

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINERA Y METALÚRGICA
SECCIÓN DE POST GRADO**



**GEOQUÍMICA DE ARCILLAS
- CASOS PERUANOS -**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
EN GEOLOGIA**

ATILIO MENDOZA APOLAYA

**LIMA – PERÚ
2000**

DEDICATORIA

**A MIS PADRES POR ENSEÑARME A TRABAJAR, A MI
ABUELITA POR SEMBRAR LA FÉ EN MI MENTE; A MI
MI ESPOSA NELLI GUERRERO POR SU ENTUSIASMO Y
APOYO.**

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a nuestra Alma Mater por la formación recibida y a mis asesores Ing. Pedro Hugo Tumialán y Dr. Humberto Chirif Rivera por la orientaciones recibidas.

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	4
Abstract	5
Capítulo 1 : Generalidades	6
1.1. Introducción	6
1.2. Objetivos	7
1.3. Metodología de trabajo	7
1.4. Instrumentación para el estudio de arcillas utilizada en este trabajo	8
Capítulo 2 : Clasificación, características y propiedades de las arcillas	10
2.1. Clasificación de las arcillas	10
2.1.1. Arcillas Amorfas	11
2.1.2. Arcillas cristalinas de dos capas	11
2.1.3. Arcillas cristalinas de tres capas	13
2.1.4. Arcillas cristalinas regulares de capas mezcladas	15
2.1.5. Arcillas cristalinas de estructura en cadena	15
2.2. Características fundamentales de los diferentes tipos de arcillas	16
2.2.1. Arcillas Amorfas	16
2.2.2. Arcillas cristalinas de dos capas	17
2.2.3. Arcillas cristalinas de tres capas	25
2.2.4. Arcillas cristalinas regulares de capas mezcladas	43
2.2.5. Arcillas cristalinas de estructura en cadena	48
2.2.6. Minerales interestratificados	53
2.3. Propiedades físicas y químicas de arcillas	55
2.3.1. Plasticidad	55
2.3.2. Textura	57
2.3.3. Resistencia a la tensión de arcilla seca	58
2.3.4. Contracción	58
2.3.5. Porosidad	60
2.3.6. Gravedad específica	60
2.3.7. Color	61
2.3.8. Permeabilidad	61

2.3.9. Sorpción	62
2.3.10. Fusibilidad	62
2.3.11. Composición química	62
Capítulo 3: Génesis de las arcillas en la corteza terrestre	68
3.1. Arcillas residuales	68
3.1.1. Introducción	68
3.1.2. Arcillas residuales en suelos	75
3.1.3. Arcillas residuales en rocas silicatadas	78
3.1.4. Arcillas residuales por solubilización de rocas carbonatadas	82
3.1.5. Arcillas residuales por desintegración de lutitas	83
3.1.6. Lateritas	83
3.1.7. Forma de los depósitos residuales	84
3.2. Arcillas transportadas	85
3.2.1. Introducción	85
3.2.2. Arcillas marinas	90
3.2.3. Arcillas estuarinas	91
3.2.4. Arcillas de lagos	92
3.2.5. Arcillas de terrazas	93
3.2.6. Arcillas de delta	94
3.2.7. Arcillas transportadas y depositadas por glaciares	95
3.2.8. Arcillas eólicas	95
3.2.9. Arcillas de deposición química	96
3.2.10. Arcillas refractarias	96
3.2.11. Ambiente de deposición de arcillas transportadas	97
3.2.12. Asociaciones de minerales de arcillas y medios probables de deposición	99
3.3. Distribución de yacimientos de arcillas supérgenas activas del Perú	100
Capítulo 4: Arcillas de origen hidrotermal	119
4.1. Introducción	119
4.2. Aspectos experimentales en la formación de las arcillas hidrotermales	120
4.2.1. Sistema KASH	121
4.2.2. Sistema NASH	123

4.2.3. Sistema ASH	127
4.3. Ensamblajes mineralógicos de arcillas de alteración hidrotermal	132
4.4. Caso de arcillas hidrotermales en el Perú: Zona Ilabaya(Tacna)	134
4.4.1. Fisiografía	134
4.4.2. Estratigrafía	140
4.4.3. Alteraciones hidrotermales	140
4.4.4. Zonamiento hidrotermal	146
4.4.5. Anomalías geoquímicas de Al_2O_3 soluble	146
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	148
5.1. Conclusiones respecto a aspectos geoquímicos	148
5.2. Conclusiones respecto a yacimientos de arcillas	152
5.3. Conclusiones respecto a aplicaciones multidisciplinarias	154
5.4. Recomendaciones	156
 Bibliografía	 157
 Anexo 1. Relación de yacimientos de arcillas activos del Perú	 159

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto establecer una metodología de investigación geoquímica de arcillas del país en base a muestras provenientes de diferentes yacimientos, zonas de exploración de metales bases y preciosos, áreas para expansión agrícola y zonas para construcción de obras civiles.

Los trabajos sistemáticos han permitido determinar la distribución de elementos y fases utilizando métodos espectrográficos y de difracción de rayos X complementado por métodos de microscopía polarizante, análisis térmico diferencial y absorción atómica principalmente.

Los resultados e interpretaciones están orientados principalmente a caracterizar arcillas, aspectos genéticos y sus ensambles mineralógicos para definir yacimientos de arcillas y sus usos, establecer su comportamiento en obras civiles, agricultura y como guía para ubicar zonas o cuerpos mineralizados metálicos en el País.

ABSTRACT

The purpose of the present work is to set up methodological considerations for the geochemical research of clays in the country based upon a set of samples coming from minerals deposits, base and precious metals provinces, agricultural expansion lands, and areas for civil construction.

A systematic effort has enabled the identification of the distribution pattern of elements y phases, using spectrographic and x-ray diffractometry techniques, complemented by polarizing microscopy, differential thermal and atomic absorption methods.

The conclusions and their interpretations are primarily gave towards the characterization of clays, genesis and mineralogical assembly for aiming to outline clays deposits and their potential utilization, civil infrastructure and agricultural relevance. The results can also be advantageously used as a tool for the identification of areas and metallic ore bodies in the country.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El término arcilla denota a una sustancia mineral en estado finamente dividido por medios naturales o por molienda que al ser mezclada con determinada cantidad de agua desarrolla plasticidad, pudiendo ser moldeada y retener su forma después del secado.

Puede considerarse dos micrones como el límite superior de su tamaño. Constituidos principalmente por sílice, alúmina y agua con cantidades variables de magnesio, hierro, calcio, sodio, potasio, titanio, manganeso, vanadio, zinc, etc.

Las arcillas generalmente consisten en un ensamble de varios minerales, predominando una "arcilla base" acompañada de minerales comunes como cuarzo, feldespatos, micas, limonitas, calcita, yeso, hornblenda, ilmenita, sales alcalinas solubles, etc. junto con materia orgánica y agua.

En el año 1985 se instala en el Laboratorio de Espectrometría de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica un difractómetro de rayos X como parte del convenio con la RDA. Los resultados de las investigaciones realizadas con dicho instrumento (identificación y clasificación) fueron complementados con los resultados analíticos obtenidos con los demás instrumentos con que cuenta el Laboratorio de Espectrometría.

1.2 OBJETIVOS

Establecer las características geoquímicas de las arcillas del país, esto es, su distribución, sus aspectos genéticos y asociaciones geoquímicas, características necesarias para fines geológicos y aplicaciones multidisciplinarias.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Las muestras estudiadas provienen de algunas canteras de arcillas en desarrollo y/o exploración, de suelos para uso en proyectos de agronomía, suelos para desarrollo de obras civiles y muestras de alteraciones hidrotermales utilizadas como guías para ubicar yacimientos metálicos.

La preparación mecánica de las muestras consistió principalmente en una desagregación, tamizado, sedimentación con glicolación para especímenes orientados para difracción de rayos X. Además de pulverización para los análisis complementarios de identificación y cuantificación de elementos en algunos casos. Todo este trabajo se realizó previas observaciones macroscópicas y/o microscópicas

1.4 INSTRUMENTACIÓN PARA EL ESTUDIO DE ARCILLAS UTILIZADOS EN ESTE TRABAJO

El conocimiento de las rocas arcillosas puede ser parcial o total, dependiendo de los fines que se busca; para la investigación geoquímica es fundamental establecer la composición química y mineralógica.

Para el objetivo de este trabajo se han utilizado los siguientes instrumentos:

MICROSCOPIOS: Para reconocimiento macroscópico y microscópico de texturas y ensambles mineralógicos en su rango de tamaño de minerales detectables.

ESPECTRÓGRAFO DE EMISIÓN OPTICA : Para establecer distribuciones semicuantitativas y cuantitativas de multielementos catiónicos que forman las rocas arcillosas con límites de detección del orden de 0.001% (10 ppm).

DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X: Ha permitido establecer en forma semicuantitativa y cuantitativa las fases minerales principalmente del tipo arcillas; para lo cual se obtiene la fracción fina utilizando tamices y sedimentación, seguido en algunos casos de glicolación para definir arcillas de red expandible. La unidad Angstrom para distancias interatómicas y parámetros de red es representada por Å.

EQUIPO TÉRMICO DIFERENCIAL: Permite definir grupos de tipos de arcillas cuando estas son sometidas a calentamiento generando reacciones exotérmicas y endotérmicas características en un rango entre 0 a 800 °C.

ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA: utilizado en algunos casos para determinar metales bases (Cu, Pb, Zn) que han sufrido sorpción por las arcillas de suelos.

CAPÍTULO 2

CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS

Las estructuras atómicas de los minerales de arcillas se han determinado en considerable detalle, basado en generalizaciones de la estructura de las micas y minerales de capas relacionados; realizados por Maugin (1927, 1928, 1930), Pauling (1930), y W.L. Bragg (1932, 1937, 1938); lo que ha permitido su clasificación en base a sus unidades estructurales.

Dos unidades estructurales son fundamentales en la constitución de las redes cristalinas de los minerales de arcilla. Una unidad consiste en

dos hojas de oxígenos o hidróxilos; cerradamente empacados, en el cual átomos de aluminio, hierro o magnesio son ubicados en coordinación octaedral, de modo que ellos son equidistantes de seis oxígenos o hidróxilos (fig.1). La segunda unidad esta construida de tetraedros de sílice; en el que cada átomo de silicio es equidistante de cuatro oxígenos o hidróxilos si es necesario para balancear la carga de la estructura. Los grupos de sílice tetraedral son arreglados a formar un enmallado exagonal que se repite indefinidamente formando una hoja (fig.1).

En base a las unidades estructurales de las arcillas se realiza la siguiente clasificación:

2.1.1 ARCILLAS AMORFAS

Grupo de la alófana: $Al_2O_3 \cdot (1-2)SiO_2 \cdot nH_2O$

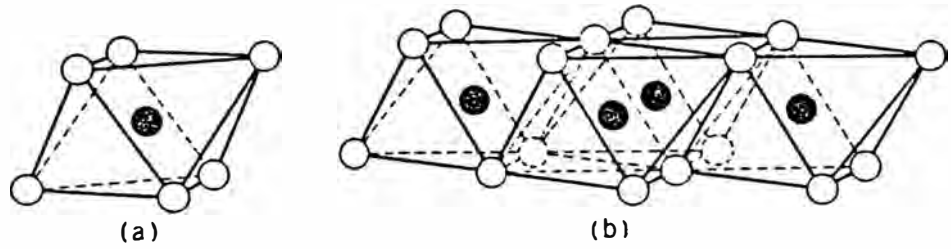
2.1.2 ARCILLAS CRISTALINAS DE DOS CAPAS

Estructuras en hojas formada de unidades conteniendo una capa de tetraedros de silicios y una capa de octaedros de aluminio.

1.- Equidimensional

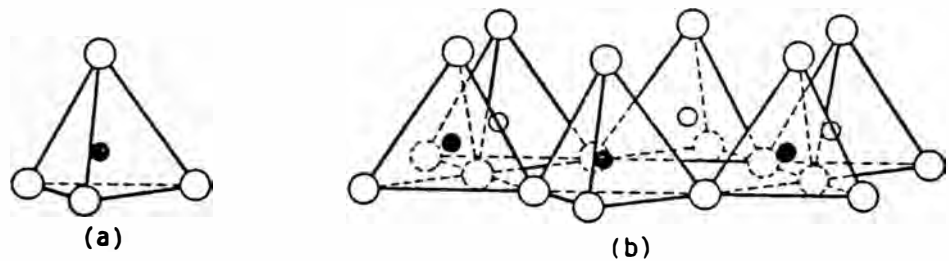
Grupo de la caolinita

UNIDADES ESTRUCTURALES DE LAS ARCILLAS



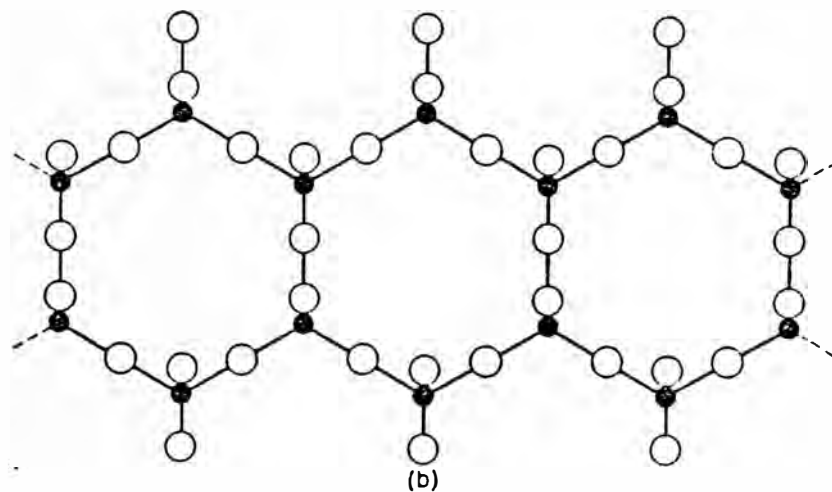
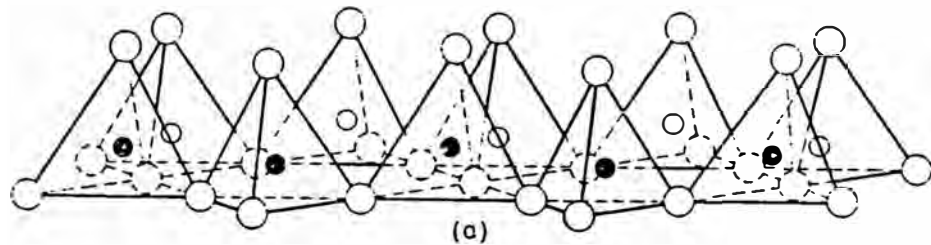
○ y ○ = HIDROXILOS ● ALUMINIO, MAGNESIO, FIERRO, etc.

(a) Unidad octaédral (b) Estructura octaédral



○ y ○ = OXIGENOS ○ y ● = SILICIOS

(a) Unidad tetraédral (b) Estructura tetraédral



(a) Cadena doble de Tetraedros de silicio.
(b) Red exagonal proyectado sobre el plano de la base de los Tetraedros.

