efectuaron varios muestreos en distintas presas de jales del Distrito Minero de Zimapán Hgo., las muestras recolectadas se prepararon para su análisis en el Difractómetro de Rayos X y para su estudio al microscopio óptico.

Después se realizaron los estudios de Difracción de Rayos X y los Análisis por Fluorescencia y seguido a esto se utilizó el microscopio óptico para identificar minerales y delimitar zonas de interés para su posterior análisis en el Microscopio Electrónico de Barrido.

II.- MARCO GEOLOGICO

Localización Geológica.

En el Distrito Zimapán afloran rocas de origen marino del Mesozoico y depósitos continentales y volcánicos de Cenozoico. El área se encuentra localizada en la zona limítrofe de las provincias fisiográficas Mesa Central y Sierra Madre Oriental. Las rocas más antiguas se presentan compuestas por lutitas, calizas lutíticas y calcarenitas del jurásico, calizas lutíticas del Cretácico Inferior, calizas y lutitas del Cretácico Superior; le siguen fanglomerados, rocas volcánicas, basaltos y andesitas del Terciario, fanglomerados del Pleistoceno y depósitos aluviales del reciente (García G. y Querol S., 1985).

Fisiografía.

El Distrito de Zimapán se encuentra en el altiplano mexicano, ahí se localizan las estribaciones occidentales de la Sierra Madre Oriental representadas por la Sierra El Monte que se localiza al norte del poblado de Zimapán. Los principales rasgos fisiográficos son: el abanico aluvial de Zimapán, la Sierra El Monte y el río Tolimán afluente del Moctezuma y límite geográfico entre los Estados de Querétaro e Hidalgo.

La Sierra El Monte está orientada E-W y forma el flanco norte del Valle de Zimapán, su altitud máxima es de 2,720 m.s.n.m. y está representada por el cerro de San Nicolás continuando hacia el Oriente con lomeríos volcánicos hasta el Puerto de la Estancia.

Hacia el poniente la sierra está cortada por la barranca del río Tolimán estando bordeada de fuertes acantilados de más de 40 grados que en algunas ocasiones se hacen verticales. En esta barranca se ubica el área del Carrizal.

El patrón de desagüe en Zimapán está controlado fuertemente por la litología; tiene un aspecto rectangular producido por los arroyos que desagüan paralelos a los estratos calcáreos.(García G. y Querol S., 1985).

Estratigrafía Regional.

La litología regional está representada por rocas sedimentarias marinas de edades que varían desde el Jurásico Superior al Cretácico Superior; estas rocas afloran en la mayor parte del Distrito y forman las zonas montañosas. Se encuentran además sedimentos continentales y volcánicos del Terciario, rocas ígneas plutónicas e hipabisales de composición monzonítica asociadas al fenómeno mineralizante y numerosos diques andesíticos también Terciarios. En las partes bajas se encuentran sedimentos semiconsolidados producto de abanicos aluviales del Terciario Tardío y del Cuaternario.

Sistema Jurásico Formación Las Trancas.

La formación Las Trancas (definida por Segestrom 1962 en Carrillo y Suter) está formada por lutitas calcáreas lustrosas y filíticas en estratos delgados de color gris, intercalados con calizas de color gris oscuro. Aflora al norte del Distrito y aunque no aflora en su base el espesor calculado es de 800 metros. La presencia de microfósiles le da una edad de Kimmeridgiano-Titoniano, aunque algunos autores lo extienden hasta el Aptiano. Esta formación subyace concordantemente a la Formación Doctor y forma el basamento de la mineralización (Simons y Mapes, 1957).

Sistema Cretácico Formación El Doctor

Constituye la mayor parte de la zona montañosa del Distrito y es la roca encajonante de la mineralización lo que la hace la de mayor importancia económica. Su espesor ha sido medido entre 750 y 900 metros en el área de Ixmiquilpan-Actopan Hidalgo. Esta formación consiste de calizas de colores gris y gris oscuro en capas de 10 a 30 centímetros con intercalaciones de estratos de pedernal de color negro, el cual cerca de las zonas mineralizadas adquiere un color blanco. Se pueden observar intercalaciones de caliza masiva de aspecto lenticular de posible origen arrecifal. Algunos de estos lentes en ocasiones son muy fosilíferos. Estos biohermas tienen hasta 30 metros de espesor y cientos de metros de extensión, por su contenido fosilífero se le ha asignado una edad de Albiano Medio- Cenomaniano Inferior (López Ramos, 1979). Esta formación descansa concordantemente sobre la formación Las Trancas y en algunas áreas está cubierta discordantemente por el fanglomerado El Morro, rocas volcánicas o aluvión reciente.

Formación Soyatal

Esta formación consiste de lutitas amarillas que alternan con margas y calizas micríticas de color negro. La litología varía literalmente incrementando o decrementando la fase

Geología Estructural.

El Distrito de Zimapán se encuentra en el anticlinorio El Piñón el cual forma parte de los plegamientos de la orogénea Laramide de sedimentos del período Cretácico de la Sierra Madre Oriental cuya orientación es NW-SE.

El anticlinorio está limitado al NE por el sinclinal de El Aguacate y al SW por el sinclinal de Maconí. Tiene un ancho de 11 kilómetros y se extiende a lo largo del cañón del río Moctezuma, su flanco SW está formado por una serie de pliegues recostados con planos axiales subhorizontales que afectan a las formaciones El Doctor y Soyatal.

Estas estructuras son fácilmente reconocibles en la barranca del Tolimán, tanto en techo como el flanco del anticlinorio El Piñón, consisten de varios anticlinales y sinclinales internos de planos axiales subverticales que están estrechamente espaciados. En esta zona los pliegues se hallan mejor definidos por la presencia del contacto de la formación Soyatal. El relieve del anticlinorio El Piñón es de más de 1800 metros y la amplitud de los pliegues varía de 100 a 180 metros (Carrillo y Suter, 1982).

Las deformaciones laramídicas son de tipo transicional entre frágil y dúctil. El mecanismo de deformación se puede explicar por las elevadas isothermas regionales y un alto gradiente geotérmico, causados por grandes intrusiones que son post-tectónicas, pero emplazadas no mucho tiempo después de que la deformación laramídica ocurrió (Carrillo y Suter, 1982).

Descripción de Yacimientos Minerales.

Estos yacimientos son Fanerozoicos de alta temperatura (más de 250 grados centígrados), y principalmente se presentan en mantos vetas y chimeneas, encajonados en rocas carbonatadas. Los fluidos mineralizantes de los intrusivos son ácidos, de salinos a hipersalinos que generan los depósitos de reemplazamiento en calizas y este distrito minero pertenece al cinturón de Pb-Zn-Ag de la Sierra Madre Oriental.

Las regiones más alejadas del intrusivo pueden ser caracterizadas con vetas epitermales con inclusiones fluidas indicando temperaturas más frías y baja salinidad.

La mineralización es asociada con intrusiones polifases, con diferentes composiciones en intervalos diferentes de tiempo (Megaw, P., 1999).

Area El Carrizal.

Los yacimientos minerales de esta área se encuentran encajonados en la formación El Doctor. Los cuerpos mineralizados están relacionados con un cuerpo ígneo de composición monzonítica, estos cuerpos se presentan en forma de vetas, mantos y chimeneas.

Estas chimeneas estan formadas por sulfuros masivos con texturas variables de grano grueso a fino, se caracterizan por un alto contenido de hierro, evidenciado por la presencia de pirrotita, pirita y algo de magnetita; el resto de la mineralogía la componen esfalerita, galena, calcopirita, sulfosales de plomo y antimonio, Wollastonita, Andradita, Diopsida, Idocrasa, Cuarzo, Actinolita, Damburita, Calcita, Siderita, Fluorita, Clorita, Bornita y arsenopirita (Villaseñor G.et al1987).

La génesis de los yacimientos del área del Carrizal está íntimamente ligada al emplazamiento de los intrusivos de composición monzonítica. El skarn metasomático generado por el fenómeno hidrotermal preparó el terreno para el emplazamiento de grandes y pequeños cuerpos. Es importante citar que fueron varias las etapas de mineralización, unas casi simultáneamente al skarn pero la mayoría posteriores a él.

El evento mineralizante es joven comparado con las rocas que lo encajonan y es típicamente epigenético. El fracturamiento de los diques así como el skarn y el contacto de éstos y las calizas encajonantes fueron los conductos principales; es importante mencionar que las calizas en sus posiciones recortadas o verticales aunados a su fracturamiento y permeabilidad secundaria, sirvieron para el paso y depósito de minerales de mejor mena (García G. y Querol S.,1985).

Los yacimientos de la zona se consideran dentro del tipo de reemplazamiento en carbonatos y alta temperatura, se presentan en forma de chimeneas, mantos, vetas y disseminaciones, la mineralogía de los depósitos en la mina Animas-Lomo de Toro, de donde proviene el material de los jales San Francisco, es de pirita, galena, esfalerita, arsenopirita, pirrotita, sulfosales de plomo, minerales del grupo de la tetrahedrita, estanita, varios minerales de bismuto, marcasita, cubanita, bornita y diversos minerales de alteración(Villaseñor G., 1992).

III.- MARCO TEÓRICO

Las presas de jales comprenden la fracción no económica que es separada durante el proceso de beneficio del mineral. Representa aproximadamente el 90% de todo el material extraído de las minas, se requiere una gran área para el depósito de este material no económico. Es en este material donde se desarrollan procesos geoquímicos complejos debido al intemperismo, los productos en ocasiones pueden resultar altamente tóxicos, es por eso que se requiere de un estudio completo de dichas presas, para conocer sus interacciones con el medio que las rodea.

Estas presas de jales reciben material, proveniente de la planta concentradora, que ha sido sometido a un sistema de beneficio que se realiza mediante un proceso de flotación selectiva cuyo concentrador produce dos productos básicos: un concentrado de zinc y un concentrado de plomo.

El proceso metalúrgico consiste en siete etapas principales: a) Trituración con tres procesos (primaria, secundaria y terciaria); b) Molienda con dos procesos (molienda de barras y molienda de bolas); c) Flotación de plomo con dos procesos (primaria y agotativa con tres limpiezas); d) Flotación del zinc con dos procesos (primaria y agotativa con tres limpiezas); e) Espesado; f) Filtrado y g) Manejo de concentrados.

Sedimentología en Presas de Jales.

El material que es depositado en estas presas y acumuladas por el agua proveniente de la planta de beneficio, presentan características físicas de depósito y granulometría particulares.

El material en las presas de jales es predominantemente arenas de tamaño fino a medio con un contenido del 10% de arcillas. El proceso más importante que afecta la estratigrafía de estas zonas es la clasificación hidráulica del tamaño de grano que ocurre después de la descarga de los sedimentos. También existen dos ambientes deposicionales distintos: una zona subáerea que se puede extender de 10 a varios cientos de metros fuera del punto de descarga y una zona *lacustre* que se presenta donde todavía existe agua en la zona de jales, los procesos sedimentarios son diferentes en las dos zonas.