Fig. 1

Caolinita	$[Al_2] Si_2 O_5 (OH)_4$
Nacrita	$[Al_2] Si_2 O_5 (OH)_4$
Dickita	$[Al_2] Si_2 O_5 (OH)_4$
Anauxita	$[Al_2] Si_3 O_7 (OH)_4$

2.- Elongado

Grupo de la Halloysita:

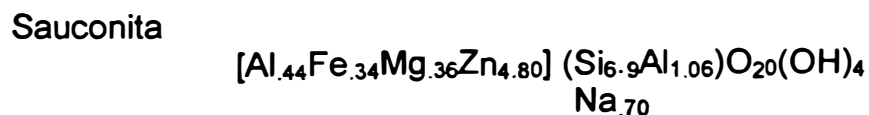
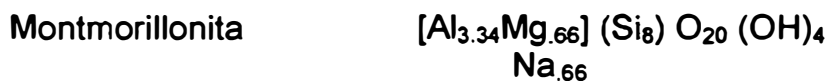
Halloysita anhidra	$[Al_4] Si_4 O_{10} (OH)_8$
Halloysita hidratada	$[Al_4] Si_4 O_{10} (OH)_8 \cdot 4H_2O$

2.1.3 ARCILLAS CRISTALINAS DE TRES CAPAS

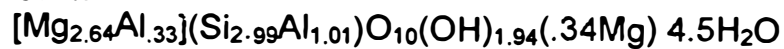
Estructuras en hojas compuestas de unidades conteniendo dos capas de tetraedros de silicio y una capa central dioctaedral o trioctaedral de aluminio.

1.- RED EXPANDIBLE:

a.- Equidimensional

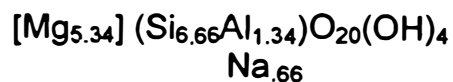
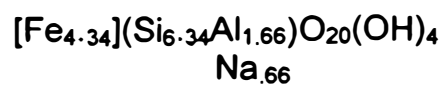
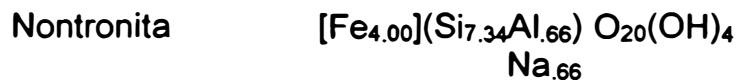


Vermiculita



Mg^{+2} y Ca^{+2} son intercambiables

b.- Elongado

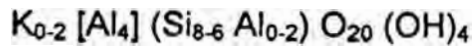


$\text{Na}_{.66}$ y $\text{Na}_{.70}$ corresponden a iones intercambiables.

2. RED NO EXPANDIBLE:

Grupo Illita:

La unidad estructural esta compuesta por dos hojas de tetraedros de silicio con una hoja octaedral de aluminio unidas por iones K^+ . Su formula general (varia entre la de una montmorillonita y muscovita) es:



2.1.4 ARCILLAS CRISTALINAS REGULARES DE CAPAS MEZCLADAS

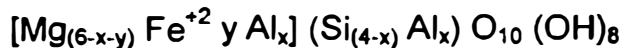
Estructuras formadas por capas alternadas de diferente tipo.

Grupo Clorita:

La estructura consiste de capas alternadas de mica y brucita.

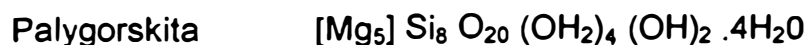
Las capas son continuas en las direcciones **a** y **b**, y apiladas en la dirección de **c**. Las capas como mica son trioctaedrales con la composición general $(OH)_4(Si,Al)_8(Mg,Fe)_6O_{20}$ y la capa como brucita tiene la composición general $(Mg,Al)_6(OH)_{12}$.

Una formula general para las cloritas Es:



2.1.5 ARCILLAS CRISTALINAS DE ESTRUCTURA EN CADENA

Cadenas como hornblenda constituidos por tetraedros de silicio unidos por grupos octaedrales de oxígenos e hidróxilos conteniendo átomos de aluminio de magnesio.



Sepiolita $[Mg_4] Si_6 O_{14} (OH)_4$

Mg^{+2} puede ser reemplazado por Al^{+3} y/o Fe^{+3}

2.2 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ARCILLAS

2.2.1 ARCILLAS AMORFAS

ALÓFANA

El nombre alófana ha sido usado en varias formas. Ross y Kerr (1943) lo utilizaron para designar minerales arcillosos amorfos frecuentemente asociados con la halloysita y consiste esencialmente de una solución sólida de sílice, alúmina y agua. C. Beutelspacher y Van Der Marel (1961) y revisado por Grim (1968) concluyeron que la alófana ocurre con una película sobre constituyentes cristalinos y está ampliamente dispersado en muchos suelos. Furkes y Fieldes (1968) encontraron alófana en suelos derivados de basaltos por acción glacial y también por transformación de cenizas volcánicas.

Su composición química varia, pero dentro de los límites necesarios para mantener la predominancia de los enlaces Si-O-Al teniendo como fórmula $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$. Brown (1955) utilizó el

nombre de hisingerita como un análogo de la alófana en el que el aluminio es sustituido por el hierro de manera que se tiene la fórmula modificada de $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Cuando la alófana es derivada de cenizas volcánicas ocurre con opalina $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ además de óxidos de hierro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y aluminio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) hidratados.

2.2.2 ARCILLA CRISTALINA DE DOS CAPA

CAOLINITA

Su estructura esta compuesta de una única capa de tetraedros de silicio y una capa de alúmina octaedral.

La fórmula estructural es $[\text{Al}_4]\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ y la composición teórica expresada en óxidos es 46.54 % SiO_2 , 39.50% Al_2O_3 y 13.96% H_2O . Los análisis de muchas muestras de caolinita indican que hay muy poca sustitución dentro de la red especialmente del hierro y titanio por el aluminio. El titanio ocurre en los caolines como un componente minoritario en forma de anatasa.

Los minerales del grupo de la caolinita están formadas de unidades de hojas que son continuas en las direcciones a y b, apiladas en la dirección c. La variación entre miembros de este grupo se

producen por la forma en que se apilan las hojas y posiblemente por la posición de los átomos de aluminio en las posibles posiciones abiertas de la capa octaedral.

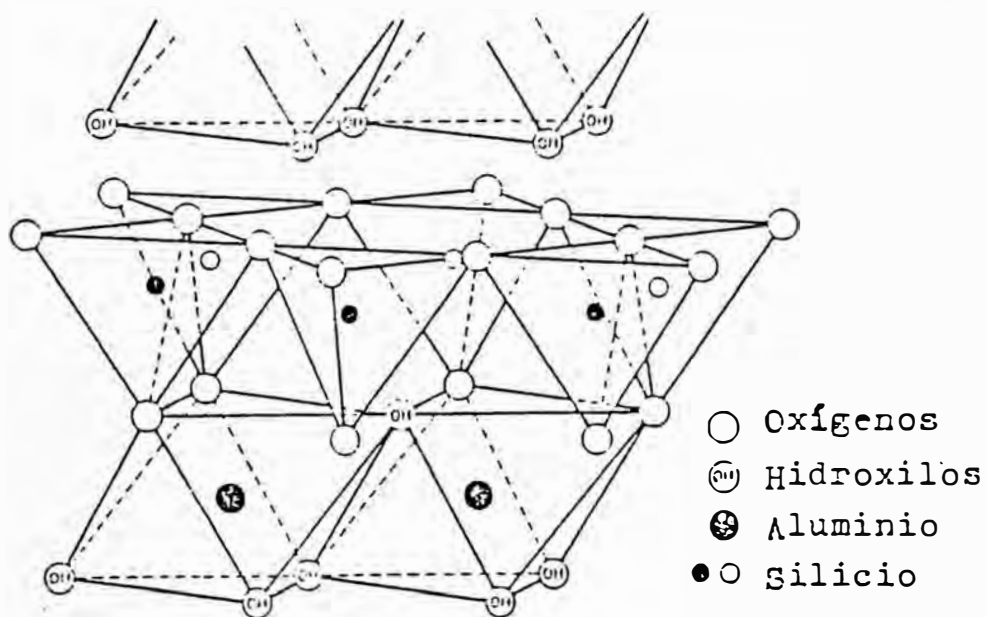
El mineral es triclínico y su diversa interpretación estructural refleja la dificultad de encontrar cristales apropiados semejantes. Otros minerales son estructuralmente similar a la caolinita, pero químicamente distintos. Esquema de su estructura en fig.2 y casos de ensamblajes mineralógicos en figuras 3, 4, 5 y 6.

NACRITA Y DICKITA

Tienen estructuras casi similares a la caolinita; siendo raro encontrarlo en materiales arcillosos.

Ellos están hechos de capas unitarias compuestas de una hoja de alúmina octaedral y una de sílice tetraedral como en la caolinita; pero difieren en el empaque de las capas y en la distribución de los iones de aluminio en las posiciones octaedrales.

ESTRUCTURA DE LA CAOLINITA



PARTE DE ESTRUCTURA DE LA HALLOYSITA $4H_2O$

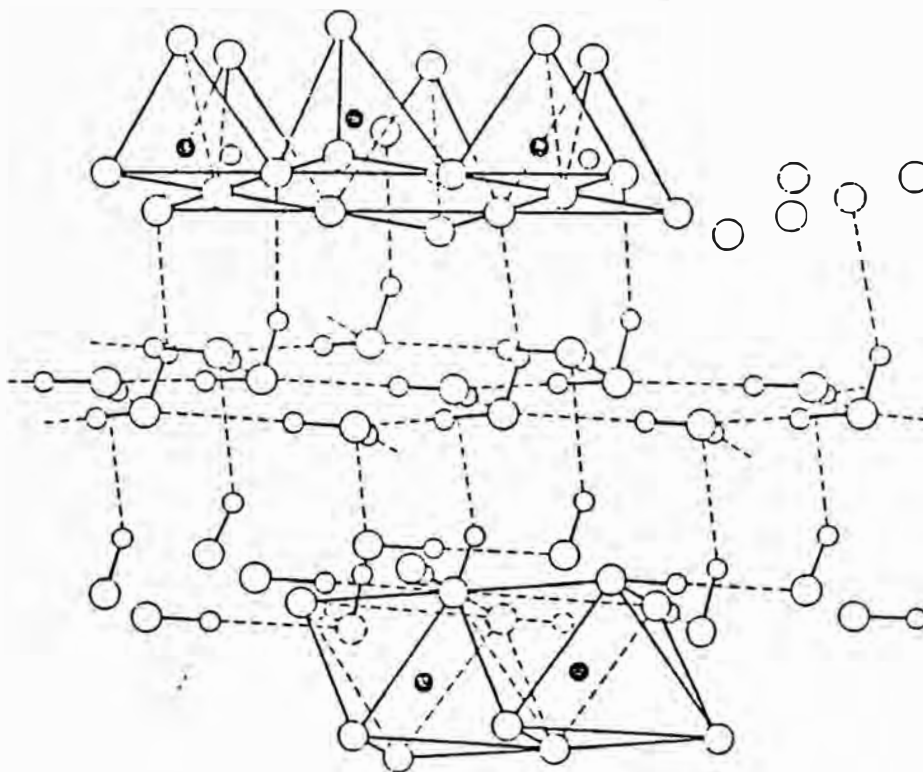
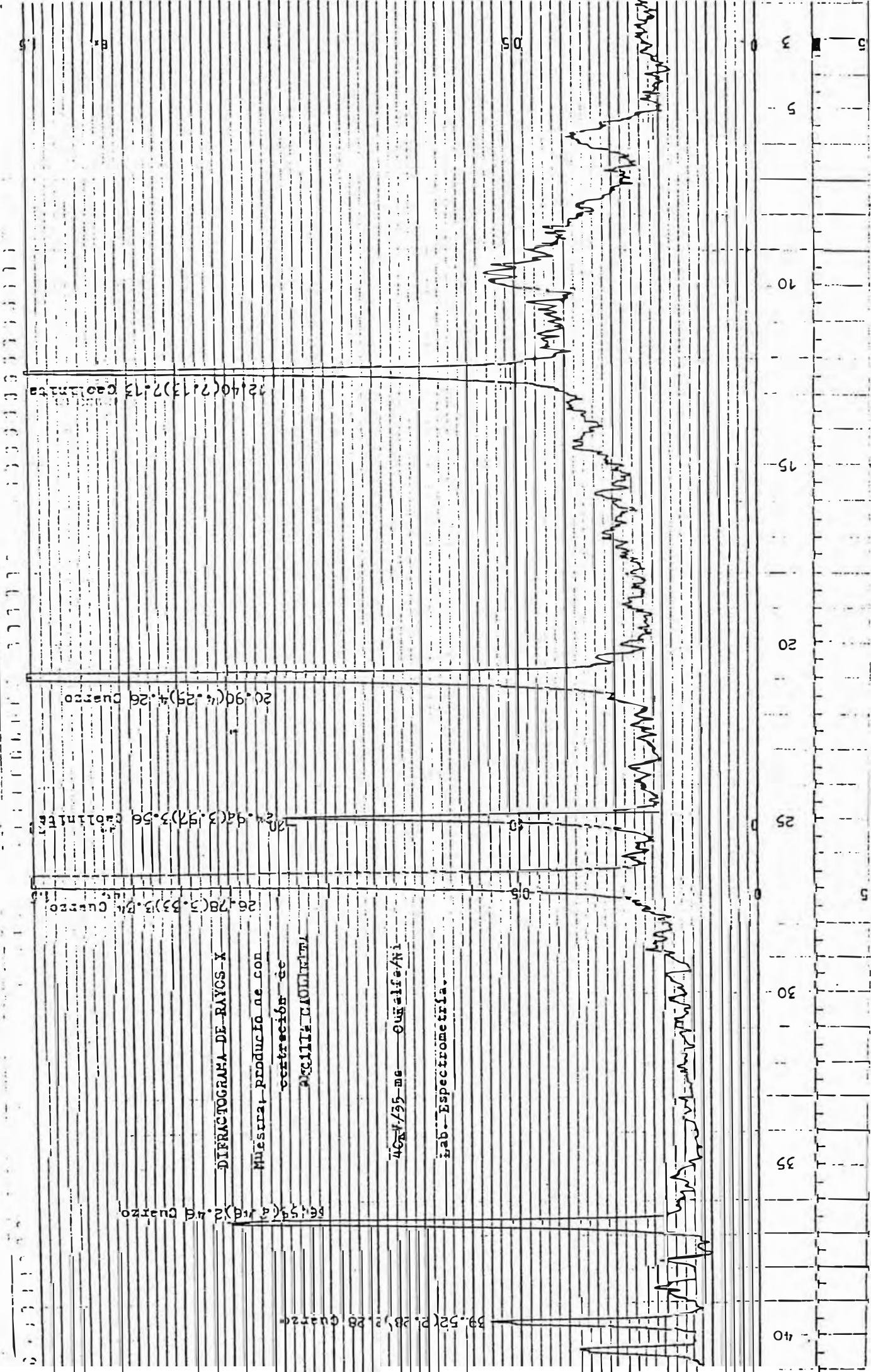


Fig. 2



DIFRACTOGRAFIA DE RAYOS X

Muestra: producción de
 extracción de
 ACELITE CAOLINITA

40kV/35 ma Cuñife/Al

Lab. Espectrometría.

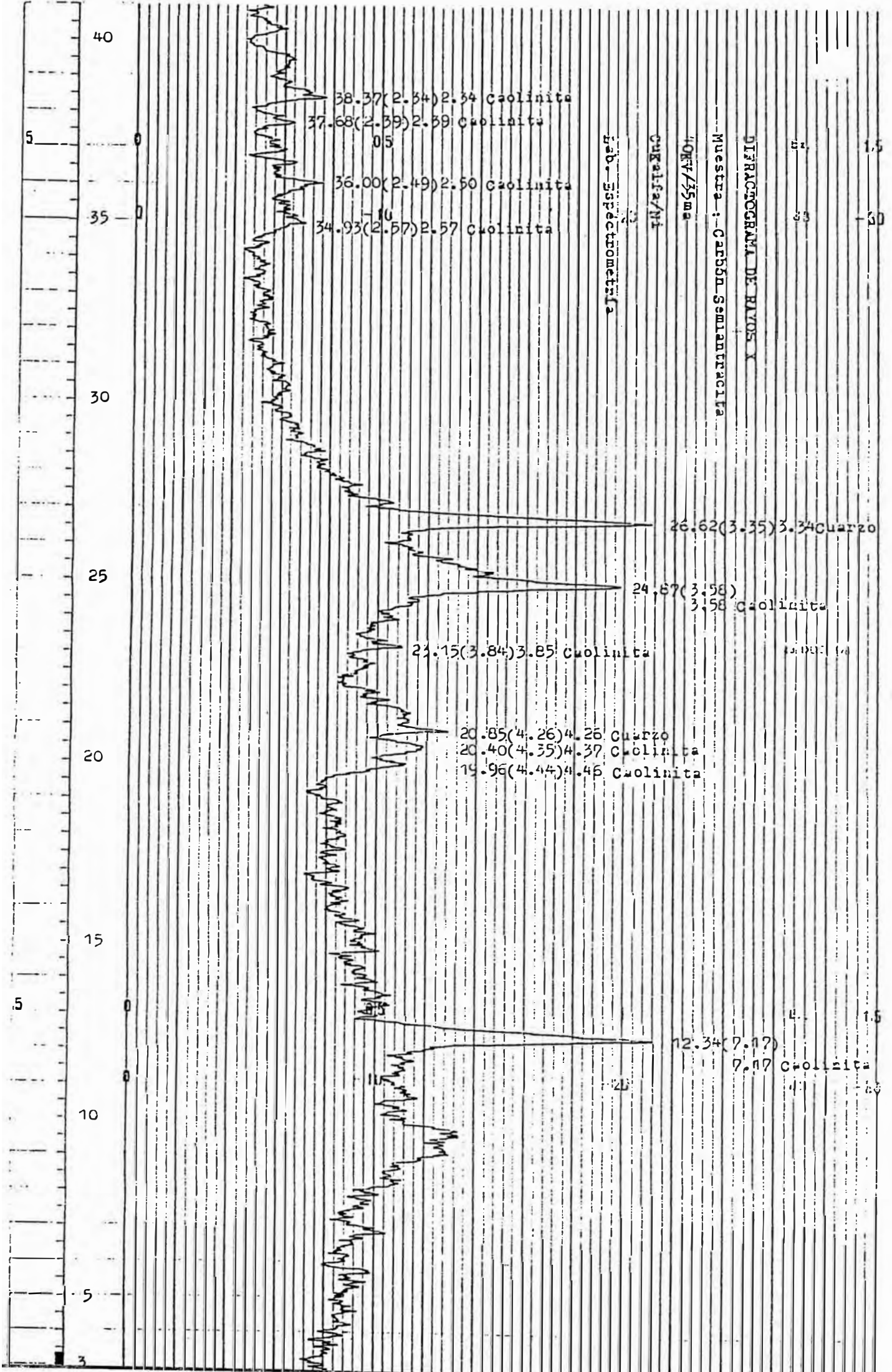
39.52 (2.28) Cuadro 2.28
 26.78 (3.33) Cuadro 3.33
 20.90 (4.26) Cuadro 4.26
 12.40 (7.13) Cuadro 7.13

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

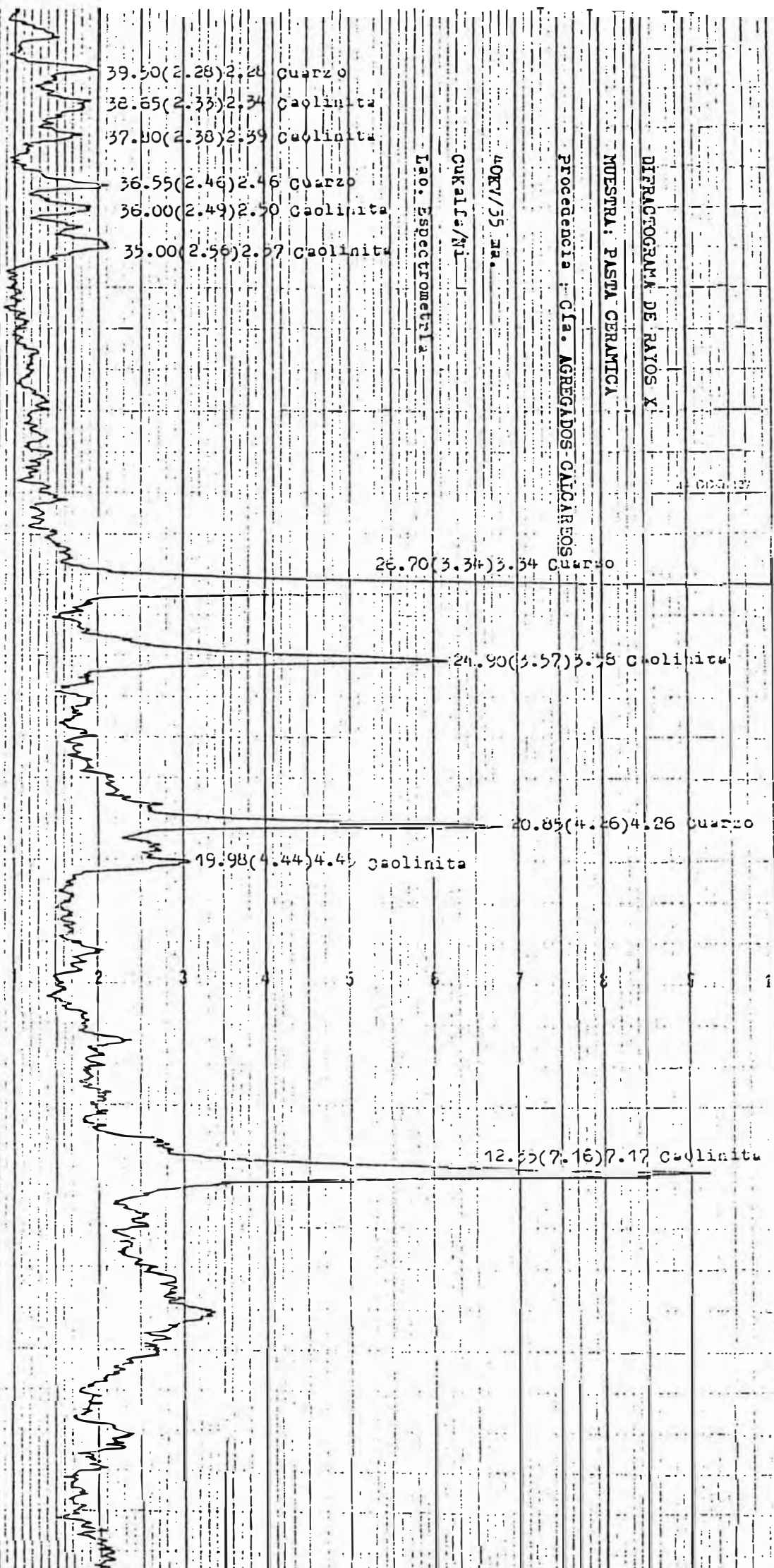
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 16.5 17 17.5 18 18.5 19 19.5 20 20.5 21 21.5 22 22.5 23 23.5 24 24.5 25 25.5 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29 29.5 30 30.5 31 31.5 32 32.5 33 33.5 34 34.5 35 35.5 36 36.5 37 37.5 38 38.5 39 39.5 40

21

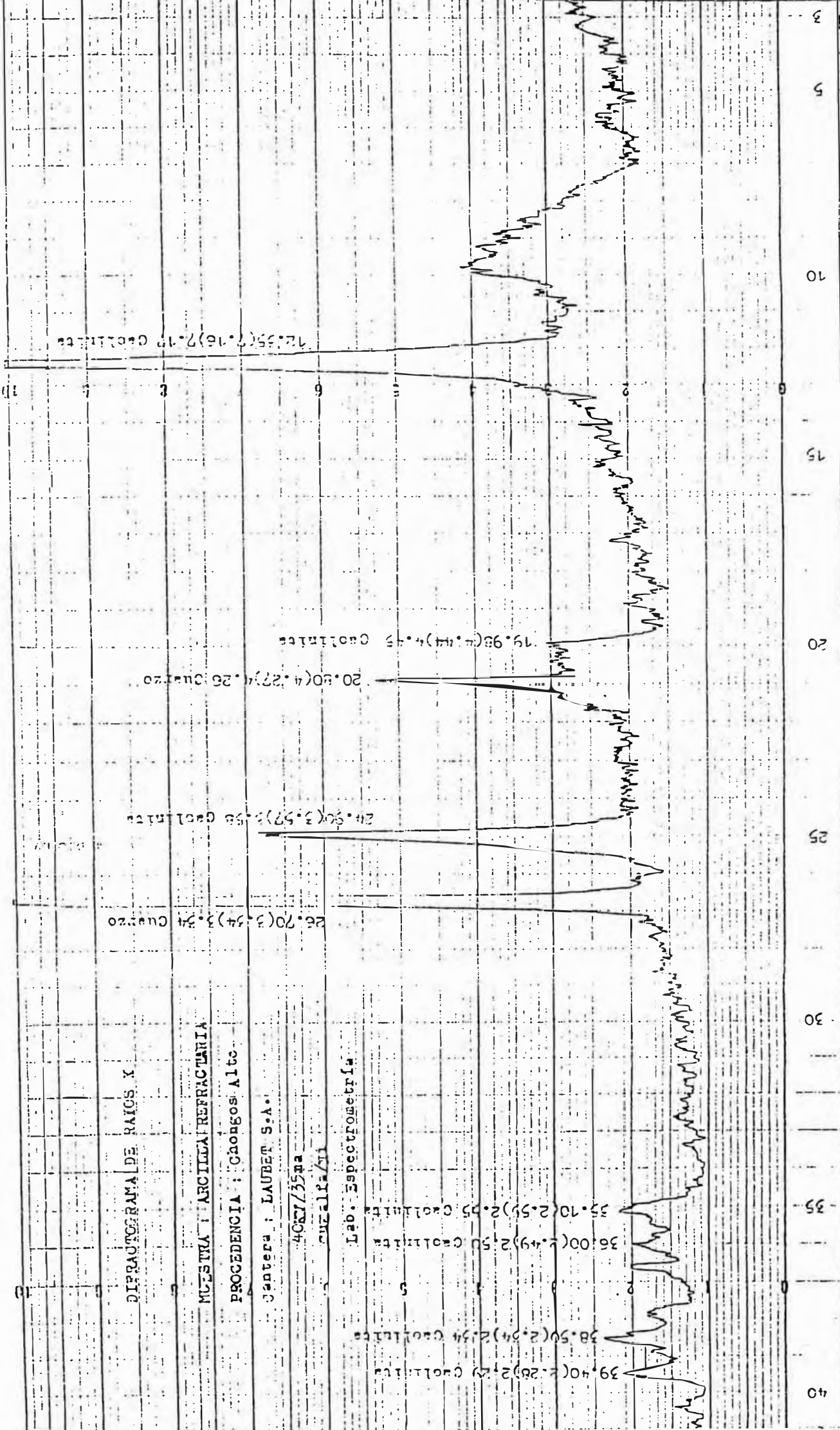
19



40
35
30
25
20
15
10
5
3



MOE/35 na.
CuKa1a/Ni
Lao. Espectrometria
Procedencia: Cia. AGRICADOS CALICAREOS
MUESTRA: PASTA CERAMICA
DIFRACTOGRAMA DE RAYOS X



DIFRACTOGRAMA DE RAÍOS X

MUESTRA : ARCILLA REFRACTARIA

PROCEDENCIA : Chongos Alto

Centro : LAUBET S.A.

4087/55na

curall/m

Lab. Espectrometría

ANAUXITA

Son minerales arcillosos del tipo de la caolinita que tienen un cociente molecular sílice/alúmina de aproximadamente 3. De acuerdo a Hendricks la estructura de la anauxita consiste de capas unitarias de caolinita entre el cual se ubican libremente unidades compuestas de hojas dobles de tetraedros de silicio.

GRUPO DE LA HALLOYSITA

Existen dos formas de halloysitas una con la composición $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ y otra con la composición $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. La última forma se deshidrata al primero irreversiblemente a baja temperatura. Hendricks demostró que las estructuras sugeridas no están de acuerdo con las intensidades observadas de las reflexiones basal y con la fácil deshidratación del mineral. El espaciamiento basal de la forma deshidratada es de alrededor 7.2\AA ó alrededor del espesor de la capa de la caolinita y el espaciamiento basal de la forma hidratada es alrededor de 10.1\AA . La diferencia de

2.9Å es el espesor de la única hoja de moléculas de agua.

Esquema de su estructura de fig.2.

2.2.3 ARCILLAS CRISTALINAS DE TRES CAPAS

1. RED EXPANDIBLE:

MONTMORILLONITA

El nombre de montmorillonita era propuesto por Damour y Salvetat (1847) para un material arcilloso para el cual ellos daban el siguiente análisis químico:

SiO ₂	.....	49.40 %
Al ₂ O ₃	.....	19.70 %
Fe ₂ O ₃	.....	.80 %
MgO	.....	.27 %
CaO	.....	1.50 %
Na ₂ O + K ₂ O	.....	1.50 %
H ₂ O	.....	<u>25.67 %</u>
		98.84 %

Los minerales del grupo de la montmorillonita han sido reconocidos como una serie. Los estudios por difracción de rayos X han indicado los minerales que pueden ser asignados al grupo de la montmorillonita, y un adecuado número de análisis químico es ahora disponible para demostrar los probables límites de variación.