Alteración de Minerales

Los minerales presentes en las presas de jales son alterados desde el momento de depositarse en la presa, debido a diversos factores de intemperismo y a las características físicas de sedimentación de los jales.

Las diferencias en la observación de las reactividades de los sulfuros en parte reflejan las diferentes condiciones bajo las cuales se oxidan; aparentemente el tamaño de grano y las asociaciones minerales toman importancia en la reactividad de estos. Por lo tanto es básico determinar estos parámetros para un estudio de la movilidad de los diferentes elementos.

Otra característica importante que impide el desarrollo o aumenta la secuencia de reactividad es la estabilidad de los diferentes minerales; dicha estabilidad puede ser afectada por sustitución de elementos.

En general la secuencia de alteración se incrementa con la resistencia de los minerales al ataque químico de los elementos y esta secuencia se describe en forma simplificada a continuación.

Pirrotita> galena>esfalerita>pirita>arsenopirita>calcopirita>magnetita

Se ha observado que los óxidos como el cuarzo, la magnetita y la ilmenita en jales ricos en sulfuros son más resistentes a la alteración en comparación con los sulfuros asociados. Los productos de las reacciones que se producen en una presa de jales presentan un mínimo de transporte mecánico, entonces la estabilidad de los minerales depende en gran parte de la composición química de las soluciones reaccionantes y de la presencia de microorganismos.

La formación de Jarosita en jales oxidados es un indicativo de disolución del mineral silicatado como una consecuencia del potasio de la Jarosita. En más casos la consecuencia de la disolución preferida por el potasio ha sido la biotita y el psilomelano, con los minerales más estables como el feldespato potásico y la muscovita (Jambor J.L., 1994).

Los minerales que se han encontrado en presas de jales ricos en sulfuros se presentan en la siguiente tabla:

Oxihidróxidos	Sulfatos	Otros Minerales
Goetita	Yeso	Marcasita
Lepidocrocita	Bassanita	Covellita

El yeso es un mineral secundario formado de calcio derivado de la caliza y de los silicatos carbonatados como son las plagioclasas y los piroxenos en los jales, que se ha unido con el sulfato producido por la oxidación de los sulfuros (Jambor 1994).

Aluminosilicatos Secundarios

Las concentraciones de cuarzo no han sido reportadas en este tipo de aguas. La estabilidad de estos aluminosilicatos secundarios consecuentemente no pueden ser determinadas.

La estabilidad relativa de la caolinita a la estabilidad de la gibbsita es determinada principalmente por la concentración de cuarzo en solución. Las concentraciones de aluminio en solución se encuentran cerca del límite de detección de las técnicas analíticas y los valores son utilizados para análisis termodinámicos. Las especies como fluorita forman fuerte complejos con aluminio en soluciones ácidas.

Las aguas pueden ser equilibradas con, o supersaturadas en alunita, también pueden ser equilibradas con hidróxido de aluminio oxihidróxidos. Los resultados sugieren que la alunita y los hidróxidos de aluminio están presentes cerca de la superficie de las presas de jales como minerales secundarios (Jambor 1994).

Minerales Secundarios de Hierro

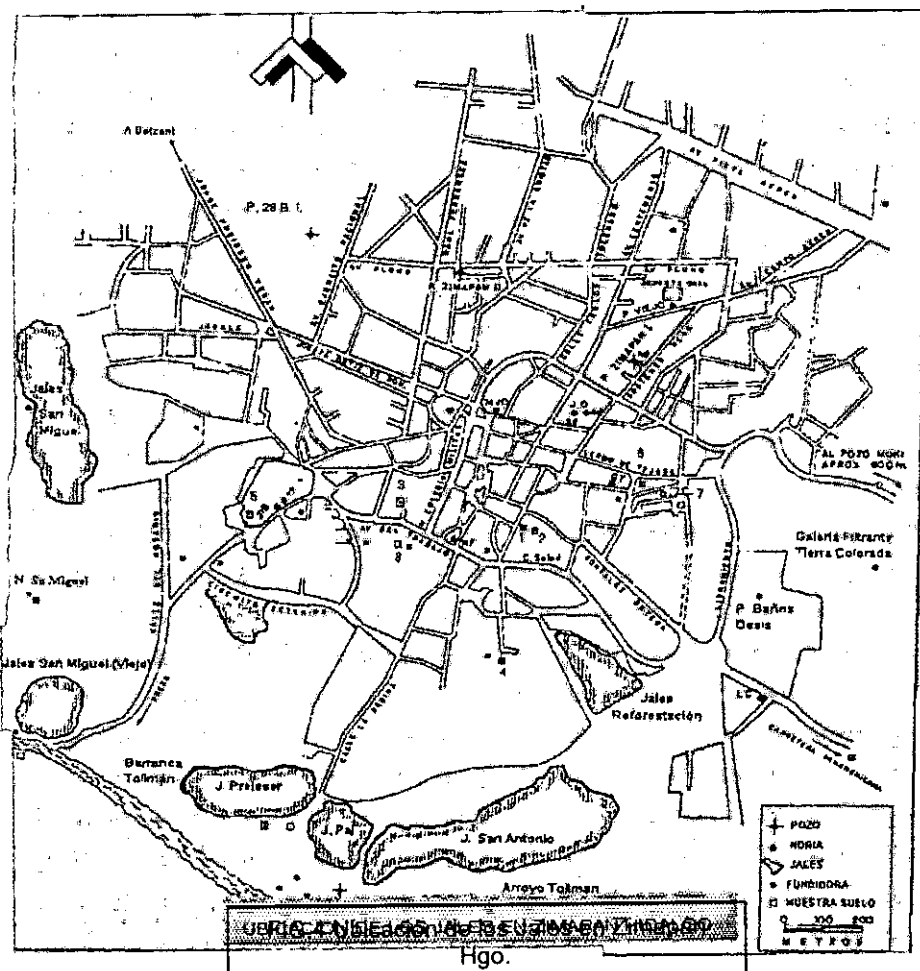
Las aguas en las presas de jales están supersaturadas con respecto a los minerales secundarios como goethita y jarosita. Consecuentemente los minerales forman en los jales soluciones que son supersaturadas y equilibradas con respecto a estos dos minerales, estos minerales precipitan lentamente y tienen un influencia importante en la concentración de hierro.

La adquisición de hierro es rápida comparada con las tasas de remoción por precipitación. Aparentemente las condiciones de equilibrio existen con estos cambios del ciclo de hierro acuoso en las presas de jales (Jambor, 1994).

IV.- ESTUDIO MINERALÓGICO DE LOS JALES

Trabajo de Campo.

Se llevaron a cabo tres salidas al campo, con las que se muestrearon tres presas de jales en el distrito minero de Zimapán: San Miguel, Preisser y San Francisco.



+ Puntos de muestreo.

Los jales San Francisco se encuentran al NE de este mapa.

El siguiente jal muestreado fue el de Preisser, el cual muestra una coloración gris claro a oscuro con zonas bien definidas en el cambio de color; se observan horizontes muy consolidados en la parte interior del cuerpo de la presa de jales, cubiertos por unos estratos y laminaciones más recientes de material no consolidado y oblicuos con respecto a los estratos horizontales.

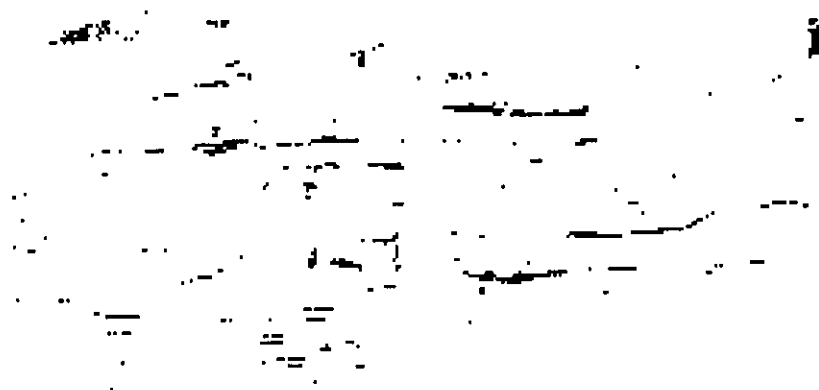


FIG.5 Perfil muestreado en los jales San Miguel, se observa la coloración grisacea y la estratificación bien definida.

El punto de muestreo número uno en los jales de Praisser se tomó en un costado de dicho jal. Se observa que dicha zona es la parte inferior de la pendiente, siendo esto más joven que las zonas más interiores. Presenta una coloración gris claro y está formada por pequeñas laminaciones de un material poco consolidado del tamaño de arena media.

El segundo punto de muestreo se tomó en una grieta de la presa de jales y corresponde a la zona interior de dicha presa. Estas muestras se tomaron en un perfil bien definido en la parte interior de la presa, estos desechos representan los más antiguos en cuanto a depósito. Se observan estratos horizontales con una fuerte coloración gris oscuro y áreas de tono rojizo es un material semiconsolidado con partículas del tamaño de arena gruesa. Aquí las muestras se tomaron cada metro aproximadamente de la cima de la presa a su base, teniendo cuidado en la distribución horizontal del material, para

Posteriormente se colectaron muestras en los jales San Francisco, esta presa está en funcionamiento por lo que la toma de muestras fue un poco complicada por la humedad presente en ese lugar.

El primer punto de muestreo se localizó sobre la desembocadura de los desechos provenientes de la planta de beneficio, el material presentaba una coloración grisacea con tono amarillentos, el tamaño era de arena media y no mostraba estructuras de depósito, la muestra estaba muy húmeda y se observaban a simple vista los sulfuros en gran cantidad.

La siguiente muestra colectada fue en la parte central de la presa de jales, en esa zona la coloración era parda amarillenta con tonos grisaceos, el tamaño del material era de arena media principalmente, tenía menos humedad que la muestra anterior y los sulfuros se veían a simple vista, el material estaba parcialmente disgregado, aquí se observaban laminaciones formadas por el depósito del material como se muestra en la fotografía.

Otra muestra se colectó en una orilla de la presa de jales, esta era una superficie amarillenta que resaltaba del resto del material se observaban una gran cantidad de sulfuro y su tamaño es principalmente de arena fina, su color era amarillento pardusco y no formaba ninguna estructura visible.

El siguiente punto de muestreo fue en la parte exterior de la presa de jales, en esta zona se observaba una coloración rojiza con manchas de alteración en sus paredes color amarillo pardo y verde claro como se muestra en las fotografías, el tamaño de grano era de arena media a gruesa y el material estaba consolidado y ahí se tomo una muestra de la zona rojiza que presentaba laminaciones y dos de los manchones de alteración.



FIG.7 Perfil del jal San Francisco, donde se observa estratificación cruzada y manchones parduscos debido a una mayor proporción de sulfuros.



FIG.8 Foto donde se observa la alteración en la zona rojiza de los jales San Francisco.