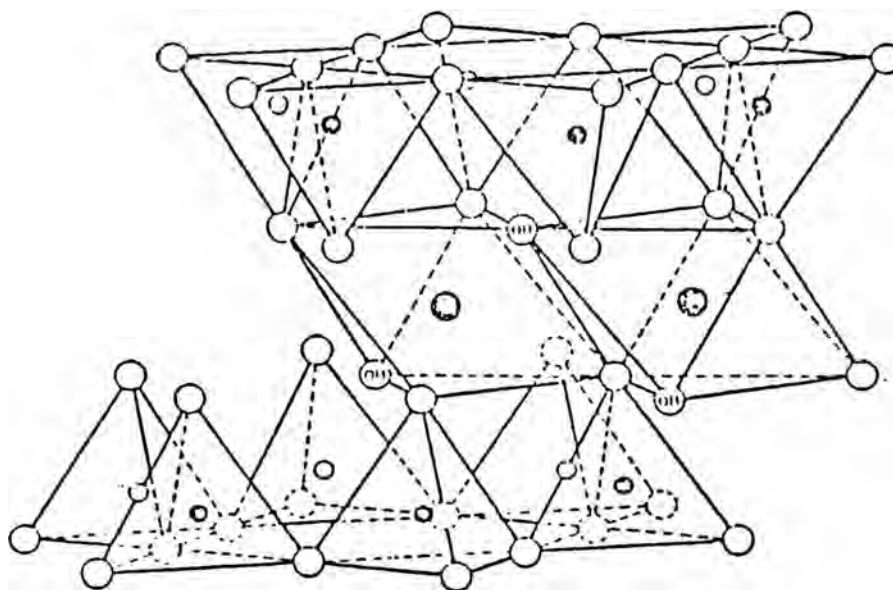
La montmorillonita típica ha sido asumida a ser compuesta solamente de Al_2O_3 , SiO_2 y H_2O ; la composición química ha sido dada por Dana (1892) como $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, una fórmula ampliamente aceptada como representando el miembro aluminoso final. Sin embargo estudios preliminares por Ross y Shannon han indicado la presencia casi invariable de cantidades esenciales de MgO y CaO , o mas raramente de Na_2O . Los análisis realizados en este trabajo confirman el carácter esencial del MgO y de bases reemplazables Na^+ , Ca^{+2} , etc. La anterior fórmula corresponde también a la pirofilita, un mineral sin agua entre las capas o bases reemplazables. Es visto evidente que las diferencias en las propiedades físicas entre la montmorillonita y pirofilita son un resultado de las bases que caracterizan al grupo de la montmorillonita, pero que son ausentes en la pirofilita. Las redes cristalinas de los dos minerales son similares, constituyendo el MgO la aparente marcada diferencia.

Las bases Al^{+3} , Fe^{+3} , Cr^{+3} , Fe^{+2} , Mn^{+3} , Mn^{+2} , Mg^{+2} , Ni^{+2} , y Li^{+1} que ocurren en forma natural en las arcillas del grupo de la montmorillonita, son esencialmente no reemplazable y claramente

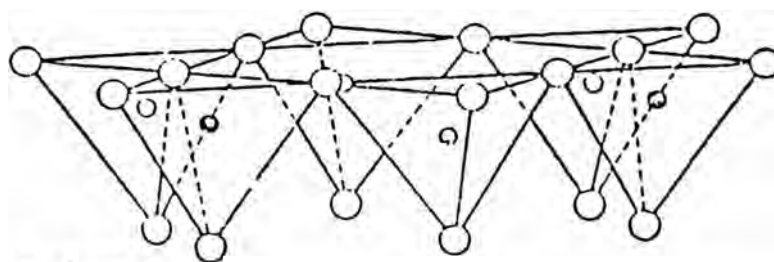
forman parte de la red cristalina; Ca y Na por otro lado y quizás cantidades menores de otras bases son en general reemplazables. Las investigaciones realizadas demuestran que estas bases reemplazables ocupan una posición entre las capas de silicatos donde ellos son asociados con el agua intercapas. Parte de difractogramas mostrando el efecto de red expandible se da en la Fig. 8.

Estudios por rayos X demuestran que como las micas los minerales del grupo de la montmorillonita son hechos de capas de silicatos formado de hojas dobles de grupos tetraedrales de Si-O unidos por grupos octaedrales de Al-O-OH; su estructura se muestra en la Fig.7. El hecho esencial de tal red en adición a sus capas características, es la constancia de la estructura de trabajo del O-OH. En esta estructura para cualquier doce iones ordenados como $10[\text{O}^{-2}] + 2[(\text{OH})^{-1}]$, existen cuatro posiciones tetraedrales.

ESTRUCTURA DE LA MONTMORILLONITA

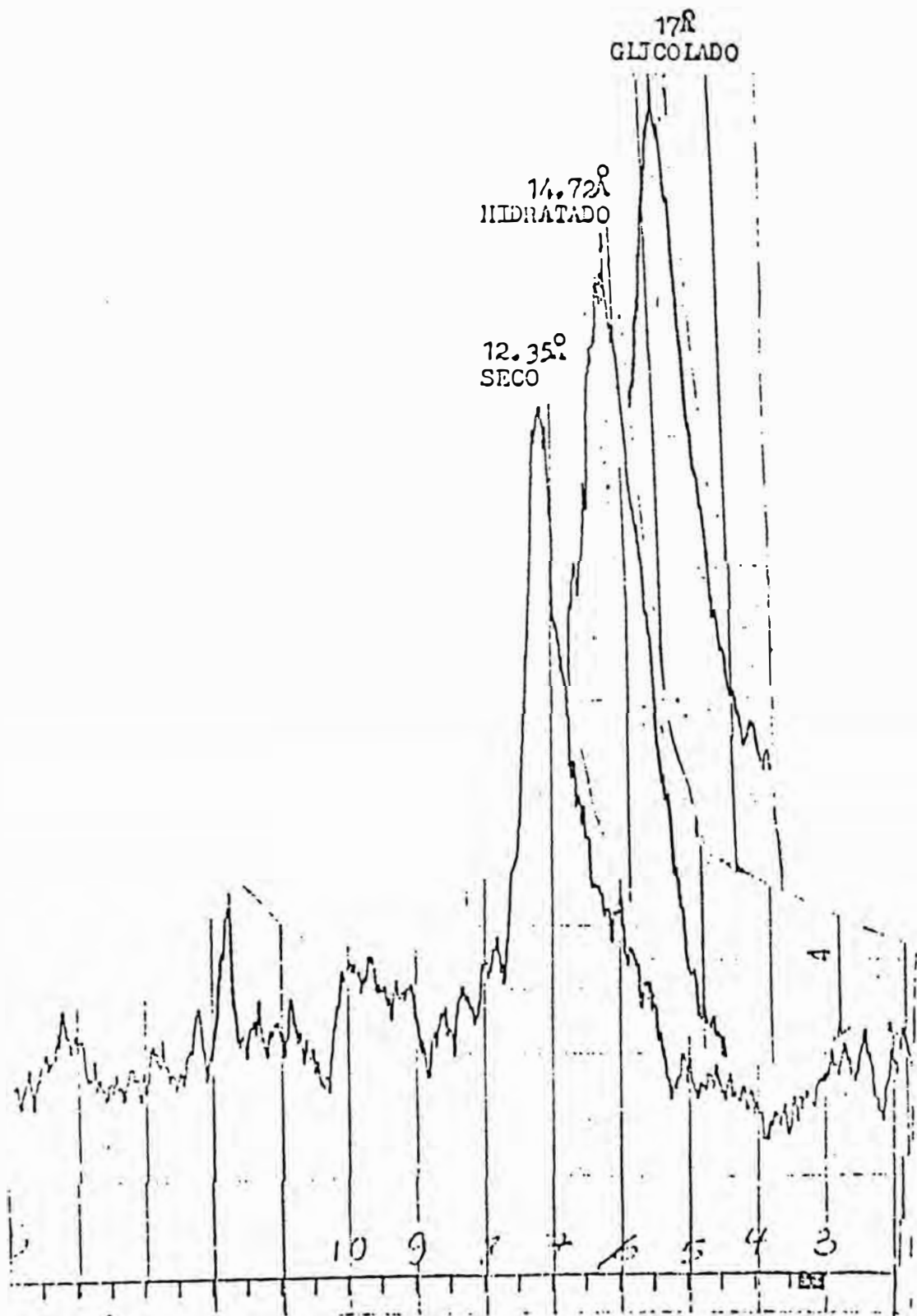


Cationes intercambiables
nH₂O



Oxígenos
 ● Hidróxilos
 ○ y ● Silicios, ocasionalmente aluminio
 ⊕ Aluminio, hierro, magnesio •

Fig. 7



EFECTO DE RED EXPANDIBLE EN MONTMORILIONITA

Lab. ESPECTROMETRIA U.N.I.

Estas posiciones deben ser completamente llenadas, predominantemente por iones de silicio, los cuales en parte pueden ser reemplazados por iones de aluminio. Correspondientemente, allí hay tres posiciones teniendo coordinación octaedral, del cual dos o tres pueden ser ocupado por Al^{+3} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , Mg^{+2} , Ni^{+2} y Li^{+1} .

Si, en una estructura neutra, un ion de valencia inferior toma el lugar de uno de mayor valencia tal como el Al^{+3} puede reemplazar al Si^{+4} , el Mg^{+2} al Al^{+3} o el Li^{+1} al Mg^{+2} , una carga negativa seria generada. Esta carga puede ser neutralizada por alguna de las formas siguientes:

- (1) por la adición de iones positivos en la posición octaedral vacante,
- (2) por la presencia de iones positivos externos a la capa de silicatos, o
- (3) por sustitución de O^{-2} por OH^{-1} .

Lo último, si ocurre podría ser esperado solamente para los iones oxígenos que están presentes en coordinación tetraedral alrededor del aluminio y no son compartidos con otros grupos tetraedrales.

Los experimentos demuestran, sin embargo que en la montmorillonita solamente un tercio a lo mas de Na ó Ca es reemplazable y que la sustitución de Mg^{+2} por Al^{+3} , ó Al^{+3} por Si^{+4}

puede ser el factor que induce al intercambio de bases. Un difractograma de bentonita procedente de Piura se muestra en la Fig.9.

SERIE MONTMORILLONITA – BEIDELLITA

En esta serie el silicio en coordinación tetraedral varia continuamente entre 3.18 para la beidellita y 4.00 para la montmorillonita como extremo final. Un difractograma de beidellita en arcilla expansiva de Sullana se observa en la Fig. 10.

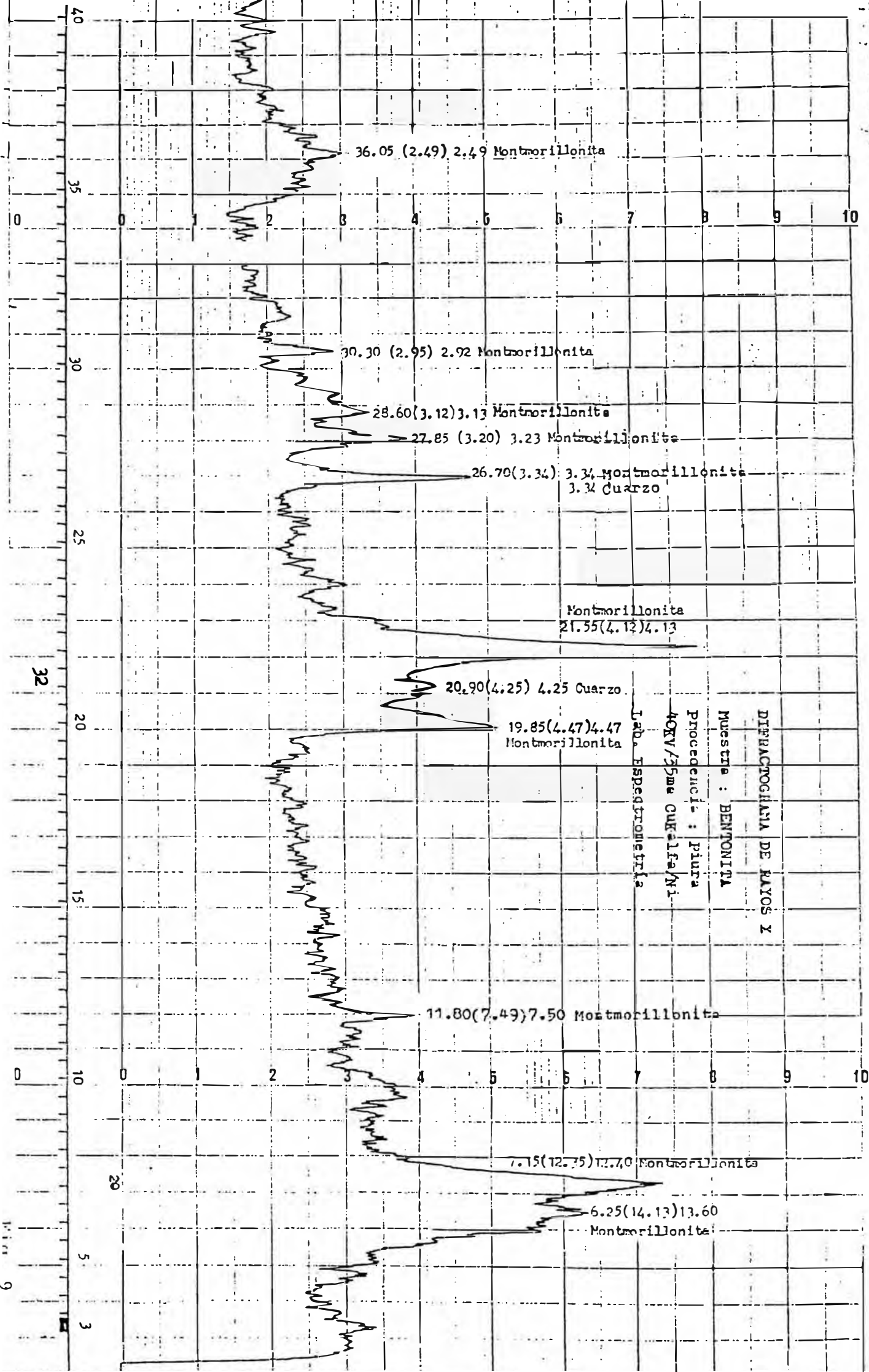
SAUCONITA

Se genera cuando ocurre un reemplazamiento de 2Al^{+3} por 3Zn^{+2} .