La preparación de las muestras inició con el secado del material a temperatura ambiente, y posteriormente todas las muestras fueron cuarteadas para hacer representativa la fracción tomada para los análisis, en todos los estudios se utilizó la fracción seleccionada del cuarteo .

Después se tomaron porciones del material de cada una de las muestras y se procedieron a tamizar con mallas de 30, 60, 80 y 120, siendo la fracción más fina de <120.

Todas las fracciones gruesas de las muestras (>30) fueron observadas en el microscopio binocular para determinar porcentajes aproximados de grupos mineralógicos.

Enseguida se molieron en un mortero de ágata las fracciones finas (<120) y fracciones totales de todas las muestras.

En este proceso de molido se utilizó ácido clorhídrico para lavar el mortero después de utilizarlo con cada muestra y agua destilada para que el mortero quedara perfectamente limpio, se lavaron también perfectamente todos los instrumentos utilizados para evitar cualquier tipo de contaminación, las muestras se mantuvieron en bolsas bien cerradas .

Posteriormente las muestras se analizaron en el USAI de la Facultad de Química con un Difractómetro de Rayos X marca SIEMENS D-5000 con tubo de cobre y $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$.

Estudio con el Microscopio Óptico.

Parte del material más consolidado resultado del cuarteo se preparó para mandarse al taller de laminación y preparar láminas delgadas pulidas, esto se efectuó con las muestras:

JZ-1-00	JZ-10-00
JZ-2-00	JZ-11-00
JZ-7-00	

Para superficies pulidas

JZ -21-01	JZ-15-00
JZ-22-01	JZ-17-00
JZ-23-01	JZ-18-00
JZ-13-00	JZ-19-00
JZ-14-00	

Estas láminas se elaboraron para su posterior análisis en el microscopio minerográfico así como en el microscopio electrónico.

El Microscopio Electrónico consiste en una columna óptica y de una consola electrónica, el microscopio genera un vacío alrededor de la muestra y la imagen es formada por un haz electrónico dirigido hacia ella.

Este haz es generado a partir de un cañón en el que como cátodo se encuentra un filamento de tungsteno que es calentado por un sistema de emisión termiónica a una temperatura que excede los 2700 grados Kelvin. Este filamento emite abundantes electrones que producen un alto potencial negativo con respecto al ánodo y el resto del microscopio. Los electrones son rápidamente acelerados hacia el ánodo y a través de la columna electrónica por un voltaje de aceleración de 2 a 40 KV, disminuyéndose y enfocándose a través de una serie de lentes electromagnéticas dentro del haz finalmente enfocado que incide sobre la muestra.

Los electrones secundarios son aquellos que escapan de la muestra con energías de 50 eV. Son electrones primarios que al final de su trayectoria alcanzan la superficie con unos pocos eV restantes. Los electrones secundarios son abundantes y son los más comúnmente usados como señal para producir imágenes en un MEB. La emisión depende de la topografía y densidad del sólido.

Los electrones retrodispersados son aquellos con energía cercana a la del haz incidente. Tal fenómeno ocurre muy cerca de la superficie y también son usados para formar imágenes en el MEB. Es de vital importancia entender las interacciones que son posibles entre los electrones de alta energía y los átomos de la muestra (Reyes, M y Martiny, B., 1993).

Para este análisis se seleccionaron algunos granos de material y se montaron en porta muestras para el Microscopio Electrónico de Barrido, también se prepararon las superficies pulidas, anteriormente marcadas las zonas de interés en el microscopio minerográfico.

La muestra es pegada con pasta de plata o de carbón o con alguna cinta conductiva y después es cubierta con un metal como oro, aluminio, plata o carbón en alguna ionizadora o evaporadora. Este procedimiento es necesario para obtener una imagen más clara.

La preparación de las muestras requiere que se cumplan dos condiciones, que las muestras estén secas y que sean conductivas. Todas las técnicas de secado causan cambios dimensionales pudiendo alterar la estructura original de la muestra. El congelado-secado y secado a punto crítico son los métodos más utilizados para la remoción de humedad hasta el momento.

Por último se observa una tabla que contiene las muestras colectadas y que tipo de estudio se les realizó después de su preparación.

MUESTRAS PREPARADAS		
Difracción por Rayos X	Microscopio Óptico	Microscopio Electrónico de Barrido
	JZ-1-00	
	JZ-2-00	
	JZ-7-00	
	JZ-10-00	
JZ-1-00	JZ-11-00	
JZ-5-00	JZ-13-00	JZ-15-00
JZ-7-00	JZ-13-00	JZ-18-00
JZ-10-00	JZ-14-00	JZ-00-19
JZ-11-00	JZ-15-00	JZ-21-01
JZ-13-00	JZ-17-00	JZ-23-01
a	JZ-18-00	
JZ-26-01	JZ-19-00	
	JZ-21-01	
	JZ-22-01	
	JZ-23-01	

V.- RESULTADOS OBTENIDOS

Difracción de Rayos X.

En todas las muestras analizadas los minerales más abundantes encontrados fueron:

cuarzo feldespato potásico
 calcita esfalerita
 galena marcasita
 pirita plagioclasa
 diopsida yeso
 calcopirita granate
 clorita

De la interpretación de los difractogramas se encontraron las siguientes especies minerales en cada una de las muestras colectadas:

JALES SAN MIGUEL		
POS. EN EL PERFIL	NUM. DE MUESTRA	MINERALES
Superf. 1 m 1.5 2 3 Fondo	JZ-1-00	Clorita con calcio y plomo, arsenopirita, anglesita, plumojarosita, vermiculita-montmorillonita, ferrihidrita
	JZ-5-00	Clorita con calcio y plomo, arsenopirita, melanterita, montmorillonita-caolinita
	JZ-7-00	Clorita con plomo y calcio, calcosiderita, arsenopirita, goetita, melanterita, jarosita, anglesita
	JZ-10-00	Calcosiderita, plumojarosita, goetita, vermiculita-montmorillonita, clorita, arsenopirita
	JZ-11-00	Clorita con plomo, ferrihidrita, melanterita, plumojarosita, goetita

TABLA 1

Los análisis y la interpretación se hicieron en fracciones finas y en muestra total resultando poca la diferencia, en las fracciones finas se observan un poco mejor los óxidos y sulfatos que en las muestras totales, debido a que estos se concentran en mayor cantidad en dichas fracciones.

En los jales San Francisco se observaron mayor variedad de óxidos y sulfuros que en los jales de Praisser y San Miguel que presentaron una menor variedad de óxidos.

Microscopio Optico.

En esta etapa se han estudiado las siguientes muestras:

JZ-7-00	JZ-1-00
JZ-10-00	JZ-2-00
JZ-21-01	JZ-11-00
JZ-22-01	JZ-13-00
JZ-23-01	JZ-14-00
JZ-15-00	JZ-17-00
JZ-18-00	JZ-19-00

JALES SAN FRANCISCO.

Aquí se han identificado principalmente los sulfuros, que se han encontrado como la esfalerita que presenta un color con luz natural gris con tonos amarillentos, y cruzando nícoles rojo pálido, con reflexiones internas rojizas.

Se identificó magnetita que presenta un color con luz natural gris pardusco, cruzando nícoles presenta tonalidades rojizas más oscuras que la esfalerita, la pirita se presenta con coloraciones con luz natural blanco con tonos amarillentos y cruzando nícoles se presenta de color verde oliva, en las muestras JZ-21-01 a JZ-23-01 muy abundante. Los sulfuros son predominantemente euedrales y el índice de alteración es muy bajo, en estas muestras están presentes exoluciones de pirita en esfalerita con cierto alineamiento.

También se encontraron marcasita y calcopirita la primera se observa con luz natural de un color blanco amarillento con tinte verdoso y con nícoles cruzados se presenta con un color azul verdoso muy fuerte o verde amarillento, la segunda presenta un color amarillo

magnetita alterando o reemplazandola por goetita.

JALES SAN MIGUEL

En esta presa de jales los sulfuros predominantes es la pirita, esfalerita y calcopirita, el tamaño de las partículas es muy pequeño y se presentan con asociaciones de esfalerita con pirita principalmente, hay una gran cantidad de cuarzo, calcita y plagioclasas, existe poca alteración de los sulfuros y los pequeños fragmentos tienen un índice de alteración muy bajo.

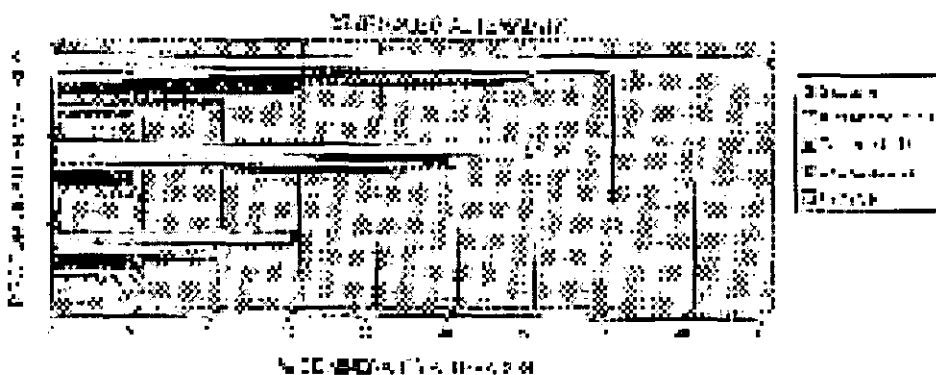
En algunas muestras se encuentran algunas agrupaciones de tamaños de partículas. Los pocos óxidos presentes son goetita-limonita. No se encontró pirrotita en este perfil y se encontró un poco de galena.

También se presenta un aumento en el índice de alteración en la parte superior de la presa y un incremento en el tamaño de las partículas.

Otra actividad que se realizó en el microscopio óptico es el marcado de zonas de interés, principalmente donde se identificaban óxidos y sulfatos, para su posterior análisis en el microscopio electrónico de barrido.

También se hicieron selecciones de pequeños granos con el microscopio binocular, que se montaron en portamuestras especiales para su análisis en el microscopio electrónico de barrido.

Además se determinaron los porcentajes relativos de la cantidad de pirita oxidada por medio de tablas de porcentaje que se encuentran en el Laboratorio de Yacimientos Minerales y Minerografía y los resultados se muestran en los siguientes gráficos:



S	18.58	27.41
Fe	77.11	65.33
As	4.31	7.26

Esfalerita

S	11.41	30.45
Fe	58.49	48.05
Zn	29.10	21.50

Arsenopirita

As	56.43	49.65
Fe	29.27	30.40
S	14.30	19.95

Pirita

Fe	94.49	93.21
Ca	3.32	4.80
S	2.36	1.99

Resultados Analíticos de las Muestras del Jal San Francisco

Elemento	% Peso	% Atómico Normalizado
----------	--------	-----------------------

Arsenopirita

S	16.18	26.60
Fe	30.91	31.37
As	52.91	40.03

Esfalerita

S	26.88	42.26
Fe	10.19	9.20
Zn	62.94	48.54

Pirita

VI.- DISCUSIÓN.

Los minerales encontrados en los jales de Zimapán presentan la distribución de lo que ha sido observado por diversos investigadores (Jambor 1994, Benvenuti 2000 , Blowes y Jambor 1990).

En un estudio de los jales de Waite Amulet, Blowes y Jambor (1990) encontraron que la pirrotita y la pirita fueron totalmente oxidadas cerca de la superficie de la zona de estudio y el grado de alteración disminuía con la profundidad, en las presas de jales estudiadas también se encuentran en la zona superior los sulfuros con un grado mas alto de alteración, teniendo cantidades muy pequeñas de galena, esfalerita y grandes cantidades de pirita. Se observa que el grado de alteración y el tamaño de partículas disminuyen con la profundidad de los perfiles.

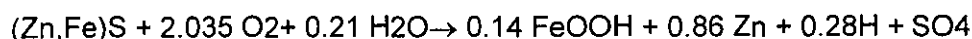
Esto se debe a que en la parte superior de las presas los minerales se encuentran expuestos a los procesos de intemperismo y es en esta zona donde se realizan procesos de disolución, lixiviación y oxidación, dañando principalmente a dichos sulfuros. Las partes mas internas del jal son las menos alteradas debido a la poca exposición a los procesos de intemperismo.

Las variaciones de mineralogía en algunas muestras, son consecuencia del minado y sedimentación de las partículas provenientes de la planta de beneficio y más variaciones importantes resultan de la destrucción selectiva por intemperismo químico.

La reacción fundamental de alteración es la oxidación de la pirita que involucra una serie de reacciones. Estas reacciones pueden resumirse en la siguiente reacción, la cual muestra los procesos involucrados.



Una reacción similar se produce para la alteración de la esfalerita (Benvenuti,M. Et al., 2000):



Debido a que algunas esfaleritas de los depósitos de Zimapán contienen hasta 12 % de hierro (Villaseñor y Gómez, 1991), contribuyen a la abundancia de minerales insolubles de hierro.

alcalinidad de las presas de jales debido a la presencia de carbonatos principalmente, a las bajas concentraciones de Fe(+3) y a la formación de minerales insolubles de hierro (Jambor, J. y Alpers, C., 2000).

Alteración y Homogeneidad en Presas de Jales.

Los procesos supergénicos controlan la movilidad de metales pesados en los desechos mineros en minas de plomo, zinc, plata, incluido el reemplazamiento pseudomórfico in situ después de los minerales primarios y su lavado y disolución posterior. Posiblemente el siguiente paso es la reprecipitación de los metales en minerales secundarios, con algunas excepciones, una característica de los depósitos de jales es la abundancia de los sulfuros primarios de hierro que son oxidados y dispersados por procesos de generación de ácidos (Ramos, R., 1997).

Observaciones al microscopio de las muestras de los jales estudiados de Zimapán Hidalgo, indican que los sulfuros en la zona superior del jal están fuertemente oxidados (foto 1). En la parte media superior están representadas principalmente por goethitas secundarias depositada como relleno en los intersticios a lo largo de los sulfuros y óxidos residuales de hierro, oxihidróxidos y pirita son visibles al microscopio en la zona superior del jal (foto 2). Con la profundidad el reemplazamiento de la goethita en los intersticios disminuye y la abundancia de pirita inalterada se incrementa. Un estudio al microscopio nos indica que la pirita es más resistente a la oxidación que los otros sulfuros presentes. Todo esta discusión demuestra que un bajo contenido de minerales de sulfuro de la zona superior del jal resulta principalmente de la disolución oxidativa.

Las presas de jales no son homogéneas en la columna vertical porque presentan una variación mineralógica en cantidad y tipo de los diferentes depósitos que ahí se encuentran, debido al minado y resultado de su depósito en las presas de jales.

Reportes previos en varias presas de jales señalan que los sulfuros más abundantes han sido la pirita y pirrotita; el cuarzo y feldespatos son los más abundantes minerales leucocráticos; los anfíboles, piroxenos y filosilicatos son los minerales melanocráticos más comunes y los óxidos de hierro primarios y secundarios junto con los oxihidróxido son los más abundantes (Jambor, 1987). De los minerales secundarios los más abundantes son la goethita, el yeso y la jarosita. (Ramos R., 1997).

En los jales de Zimapán los minerales leucocráticos más abundantes son el cuarzo, la calcita, ortoclasa y albita, los sulfuros más abundantes son la pirita y la esfalerita y los

interesa por ser altamente tóxico. Este elemento tiene una fuerte afinidad con la goethita en presas de jales (Jambor, 1992). En los jales de Zimapán el contenido de arsénico es alto por la presencia de arsenopirita en todos ellos como se puede ver en los diagramas de difracción (anexo 4). En algunas zonas se encuentra muy alterada observándose la presencia de goethita en casi todas las muestras recolectadas en los perfiles por lo que podemos esperar que el arsénico liberado por la arsenopirita será inmovilizado por la goethita en el jal , ya que en algunas áreas este óxido es abundante.

Este punto es importante porque las condiciones favorables con respecto a la adsorción de minerales pesados puede ser derivada del contenido de óxidos e hidróxidos de hierro (Forstner,U. y Hasase,I., 1997), por lo tanto la movilidad e impacto ambiental de dichos metales pesados se ve reducida por la cantidad de óxidos e hidróxidos de hierro.

Comparación de las presas de jales.

En los tres perfiles de las presas de jales estudiadas se observó una distribución vertical de los minerales alterados, siendo la parte superior de los jales las zonas más alteradas. Se presenta una disminución gradual del grado de alteración de los sulfuros conforme se desciende en el perfil, esto es debido a que el material más cercano a la superficie esta mayormente expuesto a los procesos de intemperismo, reduciendose esta exposición hacia la base de la presa.

La presencia de fragmentos de sulfuros relativamente pequeños y poco alterados cerca de la superficie en la base de los perfiles de San Miguel y Preisser, indica que los elementos liberados por la alteración de sulfuros provienen de la parte superior de la presa de jales.

En la presa de jales de San Francisco existen gran cantidad de sulfuros y no están tan alterados como en las presas anteriores, por ser relativamente más recientes, por lo tanto no han emitido al ambiente elementos peligrosos producto de las reacciones químicas que alteran a dichos sulfuros, como se muestra en la foto (11).

En las presas de jales San Miguel y Preisser se observa arsenopirita muy alterada en el fondo del perfil y, por el contrario en el jal San Francisco se encontró arsenopirita muy sana como se ve en la foto (13), esto nos indica que el arsénico se libera de la arsenopirita encontrada en los jales San Miguel y Preisser y los jales San Francisco no liberan tanto arsénico como las presas anteriores, quizá porque son recientes.

Otro aspecto importante es la cantidad de calcita existente en las presas estudiadas, en

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para llevar a cabo el estudio mineralógico de los jales de Zimapán se siguió un protocolo donde se prepararon con cuidado las muestras y se efectuaron análisis por difracción de rayos X, microscopía óptica y microscopía electrónica como se muestra en la Fig.(9).

La preparación de muestras debe realizarse con especial cuidado para evitar contaminaciones y se recomienda que en la preparación de superficies pulidas, se evite que en las pastillas queden residuos de los abrasivos utilizados.

Para realizar un estudio mineralógico en material de presas de jales es de vital importancia la combinación de la Difracción de Rayos X, que nos dará una idea general de la mineralogía presente en la presa de jales; el microscopio óptico nos ayudará a identificar y observar alteraciones de los minerales y nos dará una comprobación de la mineralogía observada en la difracción de rayos X y el Microscopio Electrónico de Barrido nos proporcionará un análisis químico semicuantitativo de puntos de interés obtenidos en el microscopio óptico, así como una idea clara de la morfología del material estudiado de estas presas de jales.

De la comparación de los perfiles estudiados se observó que Los jales más viejos (San Miguel y Preisser) presentan gran cantidad de óxidos de hierro, principalmente goetita. Los sulfuros muy alterados están en la parte superior, en la parte inferior del perfil hay una pequeña cantidad de sulfuros sanos y de menor tamaño. En los jales San Francisco hay abundancia de sulfuros y pocos óxidos, las partículas se encuentran relativamente sanas y de forma euedral, debido a que son más recientes.

En los tres perfiles estudiados se encontraron minerales primarios provenientes de la planta de beneficio, así como minerales secundarios y terciarios, estos últimos presentándose principalmente en la zona superior y media de los perfiles; producto de las reacciones químicas que se producen en las presas de jales.

La oxidación es el principal proceso que produce los óxidos e hidróxidos de hierro y posteriormente sulfatos de hierro, magnesio, calcio y plomo; así como yeso. Se forma calcita secundaria.

En los jales estudiados se encontró gran cantidad de calcita y óxidos e hidróxidos de hierro; son importantes, el primero por aumentar la alcalinidad del material y con esto reducir la tasa de reacción de los sulfuros, y los segundos por adsorber los metales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alpers, C.N., Jambor, J.L., Nordstrom, D.K. 2000. Sulfate Minerals, Crystallography, Geochemistry and Environmental Significance. Serie editor: Paul H. Ribbe. MSAGS. pp 320-330.
- Armienta, M.A., Villaseñor, G., Rodríguez, R., Ongley, I.K., Mango, H. 2001. The role of arsenic bearing rocks in groundwater pollution at Zimapan Valley, México. *Environmental Geology*. V 40. pp 571-581.
- Armienta, M.A., Rodríguez, R., Ceniceros, N. Villaseñor, G. 1997. Arsenic contamination of groundwater at Zimapan, México. *Hydrogeology Journal*. Hannover. V.5, No.2. pp. 39-46.
- Arriaga G. 1984. Descripción de los minerales metálicos en el microscopio minerográfico. Facultad de Ingeniería, UNAM, pp 1-80.
- Benvenuti, M., Mascaro, I., Corsini, F., Ferrari, M., Lattanzi, P., Parrini, P., Costagliola, P. y Tanelli, G. 2000. Environmental mineralogy and geochemistry of waste dumps at the Pb,Zn, Ag Bottino mine, Apuane Alps, Italy. *European Journal of Mineralogy*, núm 12. pp 441-453.
- Blowes D.W., Jambor J.L., 1990, The pore-water geochemistry and the mineralogy of the vadose zone of sulfide tailings, Waite Amulet, Quebec, Canada, *Applied Geochemistry*, 5, 327-346.
- Boulet, M. y Larocque, A. 1998. A comparative mineralogical and geochemical study of sulfide mine tailings at two sites in New Mexico USA. *Environmental Geology*. February. Pp 130-136.
- Cabri, L. y Vaughan. 1998. Modern approaches to ore and environmental mineralogy. Short Course Series, vol. 27. Mineralogical Association of Canada. pp. 367-401.
- Carrillo, M. y Sutter M. 1982. Tectónica de los alrededores de Zimapán Hgo. Y Querétaro. Libro guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes. Estados de Hidalgo y Querétaro. Sociedad Geológica Mexicana, 6ª. Convención Nacional, pp 1-26.
- Craig J. y Vaughan, D. 1981. Ore microscopy and ore petrography. John Wiley and Sons. USA.
- Cía. Fresnillo, Industrias Peñoles S.A. de C.V. Unidad el Monte. 1991. Inédito.