VERMICULITA

La estructura consiste de hojas de mica trioctaedral

o talco separado por capas de moléculas de agua ocupando un espacio definido (4.98Å) el cual es alrededor del espesor de dos moléculas de agua. Parte de su estructura se muestra en la Fig. 11. En



DIFRACCIÓN DE RAYOS X
 Muestra : BENTONITA
 Procedencia : Pura
 40KV/35ma CuKα1/α2 Ni
 Lab. Espectrometría

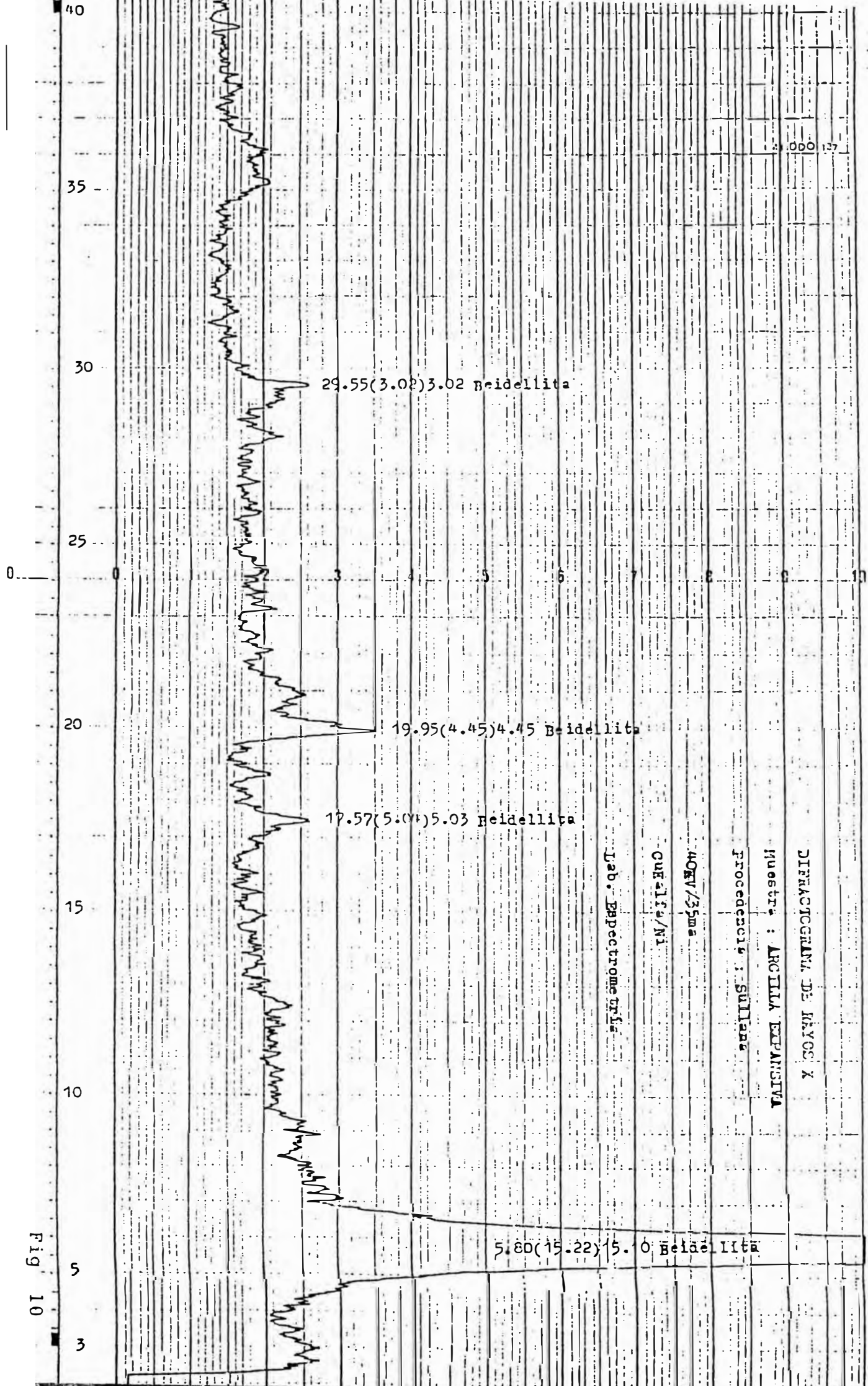
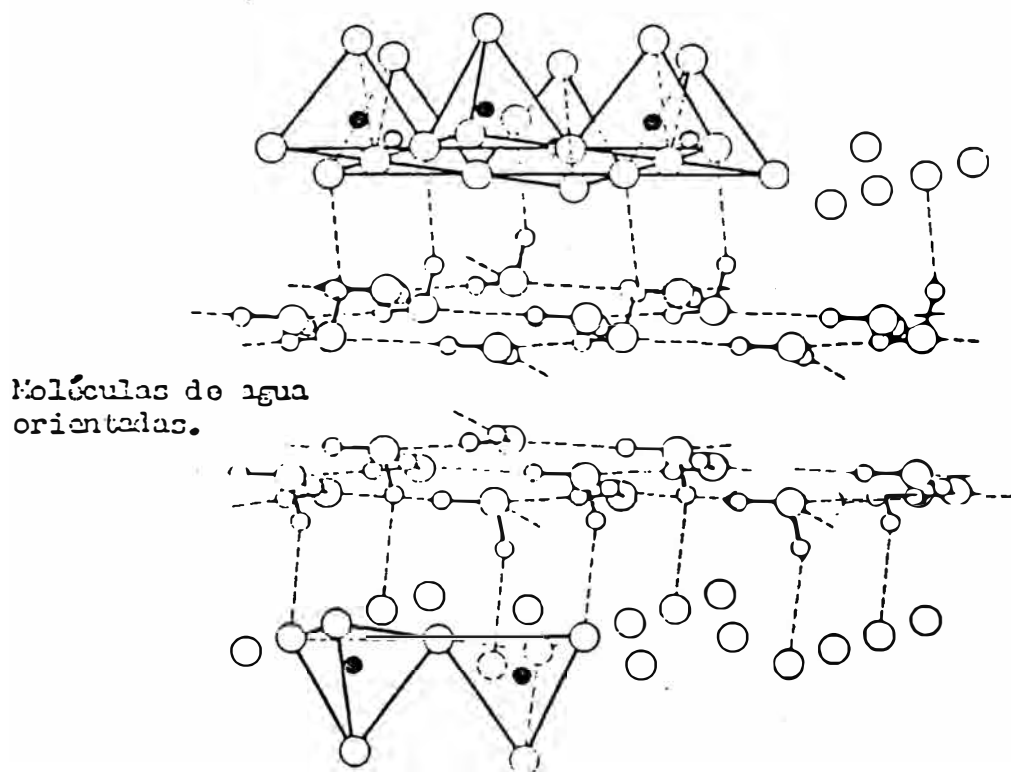


Fig 10

ESTRUCTURA DE LA VERMESULITA



su estado natural, el mineral consiste de una alternativa de mica y capas doble de agua.

La estructura es no balanceada principalmente por las sustituciones de Al^{+3} por Si^{+4} . Estas sustituciones pueden ser parcialmente balanceadas por otras sustituciones dentro de la red mica, pero allí hay siempre un deficiencia de carga neta residual de 1 a 1.4 por celda unitaria. La deficiencia de carga es satisfecha por cationes que ocurren principalmente entre las capas de mica y son largamente intercambiables. En el mineral natural, el cual tiene la misma capacidad de intercambio catiónico como la montmorillonita o algunas veces mayor, el catión de balance es el Mg^{+2} , algunas veces como una pequeña cantidad de Ca^{+2} presente.

Por calentamiento de la vermiculita a temperaturas tan alta como $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, el agua es expulsado de entre las capas de mica, pero el mineral se hidrata al ser expuesto a la humedad. El mineral además tiene una red expansible, siendo restringida a alrededor de 4.98 \AA , o dos capas de agua. Si el mineral es calentado a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, no ocurre expansión otra vez. En tal material la línea de 14 \AA y órdenes mayores

desaparecen y una línea nueva en 9.3\AA con otra nueva línea de mica aparece sobre el patrón de difracción.

En general la reflexión basal de alrededor de 14\AA es siempre mas intensa que los subsecuentes órdenes inferiores si el mineral es vermiculita en lugar de clorita. Vermiculita y clorita puede ser también ser distinguidas por la persistencia de la reflexión correspondiente a la periodicidad de 7\AA cuando la clorita es calentada a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debe tenerse cuidado por la rápida rehidratación de la fase 11.6\AA de la vermiculita en el aire. Esto es particularmente correcto a ocurrir para partículas del tamaño de las arcillas.

Desde que la vermiculita tiene una estructura expandible y una red no balanceada con alta capacidad de intercambio catiónico, es importante considerar su relación a la montmorillonita que tiene estas características. La vermiculita difiere de la montmorillonita en que la expansión con agua es limitada alrededor de 4.98\AA . Vermiculita absorbe determinadas moléculas orgánicas entre las capas de mica pero difiere de la montmorillonita en que la capa absorbida es delgada y menos variable. Estas características resultan del relativamente mayor tamaño de partícula de las capas de vermiculita y posiblemente

también del hecho que allí hay considerablemente menos azar en el empacamiento de las capas de vermiculita.

Estas diferencias pueden ser debidas al hecho que el desbalanceo en la vermiculita es principalmente quizás esencialmente en la capa tetraedral, mientras que en la montmorillonita es principalmente quizás en la capa octaedral. Además sobre tratamiento con glycerol se expande a 14.5Å y la montmorillonita a 17.8Å.

NONTRONITA

Corresponde a arcillas del grupo de la montmorillonita conteniendo abundante Fe^{+3} .

La cantidad de aluminio en coordinación tetraedral en estas muestras varia de 0.23 a 0.63.

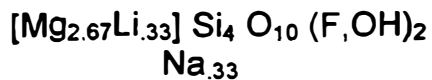
SERIE SAPONITA-HECTORITA

La hectorita contiene muy poco Al_2O_3 o Fe_2O_3 . Alrededor de 1 por ciento de Li_2O esta presente en forma no intercambiable. La sustitución de Li^{+1} por Mg^{+2} es el factor preponderante para una

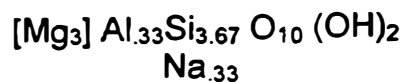
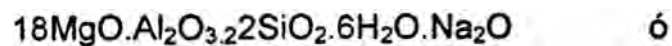
diferencia de carga en la red. Una fórmula apropiada para este miembro final es:



el cual corresponde a:



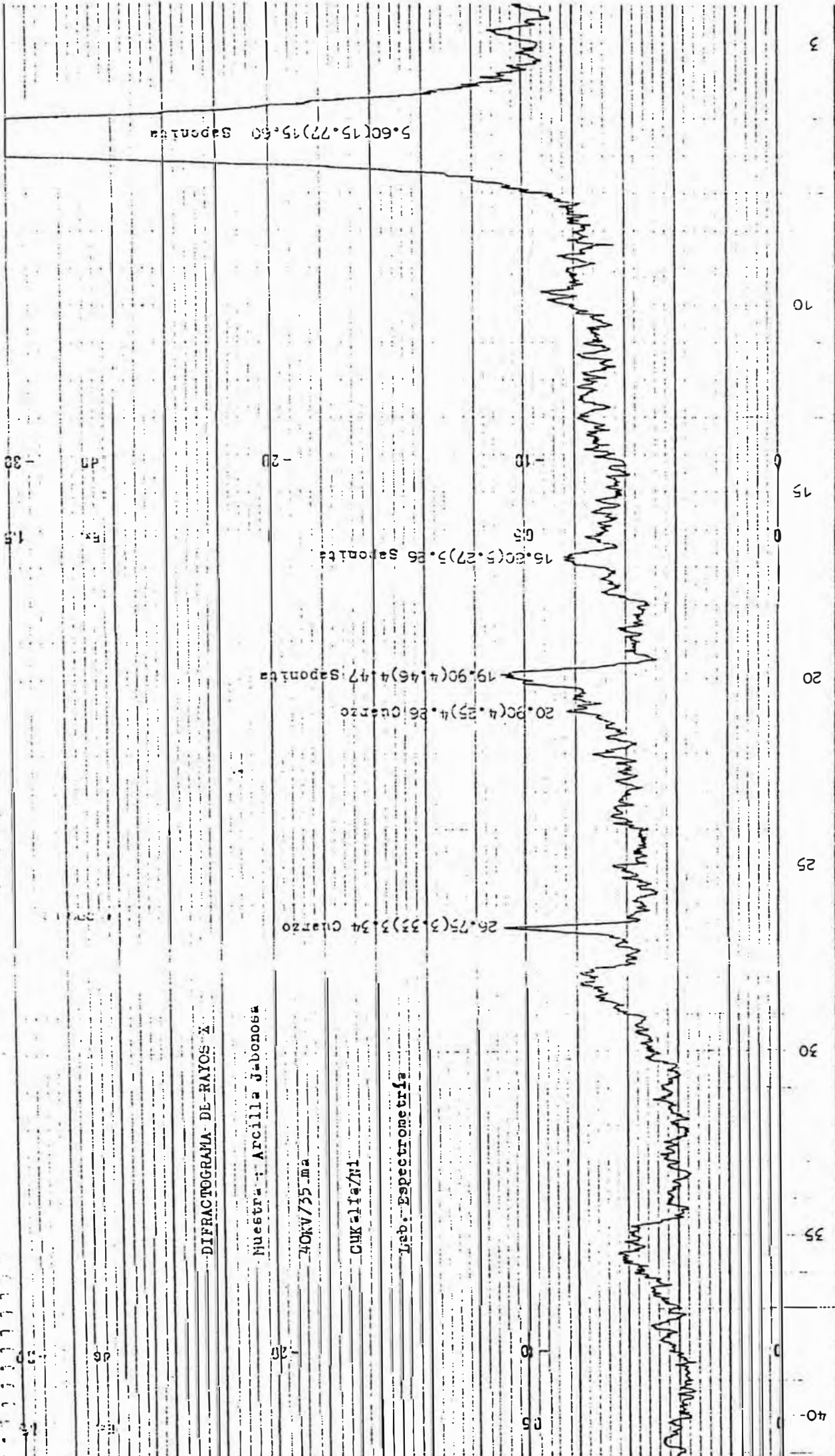
Cuando la muestras no contienen Litio y ocurre sustitución de Si^{+4} por Al^{+3} en coordinación tetraedral estamos en presencia de la saponita (Difractograma en Fig.12), cuyas fórmulas pueden ser :



2. RED NO EXPANDIBLE:

ILLITA

Se forman generalmente bajo condiciones de baja temperatura como componentes de rocas sedimentarias; distinguiéndose de la



DIFRACTOGRAMA DE RAYOS X

Muestra: Arcilla Jabonosa

40KV/35 ma

CUKα1/α1

Lab: Espectrometría

Fig. 12

micas verdaderas por su muy pequeño tamaño de cristal, alto contenido de sílice, agua y bajo contenido de potasio intercapas.

Determinadas micas tal como la sericita se forma principalmente bajo condiciones hidrotermales y metamórficas, teniendo propiedades intermedias entre las verdaderas micas y micas arcillosas.