- Ramos, R. 1997. Aportación de Componentes Solubles por Desechos Mineros. I.N.G.pp 135-144.
- Reyes M. y Martiny B. 1993. Instructivo básico para el manejo del MEB JEOL-35C y el equipo de energía dispersiva Tracor Northern. Instituto de Geología. Departamento de Geoquímica. Pp 3-20.
- Schwertmann, U. y Barron, V. 1992. Fast and slow phosphate sorption by goethite-rich natural materials. *Clays Clay Minerals* 40, 14-21.
- Simons, F. y Mapes, E. 1957. Geología y yacimientos minerales del Distrito Minero de Zimapán Hidalgo. Instituto Nacional de Investigaciones de Recursos Minerales. Vol. 40. Pp. 282.
- Villaseñor-Cabral, M. G.; Gómez-Caballero, J. A.; Medina de la Paz, J. L., y Lozano-Santa Cruz, R., 1987, Boulangerita de la Chimenea Las Ánimas, Zimapán, Hidalgo: Mineralogía y Metalogenia. *Bol. Min.* 3, pp. 1-30.
- Villaseñor -Cabral, M. G., Petersen, E. U., Avendaño-Cano Silvestra, Gómez-Caballero J. A., Sousa, Jorge, Reyes-Salas, A. M., 1996, Minerales del Grupo de la tetrahedrita en las minas Lomo de Toro y las Animas, Zimapán, Hidalgo: *Actas INAGEQ* 2, p. 129-134.
- Yta, M. y Moreno, R. 1997. La mineralización en los distritos mineros de Pachuca, Real del Monte y Zimapán, su papel en la evolución metalogenética del Estado de Hidalgo, México. I Convención sobre la Evolución Geológica de México, Pachuca Hidalgo.pp 74-84.

ANEXOS

ANEXO FOTOGRÁFICO.

JALES SAN MIGUEL



Foto 1. esfalerita oxidada, rodeada de pirita alterada a magnetita con la textura de alteración típica.

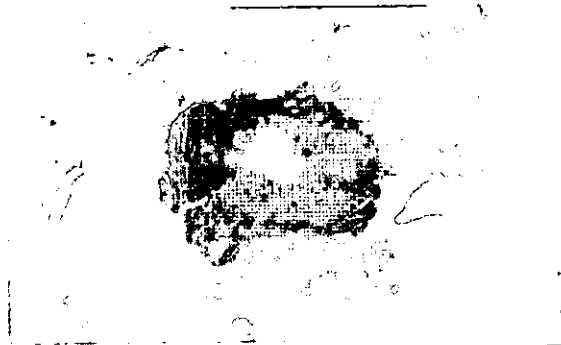


Foto 2. Nicoles cruzados de la esfalerita oxidada con la textura de alteración de la pirita



Foto3. Asociación de calcopirita, pirita y esfalerita con un cristal de arsenopirita en la parte inferior, todos los sulfuros relativamente sanos

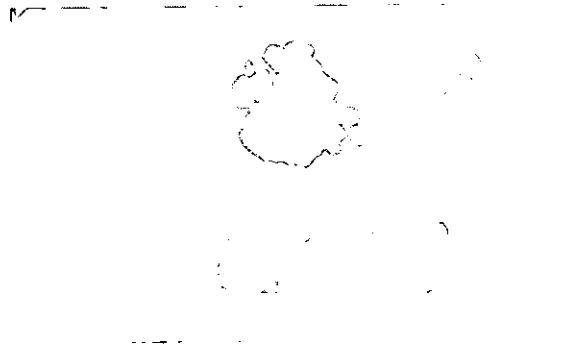


Foto 4. Cristales de pirita oxidadas a magnetita, asociadas con cuarzo, parte media del perfil, baja proporción de sulfuros.



Foto 5. Base del perfil, se observa una menor proporción de sulfuro y abundancia de cuarzo y calcita.

JALES SAN FRANCISCO

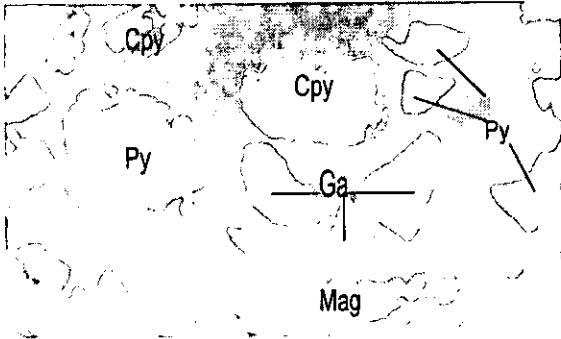


Foto 11. Parte superior del jal, se observa gran cantidad de sulfuros, una proporción mayor a los anteriores perfiles. Cristales de calcopirita, magnetita, galena y pirita.

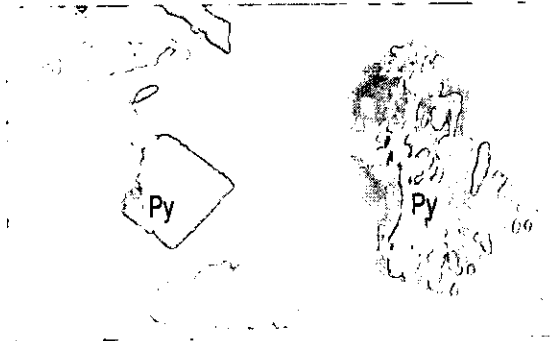


Foto 12. Pirita muy alterada a goetita junto a un cristal de pirita euedral sano, lo cual nos muestra la poca alteración en algunas zonas de este jal.

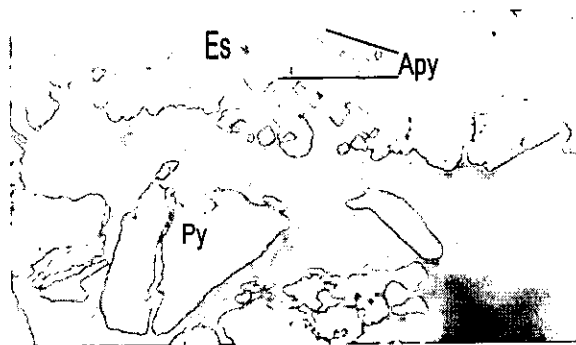


Foto 13. Arsenopirita sana con su típica forma rómbica, asociada a esfalerita, esto en la parte media del jal.

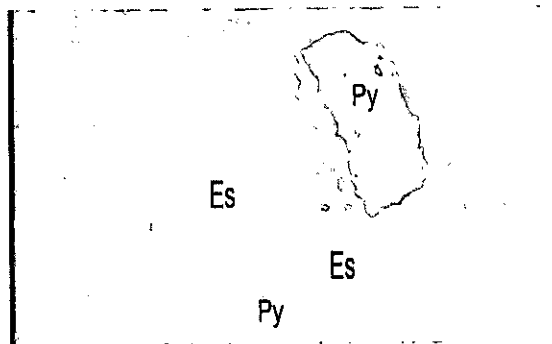
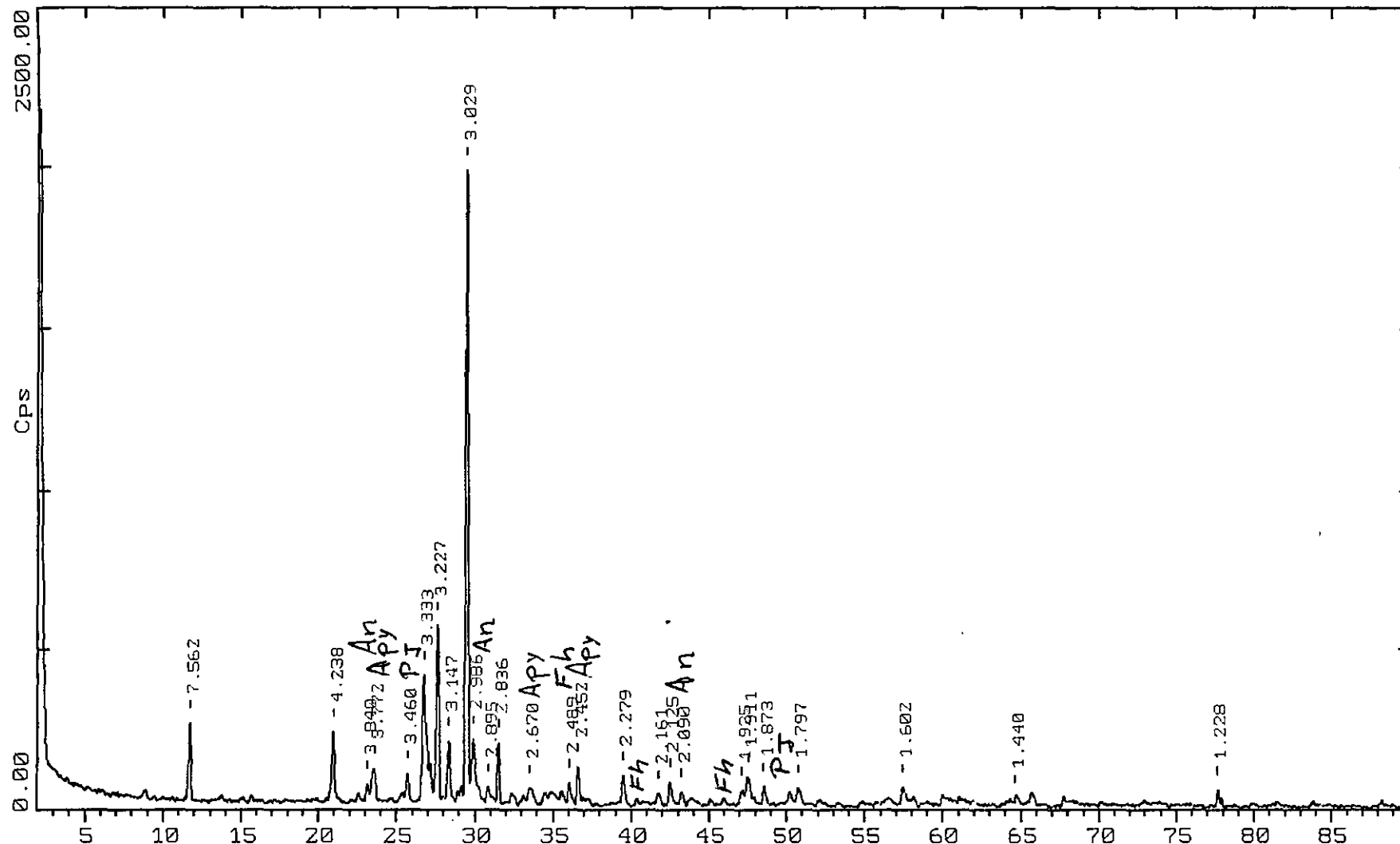


Foto 14. Cristal de pirita alterandose a magnetita, en la parte media del jal, cristales pirita asociados a esfalerita relativamente sanos.