La unidad estructural básica es una capa compuesta de dos hojas tetraedrales de silicio con una hoja octaedral central de aluminio; un esquema de su estructura se muestra en la Fig. 13. Los vértices de los tetraedros en cada hoja de silicio están dirigidos hacia el centro de la unidad y son combinados con la hoja octaedral en una única capa con reemplazamiento apropiado del OH^{-1} por O^{-2} . La unidad es la misma que el de la montmorillonita excepto que algunos de los silicios son siempre reemplazados por aluminios y la deficiencia de carga resultante es balanceada por iones de potasio; teniendo una pequeña capacidad de intercambio iónico e hinchazón por efecto del agua (Fig.14). en muchas de las micas bien cristalizadas un cuarto de los silicios son reemplazados por aluminios de modo que la deficiencia de carga es alrededor de +2 por celda unitaria. Las capas unitarias se

Estructura de la illita

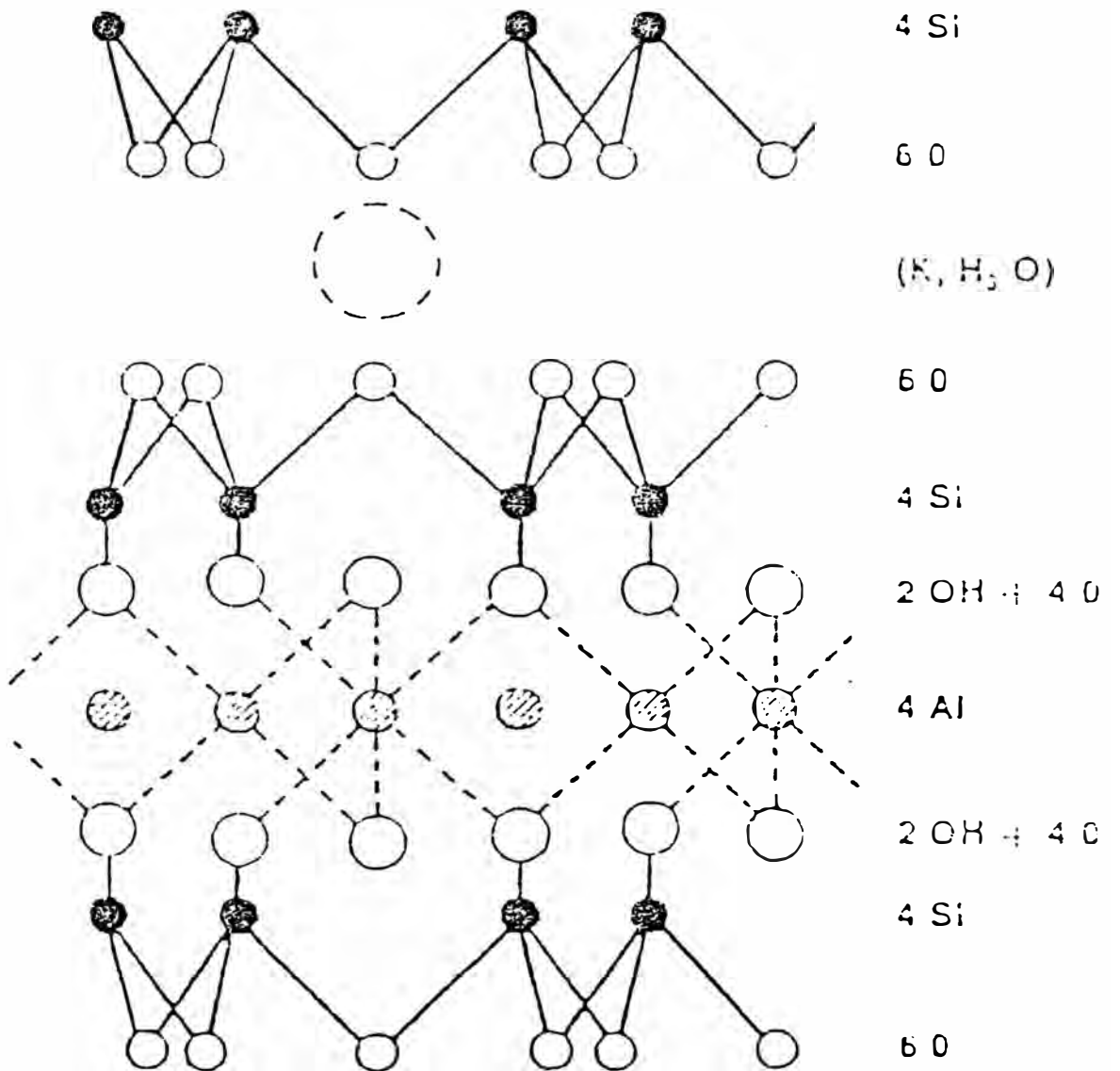


Fig. 13

Hinchazón de la illita por efecto del agua

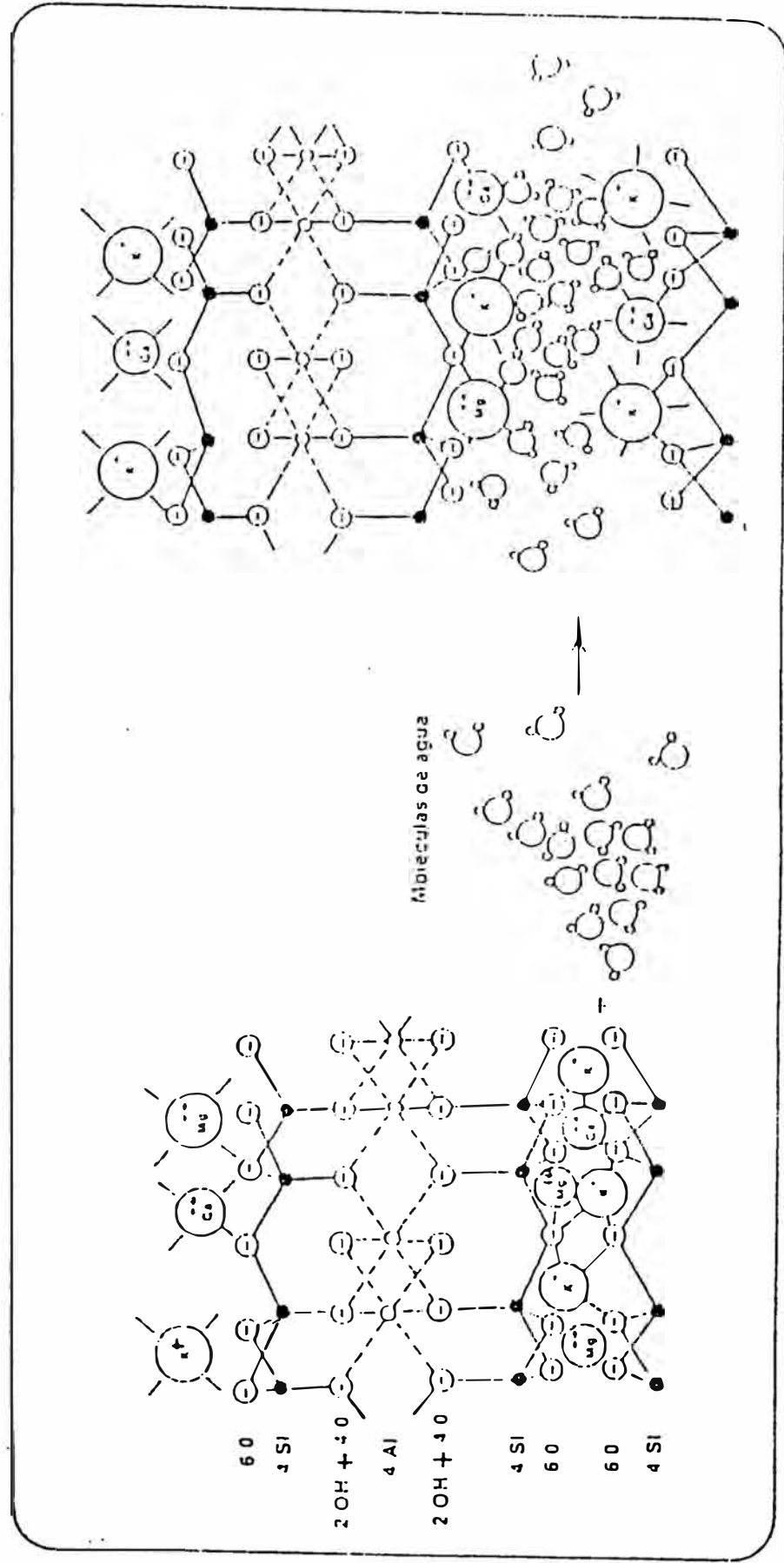


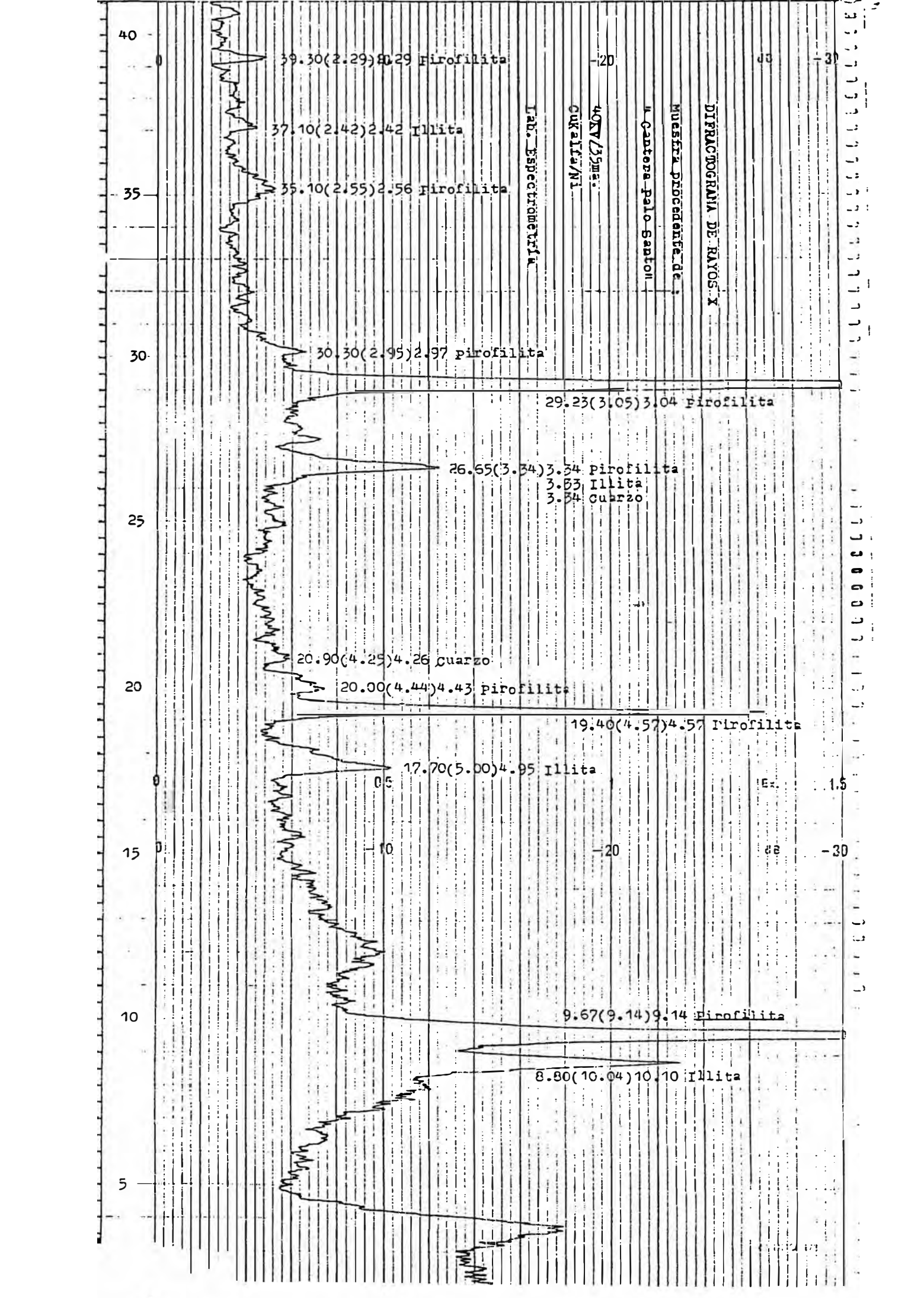
Fig. 14

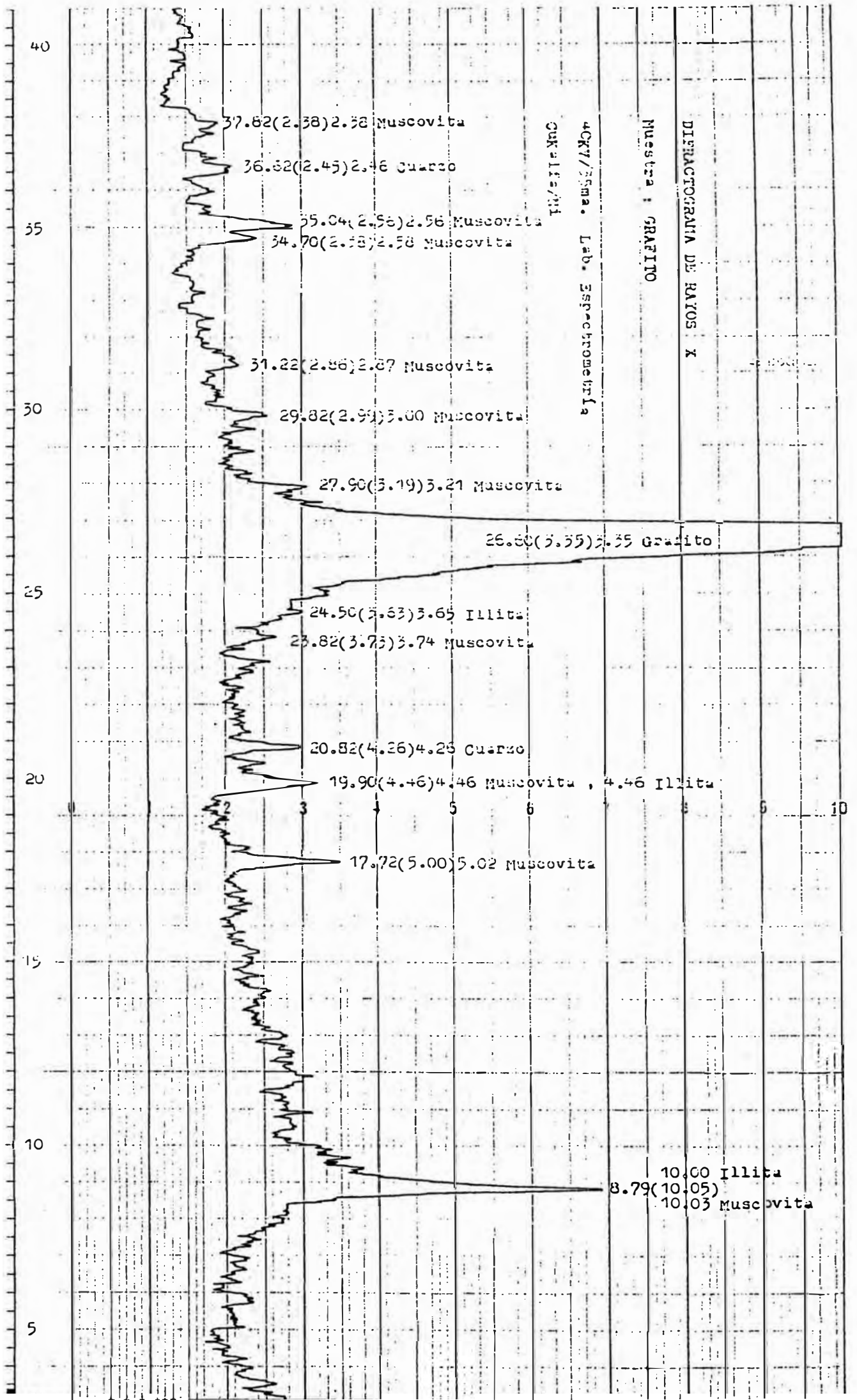
extienden indefinidamente en las direcciones **a** y **b**, siendo apiladas en la dirección **c**. Los iones de potasio ocurren entre capas unitarias. Ensamblajes de la illita se muestran en las Figuras 15 y 16.

2.2.4. ARCILLAS CRISTALINAS REGULARES DE CAPAS MEZCLADAS

CLORITA

La estructura general de la clorita consiste de capas alternadas como micas y como brucita. La capa de mica es desbalanceada por sustitución de Al^{+3} por Si^{+4} , y esta deficiencia de carga es balanceada por un exceso de carga en la hoja de brucita como una consecuencia de la sustitución de Al^{+3} por Mg^{+2} ; tal como se muestra en la Fig. 17. El enlace entre las capas es parcialmente electrostático en carácter como consecuencia de sustituciones dentro de la red. Un segundo mecanismo de enlace importante surge de las hojas adyacentes de oxígeno y iones hidróxilos donde el mecanismo de enlace principal se genera de pares de oxígenos adyacentes y iones hidróxilos. Este mecanismo de enlace es similar al encontrado en los minerales de caolín.