Z-Theta - Scale

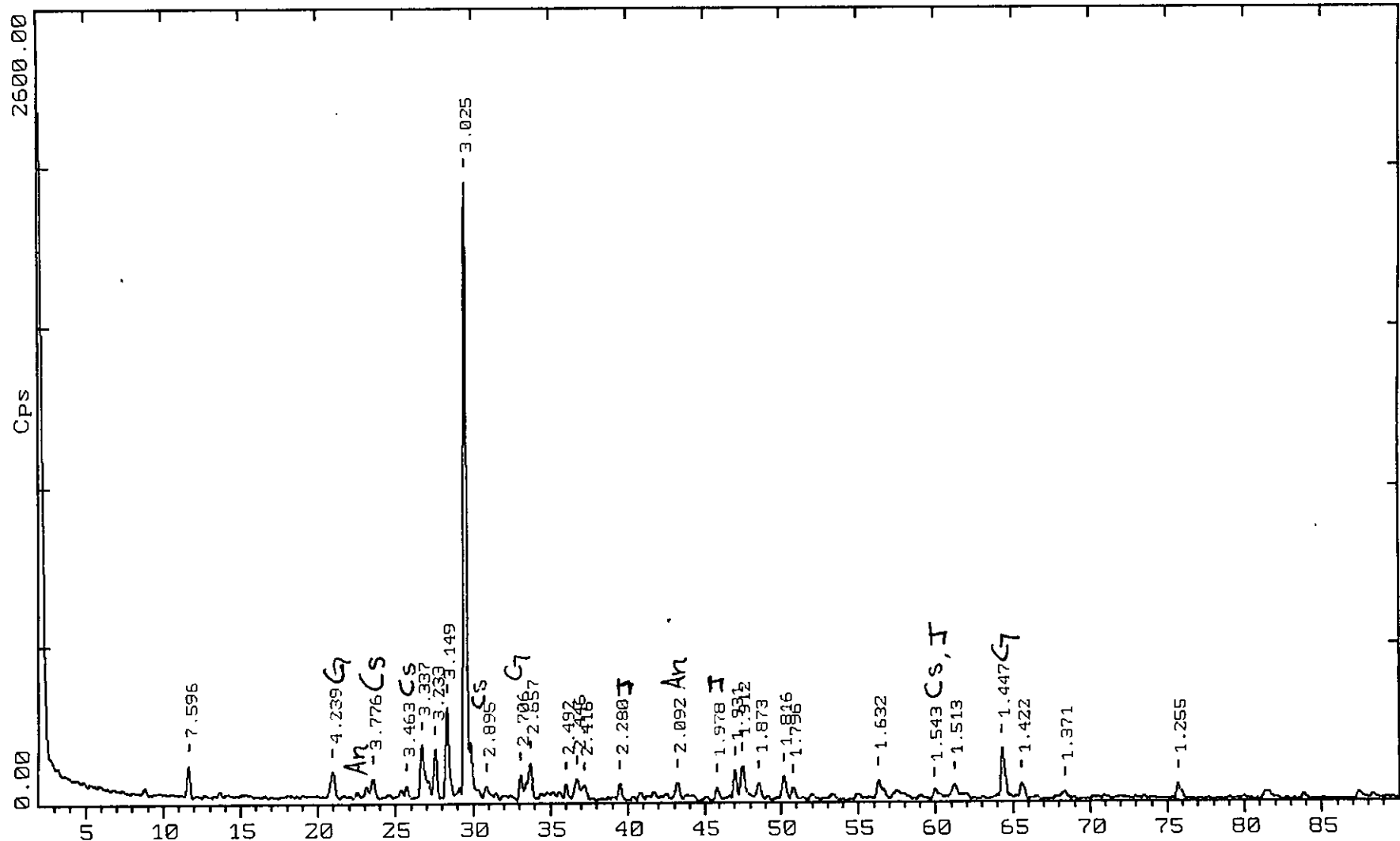
FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. MEXICO 08-Nov-2000 12:17



C:\USERDATA\JZ-1-00.RAW JZ-1-00 10CM 35K30M 2,2,06 (CT: 0.3s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao)

Z-Theta - Scale

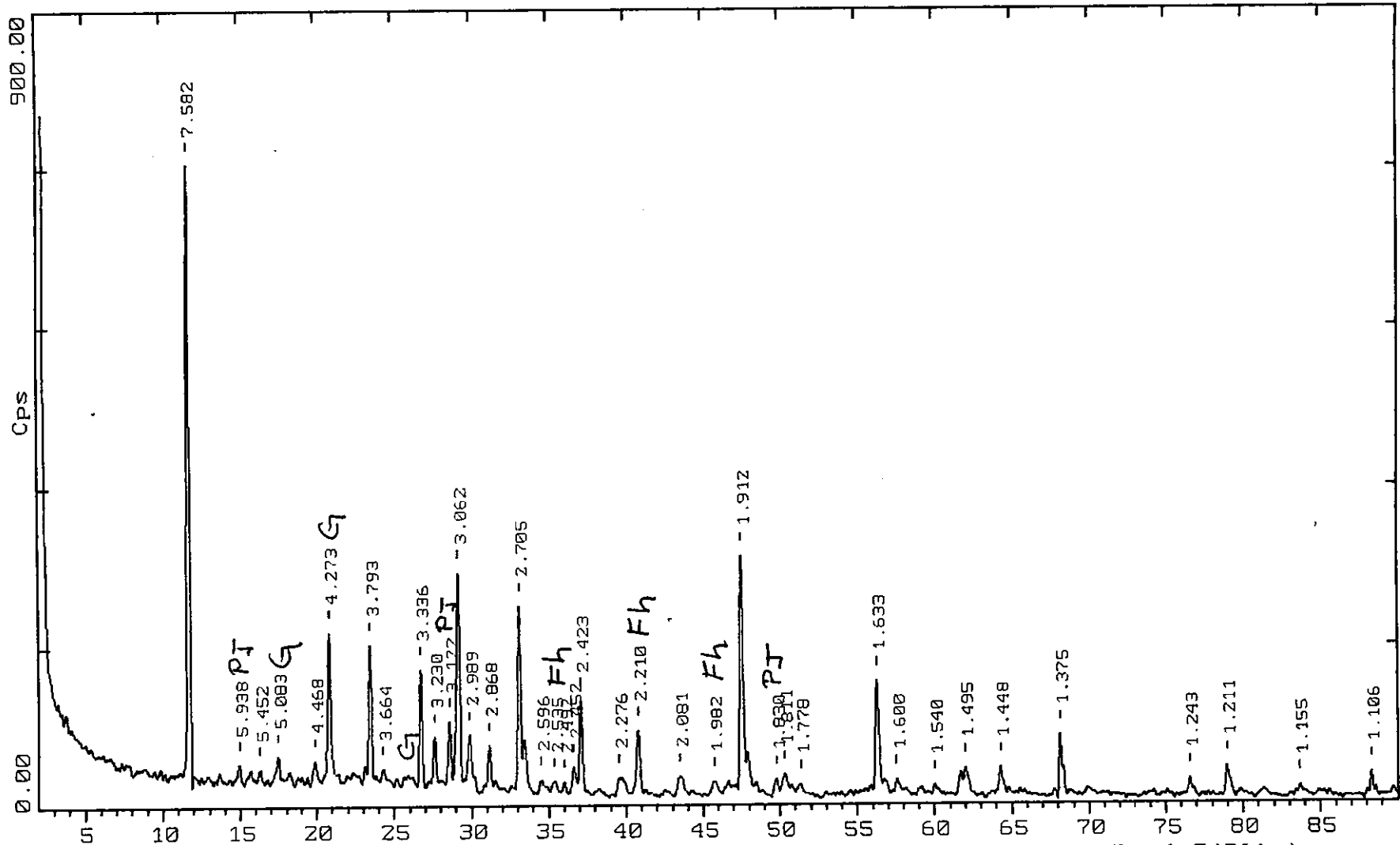
FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. MEXICO 24-Nov-2000 12:51



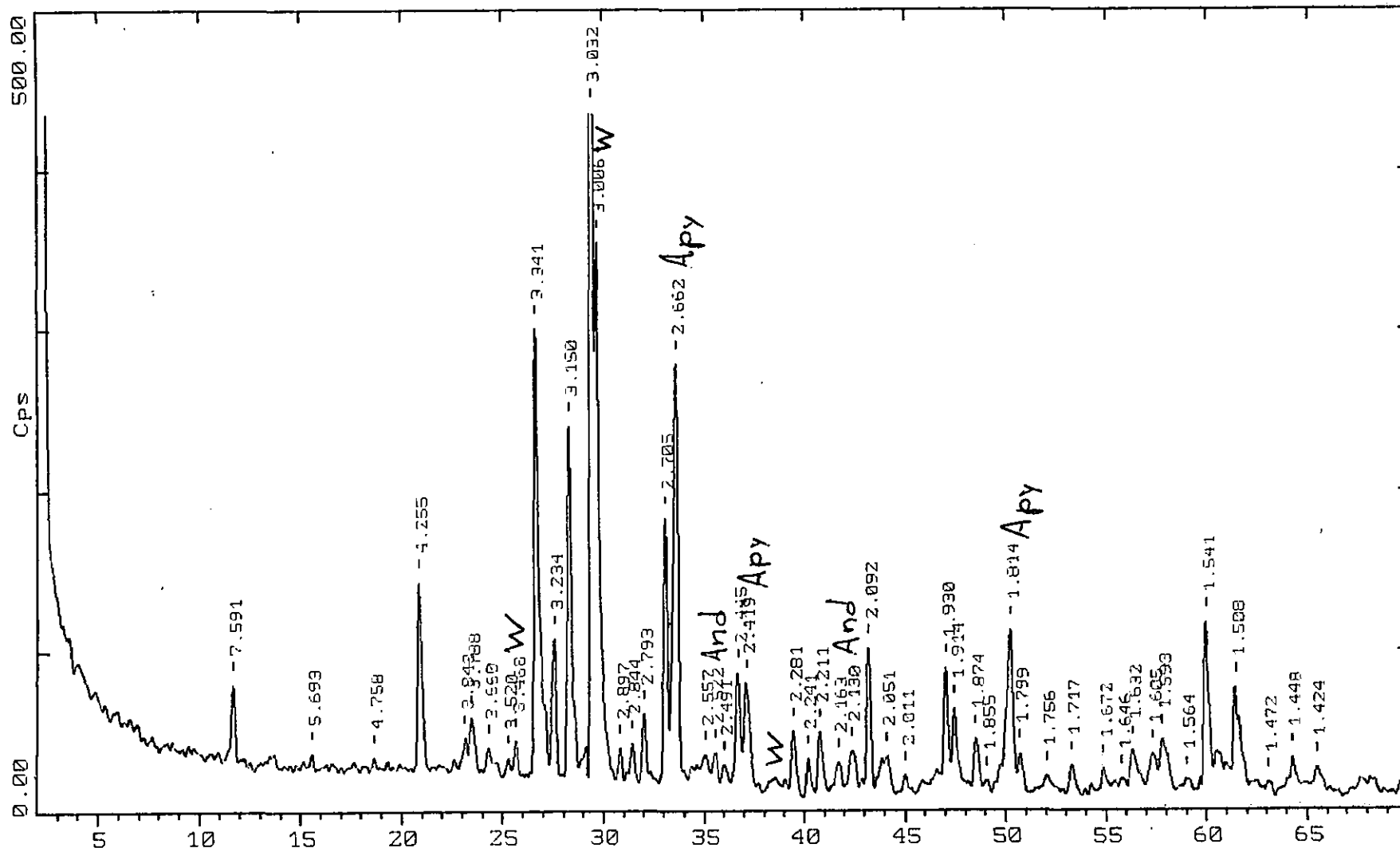
C:\USERDATA\JZ-7-00'.RAW JZ-7-00' 35K30M 2,2,06 (CT: 0.3s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao, TC : R