ESTRUCTURA DE LA CLORITA

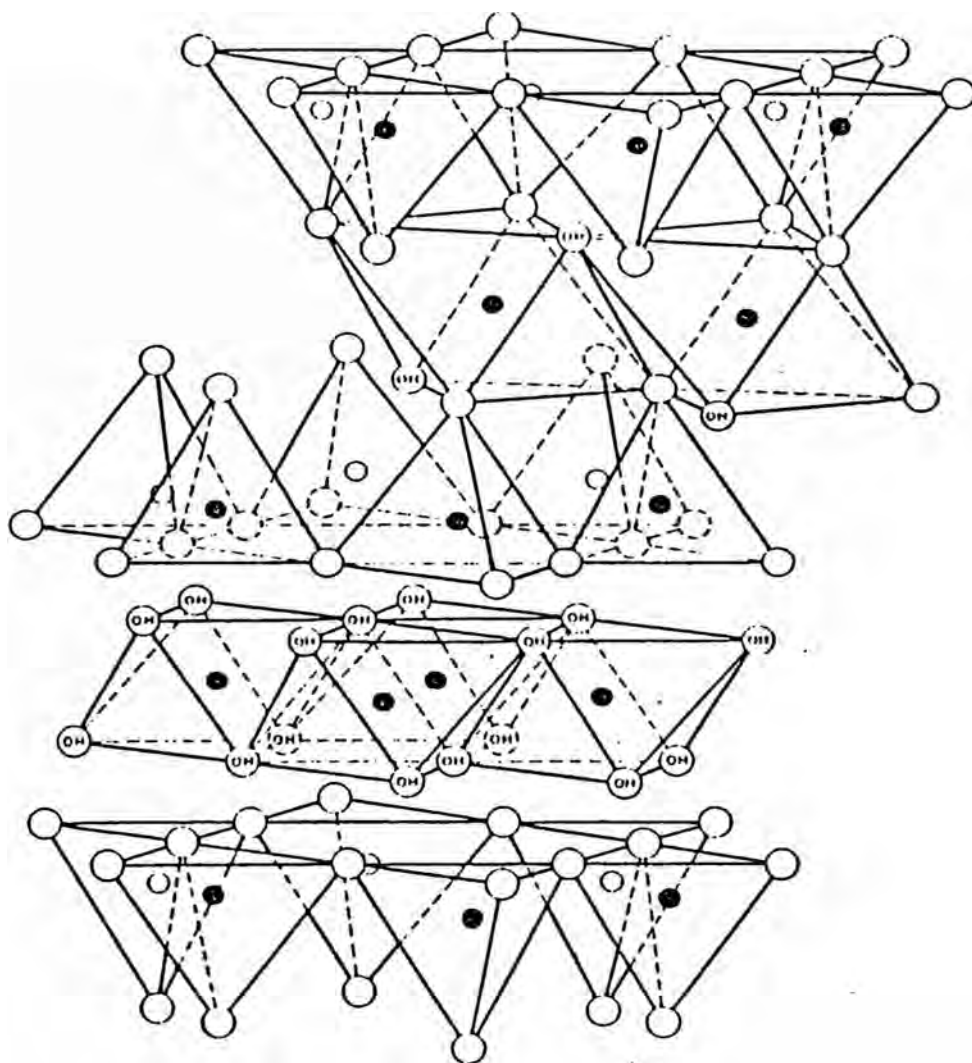


Fig. 17

Varios miembros del grupo de la clorita difieren unos de otros en el tipo y cantidad de sustituciones dentro de la capa de brucita y las posiciones tetraedral y octaedral de la capa de mica. Ellos también difieren en la orientación detallada de capas sucesivas octaedral y tetraedral, en la relación de las capas de mica o brucita, y en el apilamiento de unidades de clorita sucesivas. Especímenes pueden ser monoclinicos o triclinicos.

Sustituciones dentro de las hojas tetraedral varia de Si_3Al a Si_2Al_2 y sustituciones dentro de las capas octaedral de Mg_5Al a Mg_4Al_2 , con Fe^{+2} y Mn^{+2} parcialmente reemplazando al Mg^{+2} y Fe^{+3} o Cr^{+3} parcialmente reemplazando al Al^{+3} . Las sustituciones de Al^{+3} por Si^{+4} en las hojas tetraedral expande ellos suficientemente para acomodar largas capas octaedrales entre ellos.

Cloritas de grano fino son encontrados en algunos minerales arcillosos. El rango de formas polimórficas de los minerales de clorita y las variaciones en estructura entre clorita mineral-arcilla y clorita bien cristalizado ocurriendo en grandes unidades no ha sido establecida. Los datos disponibles sugieren que las cloritas mineral-arcilla difiere de

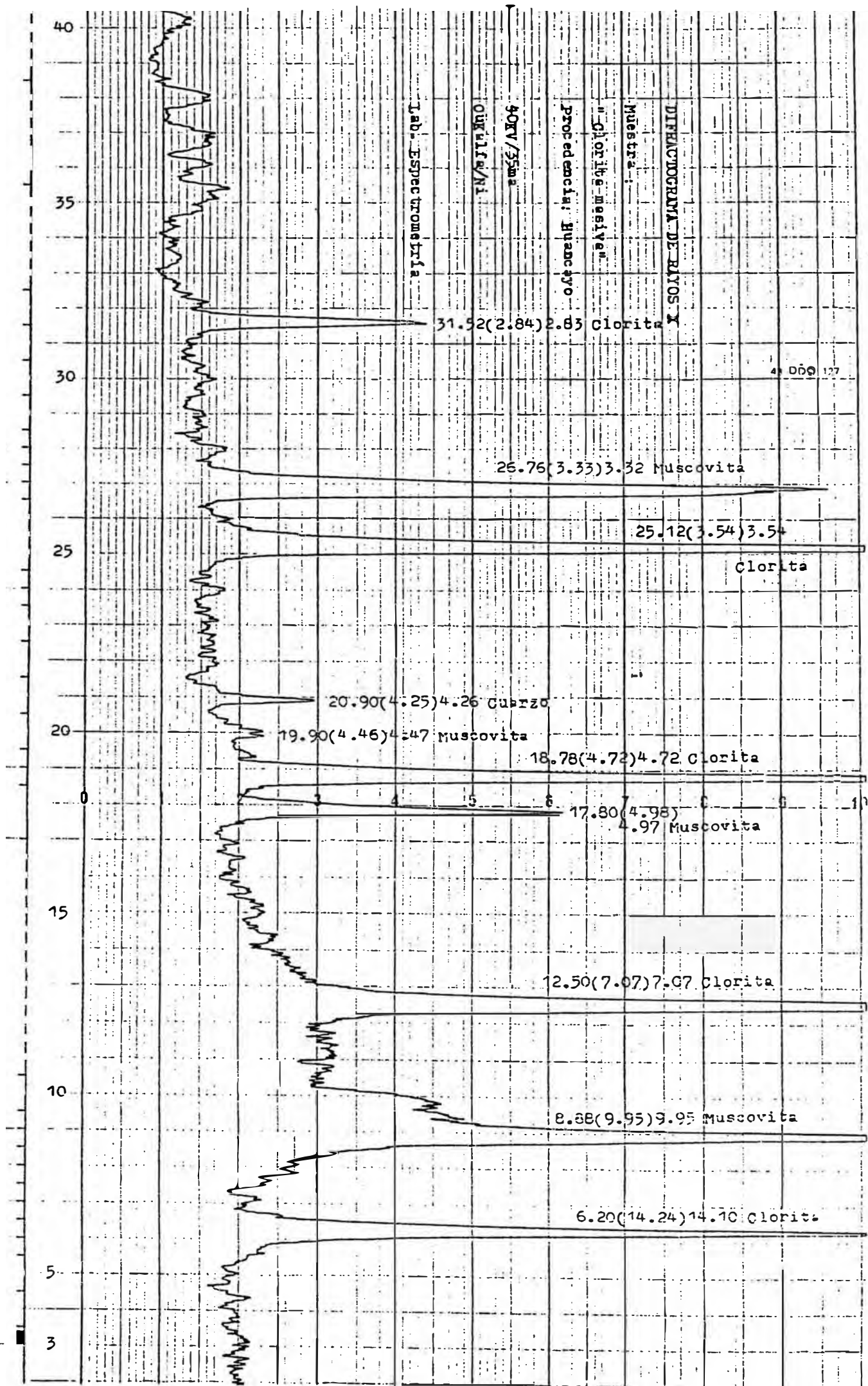
material bien cristalizado por un apilamiento al azar de las capas y quizás de alguna hidratación. Desafortunadamente la clorita en material arcilloso es generalmente encontrado íntimamente mezclado con otros minerales de arcilla de modo que los datos de difracción permiten solamente la identificación de un mineral no-expandible en 14Å y no la forma polimórfica. Un ejemplo se muestra en la Fig.18.

Varios autores han descrito un mineral con un espaciamiento de 14Å que no colapsa por calentamiento y que se expande levemente por tratamiento con glycol (a 16-18Å).

2.2.5 ARCILLAS CRISTALINAS DE ESTRUCTURA EN CADENA

SEPIOLITA-PALYGORSKITA-ATTAPULGITA:

Corresponde a una serie completa de minerales de un miembro final de magnesio, SEPIOLITA, a un miembro final de aluminio llamado PARAMONTMORILLONITA. Fersman denominó la serie total PALYGORSKITAS. Estos minerales muestran un considerable rango en cantidades relativas de aluminio y magnesio pero que tiene



sustancialmente las mismas características generales de difracción de rayos X y de hidratación.

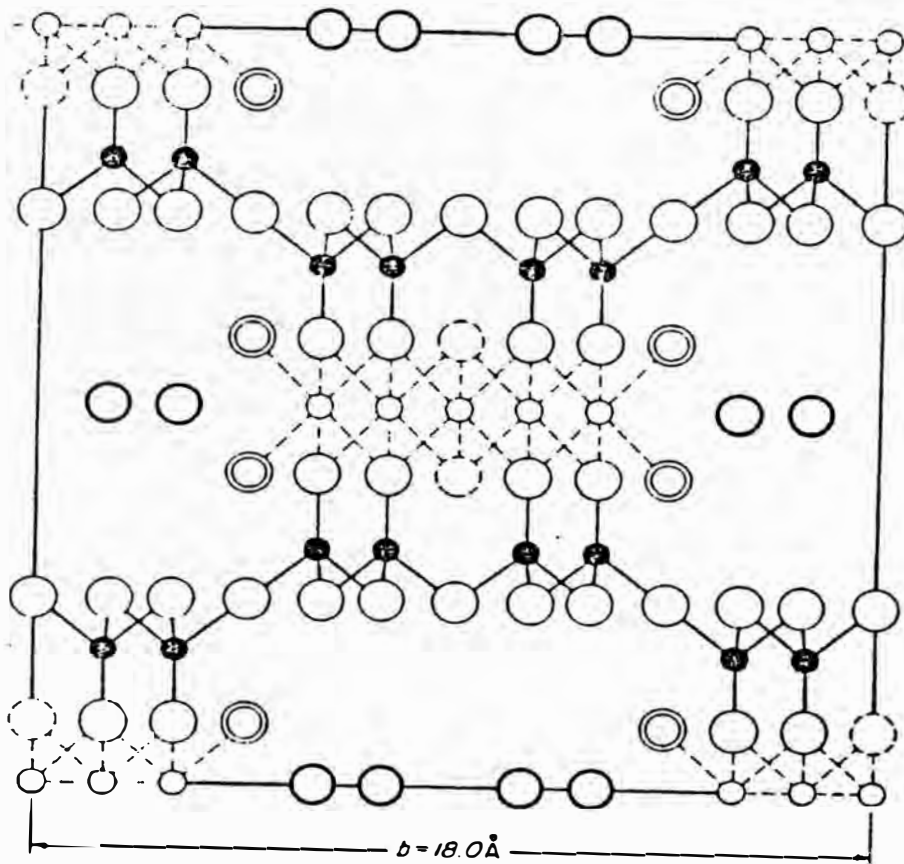
El elemento estructuralmente importante en estos minerales es el anfíbol de cadena doble de sílice orientado con su dirección mayor paralelo al eje **c**.

Estos tipos de arcillas son fibrosos y compuestos de cadena de sílice, sugiriéndose para la sepiolita la fórmula $\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{Mg} \cdot \text{H}_2)_3\text{H}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ donde se incluye la cadena doble Si_4O_{11} . La estructura es similar a cintas en el que en sus extremos los hidróxilos han absorbido iones hidrógeno dando lugar a la existencia de agua de cristalización, la cual es denotada como OH_2 para diferenciarla del "agua zeolítica" H_2O . Un esquema se muestra en la Fig. 19. El magnesio puede ser reemplazado por el hierro o aluminio en una extensión considerable. Los minerales de este grupo contienen "agua zeolítica", agua débilmente ligada en la red y perdida a baja temperatura (300°C).

Los datos de difracción explican adecuadamente el desarrollo de estas cadenas y el agua.

La estructura de la ATTAPULGITA consiste de una cadena doble de sílice paralelo al eje **c** con las cadenas unidas a través de

ESTRUCTURA DE LA ATTAPULGITA



- | | | |
|----------|--------------|------------|
| ○ H_2O | ○ Hidróxilos | ○ Mg o Al |
| ○ CH_2 | ○ Oxígenos | ● Silicios |

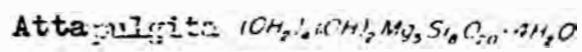


Fig. 19

oxígenos en sus extremos longitudinales. Los vértices de los tetraedros en cadenas sucesivas apuntando en direcciones opuestas. Cadenas de moléculas de agua paralelas al eje *c* llenan los intersticios entre las cadenas de anfíboles. Las cavidades acomodan cuatro moléculas de agua por celda unitaria, y esta agua es la que se libera durante la deshidratación a baja temperatura. La estructura es balanceada y la composición de la celda ideal es $(\text{OH}_2)_4(\text{OH})_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, en el cual cationes trivalentes son considerados equivalente a 1.5Mg^{+2} . Alguna sustitución de Al^{+3} por Si^{+4} es considerado probable. Algunas muestras de estos minerales tienen una textura fibrosa y una apariencia como papel. Otras muestras tal como el material de Attapulgues, Georgia son compacto y criptocristalino.

El contenido de magnesio en la atapulgita es mayor que el normal para la montmorillonita, formando parte importante de las Tierras de fuller que se caracterizan por tener un alto grado de activación (capacidad de adsorción) natural. Estos depósitos lenticulares de atapulgita han sido precipitados en ambientes marinos poco profundo, intercalados con capas de dolomita.

2.2.6 MINERALES INTERESTRATIFICADOS

Los silicatos en capas como las micas, vermiculita, clorita, caolinita, etc. contienen hojas tetraedrales y octaedrales formando sus unidades estructurales básicas. Mica, vermiculita, y montmorillonita están compuestos de una hoja octaedral entre dos hojas tetraedrales, mientras que la clorita tiene dos pares alternantes de hojas tetraedral y octaedral, y un solo par la caolinita. Debido a sus similitudes estructurales, estos minerales frecuentemente ocurren en un orden mixto de empaquetamiento en el cual un cristal individual puede ser formado por dos o mas silicatos en capas. Estos ensambles de silicatos en capas son comúnmente referidos como minerales interestratificados o mixtos en capas. Por ejemplo ha sido demostrado que el potasio es mas fuertemente ligado por capas de interestratificados de mica-vermiculita que por los componentes individuales. Similarmente la formación de intercapas de hidróxilos en la vermiculita y montmorillonita aumenta la capacidad de fijación del fosfato por estos minerales.