Z-Theta - Scale

FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. MEXICO 13-Nov-2000 15:04



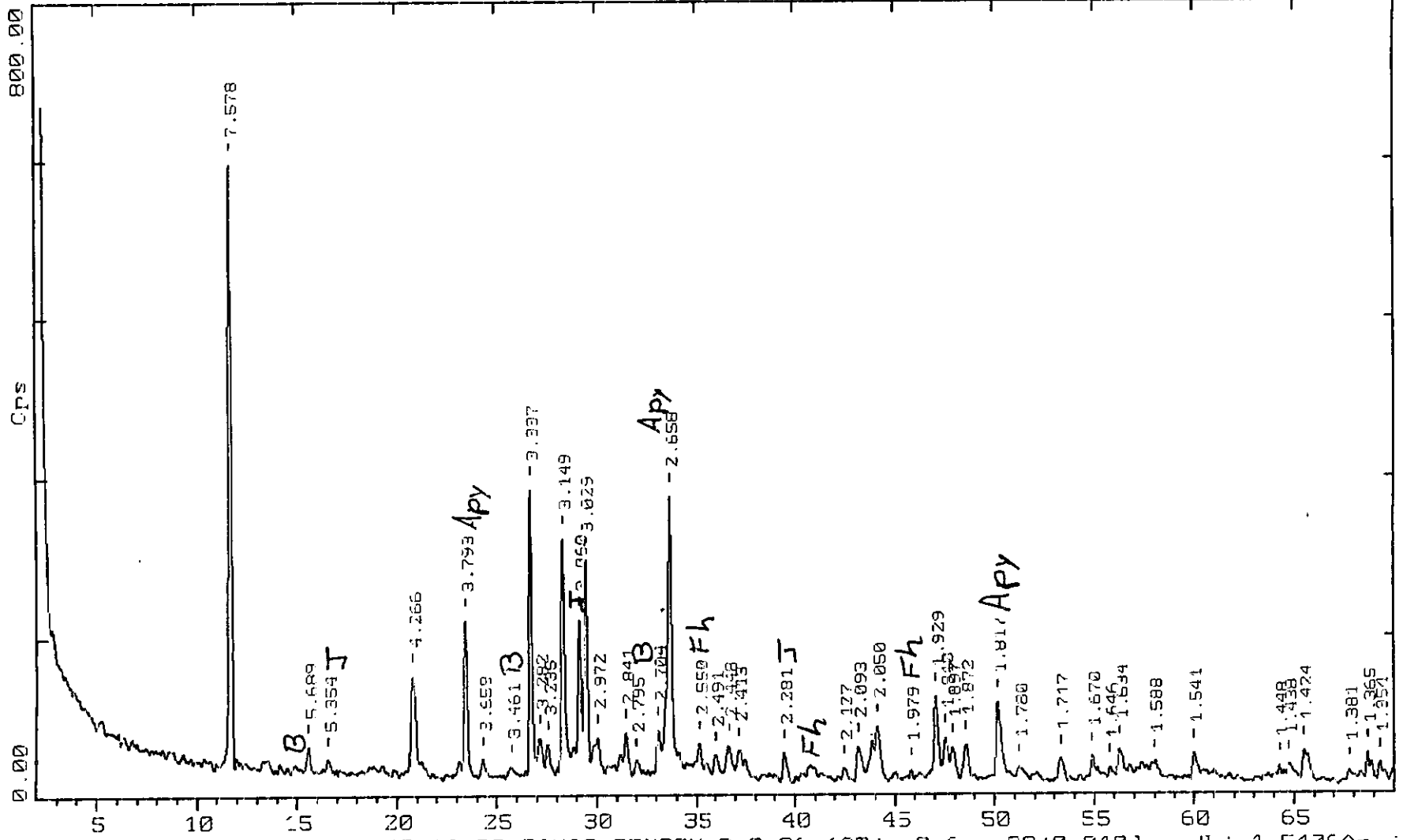
C:\USERDATA\JZ-11-00.RAW JZ-11-00 35K30M 2,2,06 (CT: 0.3s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao)



C:\USERDATA\JZ-14-00.RAW JZ-14-00 FINOS 35K30M 2,2,06 (CT: 0.6s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao,

2-Theta - Scale

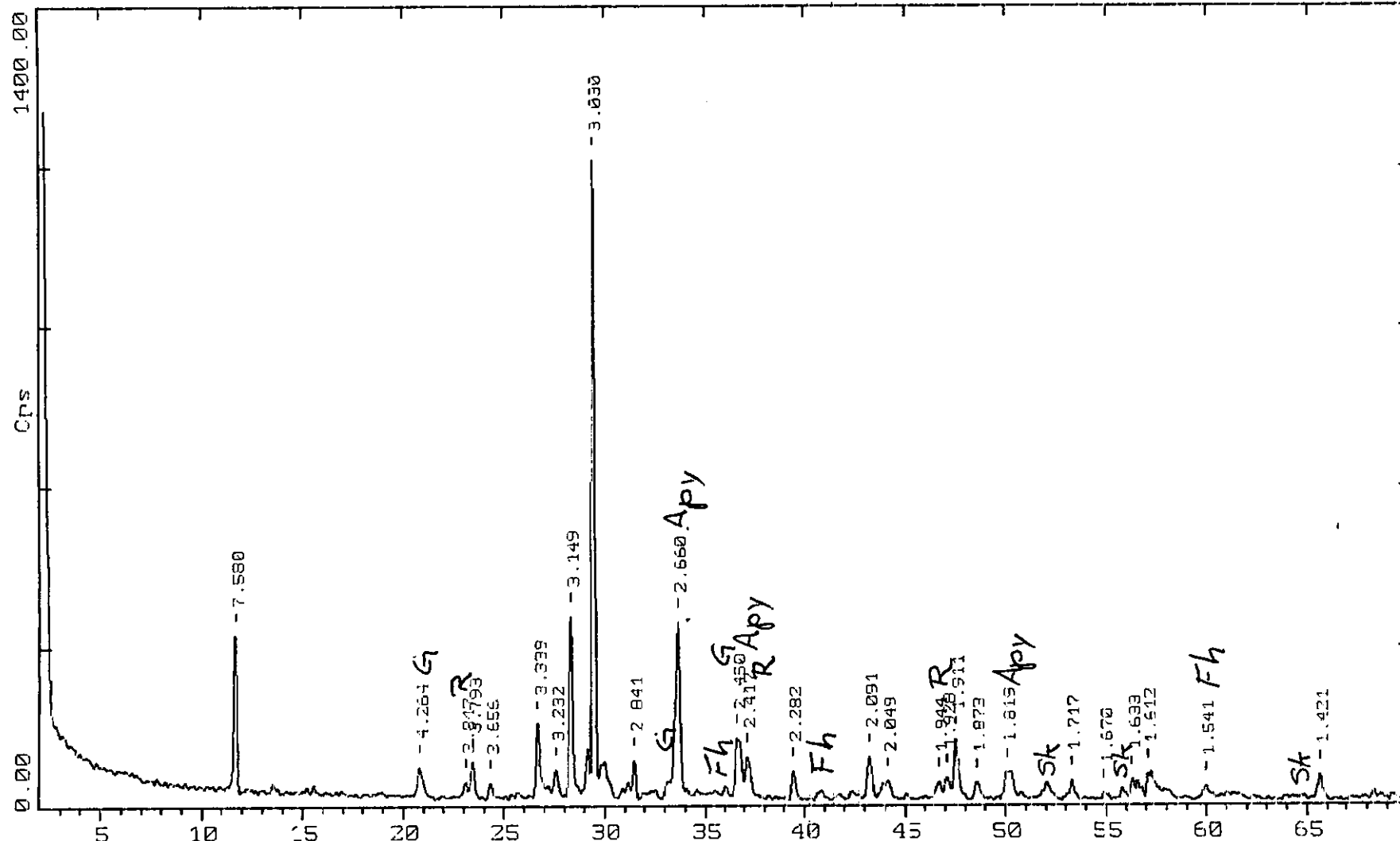
FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. MEXICO 31-Jan-2001 17:06



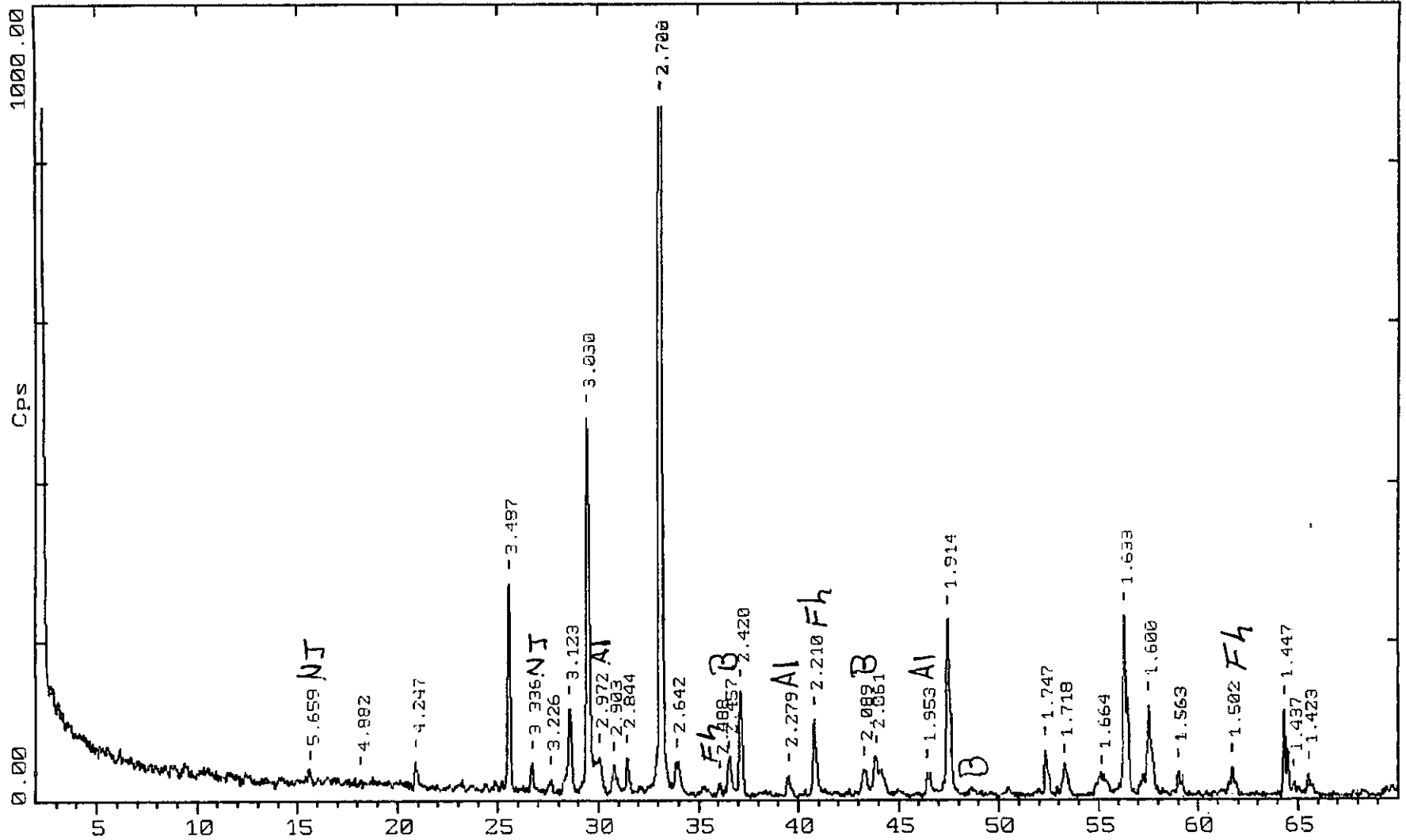
C:\USERDATA\JZ-16-00.RAW JZ-16-00 FIN03 35K30M 2,2,06 (CT: 0.5%, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao,

Z-Theta - Scale

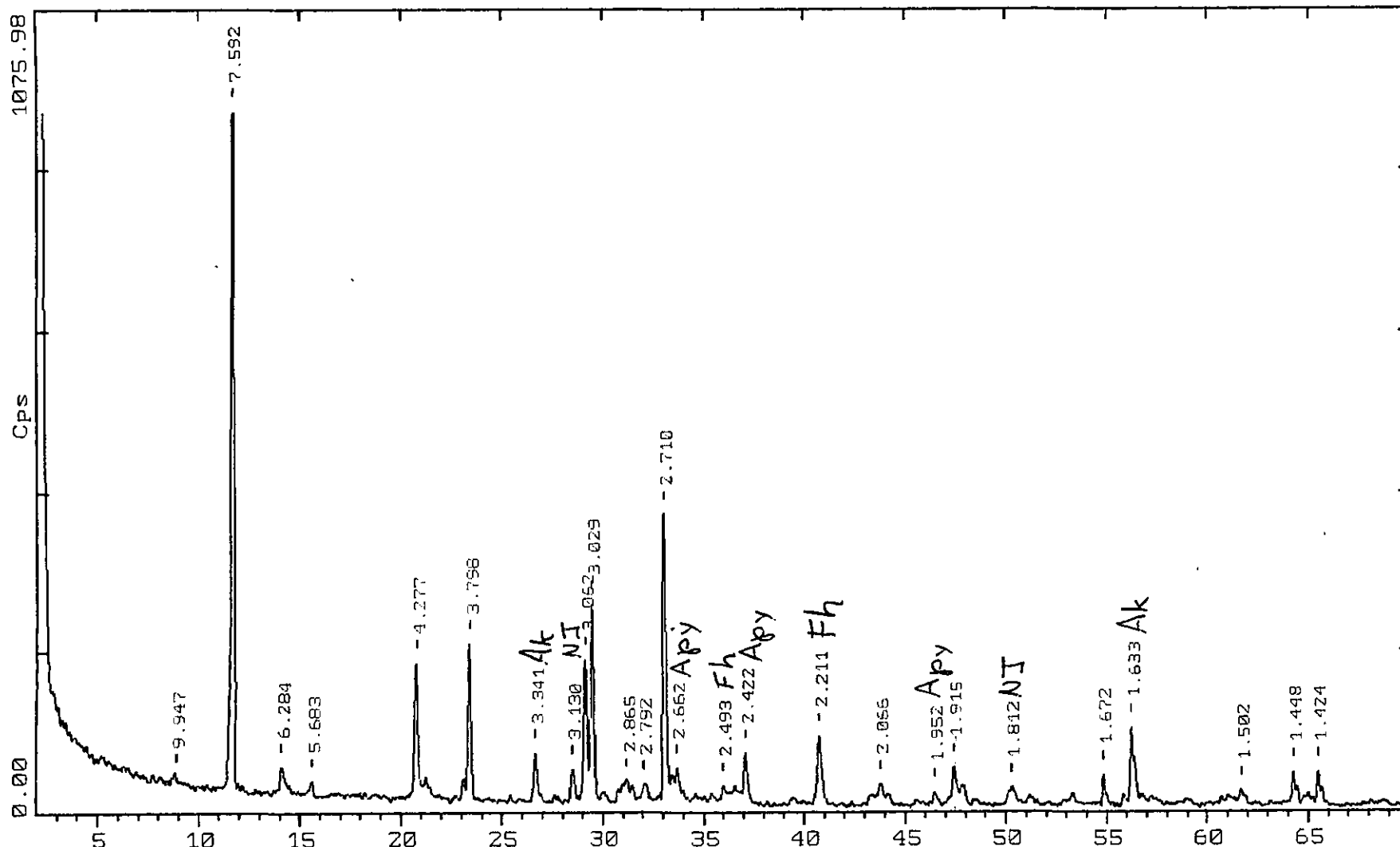
FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. MEXICO 31-Jan-2001 17:02



C:\USERDATA\JZ-18-00.RAW JZ-18-00 FINO3 35K30M 2,2,06 (CT: 0.5s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao,



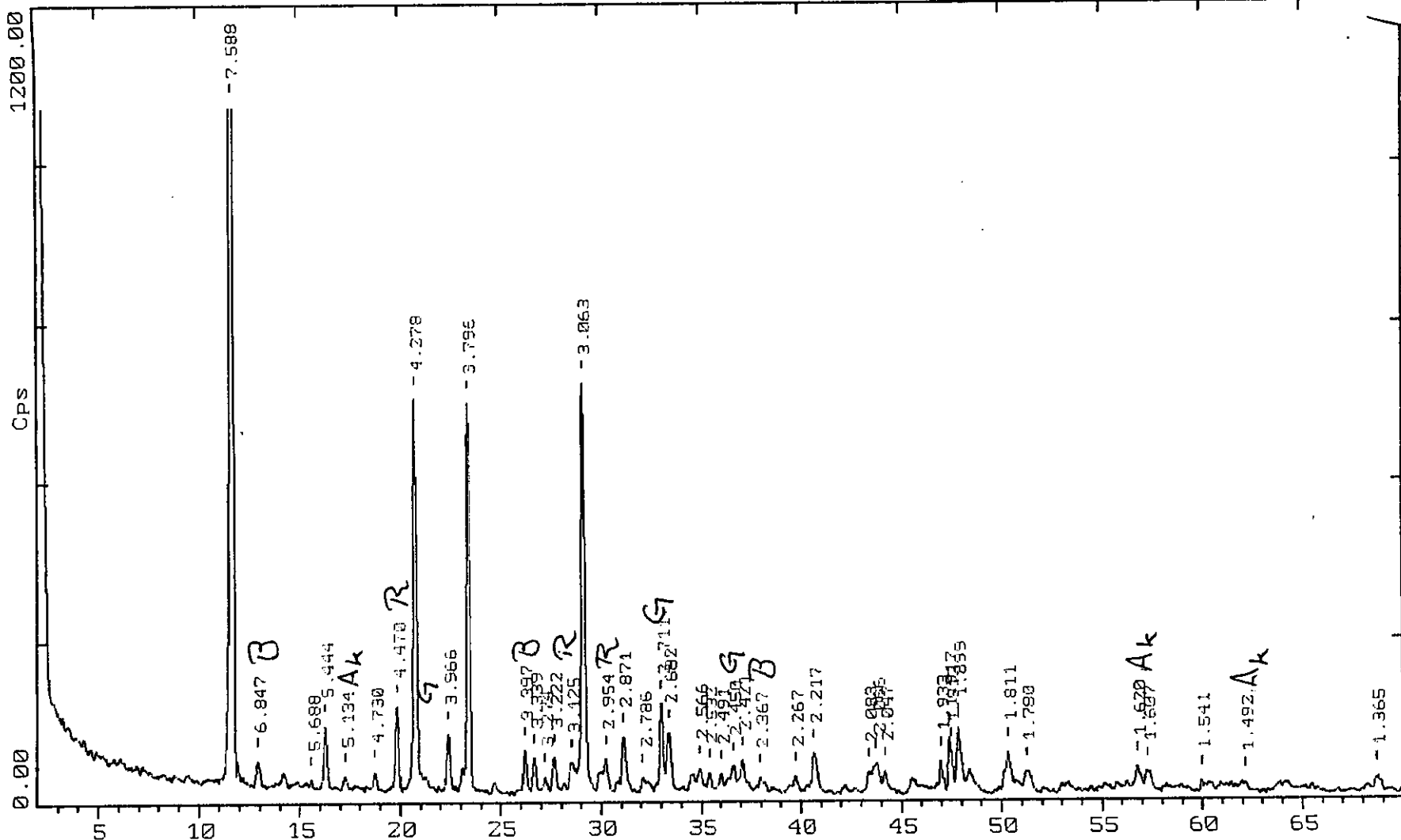
C:\USERDATA\JZ-22-01.RAW JZ-22-01 FINOS 35K30M 2,2,06 (CT: 0.6s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao,



C:\USERDATA\JZ-24-01.RAW JZ-24-01 FINOS 35K30M 2,2,06 (CT: 0.6s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao,

Z-Theta - Scale

FACULTAD DE QUIMICA, UNAM, MEXICO 14-Feb-2001 16:4



C:\USERDATA\JZ-26-01.RAW JZ-26-01 35K30M 2,2,06 (CT: 0.6s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao, TC : R