Los interestratificados revelan cambios en las condiciones ambientales, ya que son generados rápidamente por pequeños cambios del ambiente, mientras que otros minerales de alteración ocurren lentamente. Son abundantes en las fracciones de arcillas y limos de suelos y sedimentos.

Los interestratificados ocurren comúnmente en tres formas diferentes: (1) interestratificación regular de capas, (2) interestratificación al azar de capas, y (3) segregación zonal de capas, donde suficiente número de cada tipo ocurre junto, de modo que el análisis por difracción de rayos X los revela como fases separadas.

La interestratificación regular es identificada por el pico de difracción 001, correspondiente a la suma de los espaciamentos de los componentes individuales.

En la interestratificación regular el apilamiento ocurre a lo largo del eje c con una repetición regular de las diferentes capas. En tal caso la estructura resultante se caracteriza porque la celda unidad es equivalente a la suma de las capas componentes y reflexiones (001) son obtenidas. Un ejemplo de mineral con interestratificación regular es

la clorita compuesta de una alternancia de capas de mica y brucita; el caso illita-montmorillonita se muestra en la Fig. 20.

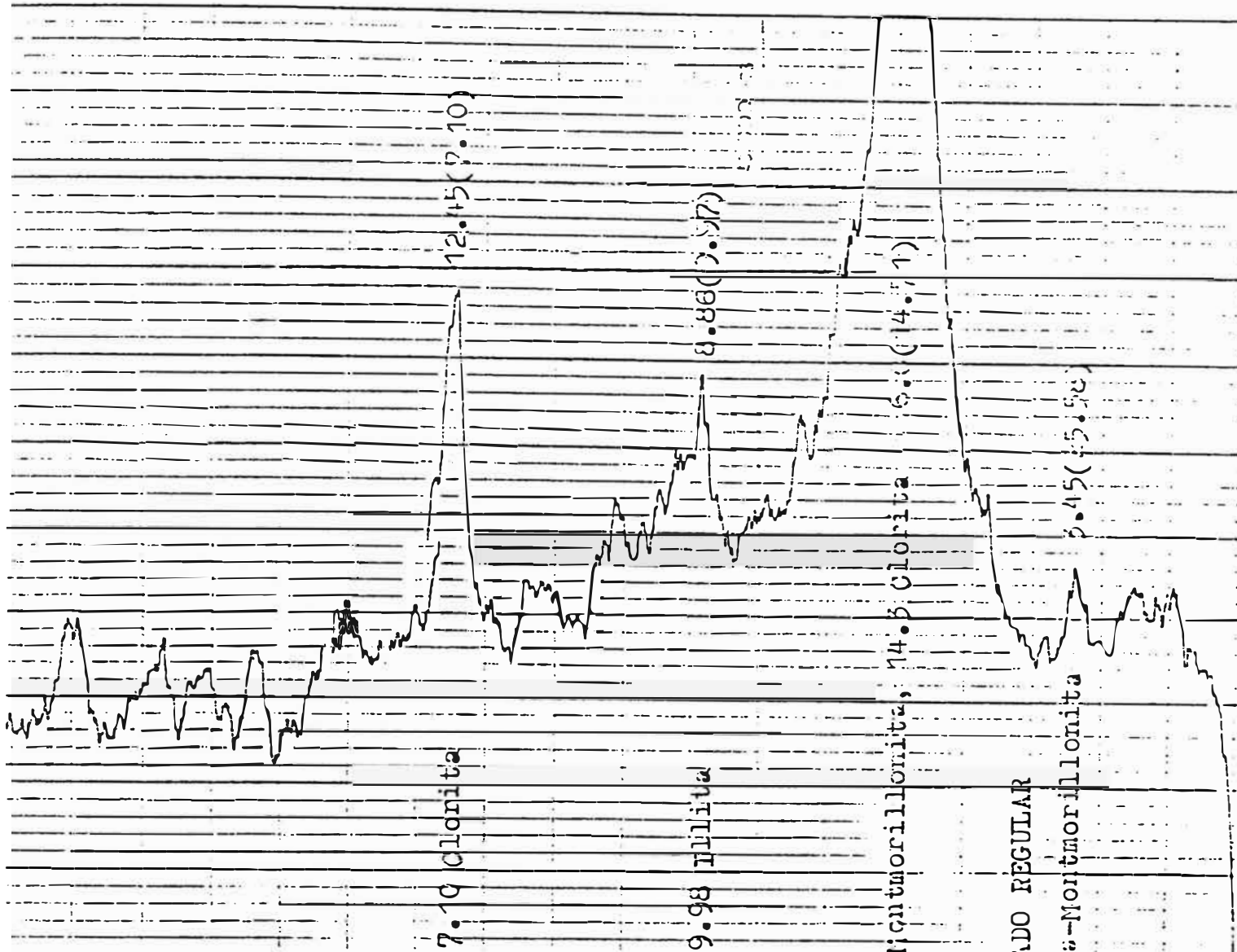
Otros ejemplos son allevardita (capas de moléculas de agua separando capas doble de mica), rectorita (una capa continua de pirofilita y capa de vermiculita) y corrensita (capas de clorita y vermiculita).

2.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE ARCILLAS

2.3.1. PLASTICIDAD

Es la propiedad más importante que consiste en la capacidad que tienen las arcillas que absorber y fijar agua en sus poros, y formar una masa que puede ser moldeada en cualquier forma deseada, la cual se mantiene cuando la presión cesa o se libera el agua, cambiando a una masa dura. Su evaluación determina la cantidad de agua necesaria para hacer a una arcilla plástica y trabajable. El porcentaje de agua de plasticidad se determina utilizando la siguiente relación:

$$\% \text{ Agua de Plasticidad} = (\text{Peso de agua} / \text{Peso de arcilla seca}) \times 100$$



DIFRACTOGRAMA DE RAYOS X

MUESTRA: Material derelleno en
 Arenisca de formación
 SALARA.

40KV/35ma CUKalfa/Ni

Lab. Espectrometría

7.10 Clonita

9.98 Illita

14.7 Montmorillonita, 14.8 Clorita

14.5 Illita-Montmorillonita

INTESTRATIFICADO REGULAR

15

10

5

3

8

Fig. 20

La cantidad de agua requerida para desarrollar la máxima plasticidad en una arcilla puede ser afectada por sales solubles, materia orgánica y ácidos.

Las arcillas más plásticas, conocidas como plásticas o arcillas grasas, muestran una gran contracción cuando secan. Arcillas no-plásticas muestran mucho menos contracción. La alta plasticidad está asociada con partículas de pequeño tamaño, en hecho existe evidencia que muchos materiales no-arcillosos exhiben plasticidad cuando ellos son finamente molidos.

2.3.2. TEXTURA

Describe el tamaño de grano o finura, la cual ejerce una influencia importante en la plasticidad, contracción, porosidad, fusibilidad, etc. Muchas arcillas contienen granos de arena de tamaño suficiente para ser visible, pero la mayoría de las partículas en las arcillas son tan pequeñas para ser observadas con instrumentos simples, lo cual hace difícil su separación por mallas. Para su separación por sedimentación la arcilla es colocada en agua con una pocas gotas de hidróxido de amonio, y agitada hasta que

su separación es completa. En todas las separaciones en agua la concentración de la suspensión arcilla/agua ejerce una influencia importante en los resultados obtenidos. Suspensiones que no exceden el 5 por ciento de arcilla dan los mejores resultados; esto implica que el agua utilizada podría ser veinte veces la cantidad de arcilla.

2.3.3. RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE ARCILLA SECA

En una propiedad que tiene relación con la manipulación, moldeo y secado de piezas, desde que una alta resistencia le permite llevar material no-plástico como feldespatos, cuarzo, etc. puede ser evaluada por la prueba de tensión transversal, o compresión. La primera corresponde a la resistencia que ofrece una barra de arcilla en forma de paralelepípedo cuando se aplica una carga perpendicular a su longitud. Además se practica la resistencia a tensión en probetas de arcillas para determinar su resistencia a la rotura.

2.3.4. CONTRACCIÓN

Todas las arcillas se contraen cuando se secan al aire y cuando son sometidos al fuego.

Cuando una arcilla está perfectamente seca al aire todos los granos están en contacto, existiendo entre ellos hay una cantidad de espacio-poro que depende de su textura. El volumen de este espacio-poro es indicado por la cantidad de agua que sería absorbido sin la arcilla cambie su volumen. Esta agua rellena el espacio entre los granos es denominado agua de poro.

La velocidad de evaporación del agua de la arcilla sería naturalmente gobernado por el flujo capilar del interior de la masa húmeda hacia la superficie. En arcillas altamente coloidal el agua se evapora a una velocidad más rápida de la superficie que lo suministrado del interior, produciéndose fracturas visibles o invisibles.

Si la contracción lineal de una probeta es medida, sería encontrado a variar en diferentes direcciones, por esta razón es más deseable dar el volumen de contracción de la arcilla secada al aire.

Arena o material de una naturaleza arenosa actúan en contra de la contracción, ellos facilitan el secado, permitiendo que el agua escape más rápidamente, y reducen el peligro de fracturas.

La presión aplicada a una arcilla húmeda, es visto a tener poco o ningún efecto sobre la arcilla secada al aire o después del quemado.

2.3.5. POROSIDAD

Corresponde al volumen del espacio-poro entre las partículas de arcillas expresado en porcentaje respecto al volumen total de la arcilla, y depende de la forma y tamaño de las partículas que constituyen la masa.

2.3.6. GRAVEDAD ESPECIFICA

Puede ser expresada en tres formas diferentes:

- 1.- Gravedad específica aparente, el cual representa el cociente del volumen de los sólidos más el volumen de los poros cerrados a un volumen igual de agua.
- 2.- Gravedad específica de masa (densidad aparente), representa el cociente del volumen entero del material, incluyendo sólidos, poros cerrados y abiertos, a un volumen igual de agua.
- 3.- Gravedad específica verdadera, el cociente del material sólido, excluido de poros cerrados o abiertos, a un volumen igual de agua.

2.3.7. COLOR

El color de las arcillas es comúnmente influenciado por los compuestos de hierro, tomando colores beige, marrón, amarillo, rojo; también la materia carbonosa produce tonalidades de azul, gris, negro, o aún púrpura, dependiendo de la cantidad presente, 3 por ciento es suficiente para producir un negro profundo. Una arcilla libre de estos compuestos es blanca.

El color verdoso puede ser debido a los silicatos de hierro, y en algunas margas arcillosas del Cretáceo es causada por el mineral glauconita. La coloración del hierro es frecuentemente cancelada por la coloración negra debido a la materia carbonosa. Es difícil hacer un estimado del contenido de hierro en una arcilla a partir de su color.

El color de la arcilla natural no siempre se conserva después de ser sometida a un quemado.

2.3.8. PERMEABILIDAD

Se refiere a la rapidez por el cual un cuerpo permite que los líquido o gases pasen a través de él. La permeabilidad puede ser

medida por la velocidad que algún líquido o gas fluye a través de un área y espesor unitario de un cuerpo bajo una presión unitaria.

2.3.9. SORPCIÓN

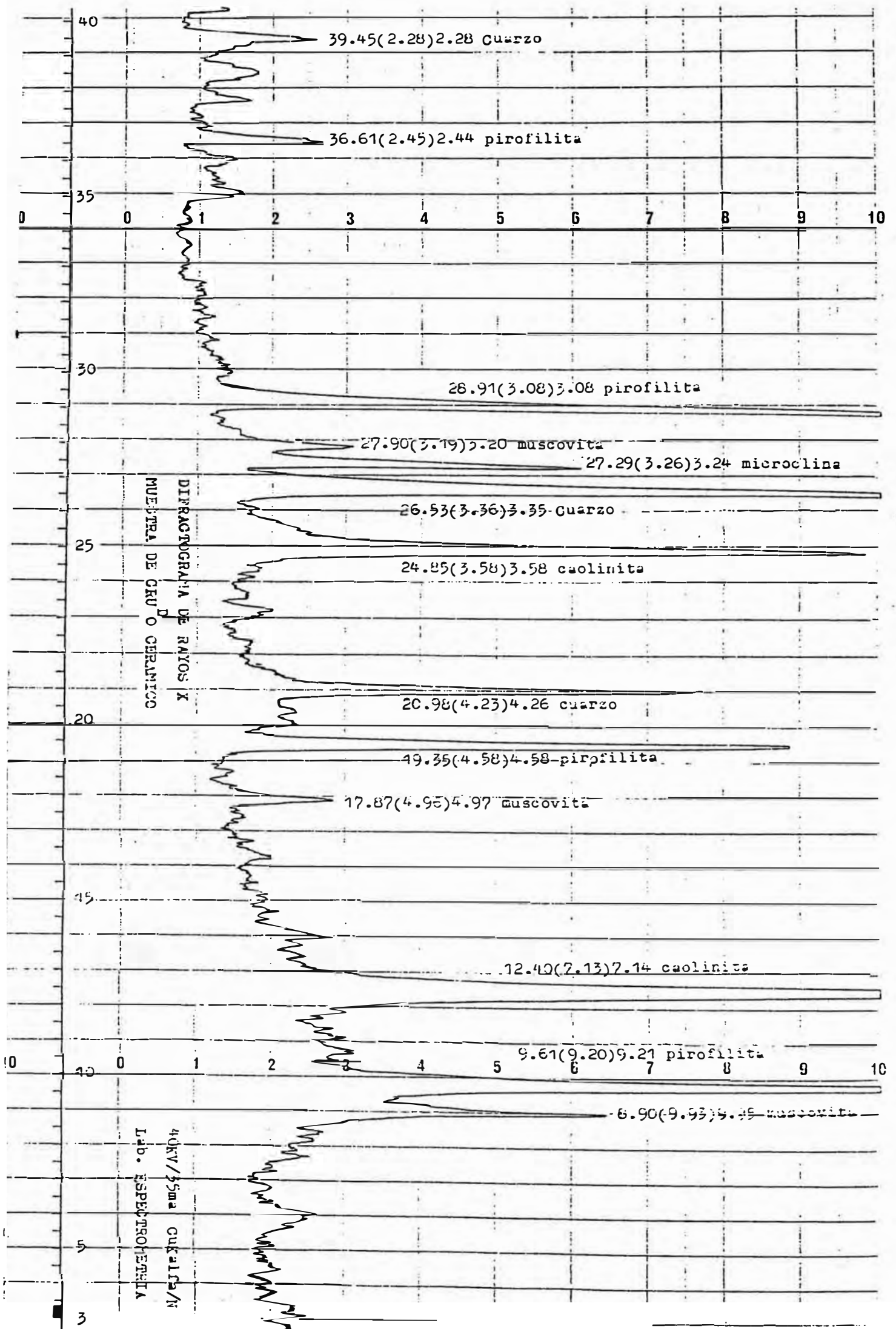
Propiedad por el cual una arcilla atrapa sustancias de soluciones con el cual esta en contacto. Los caolines no absorben mas de 2 por ciento de carbonato de calcio de una solución, mientras que las arcillas plásticas absorben de 10 a 20 por ciento.

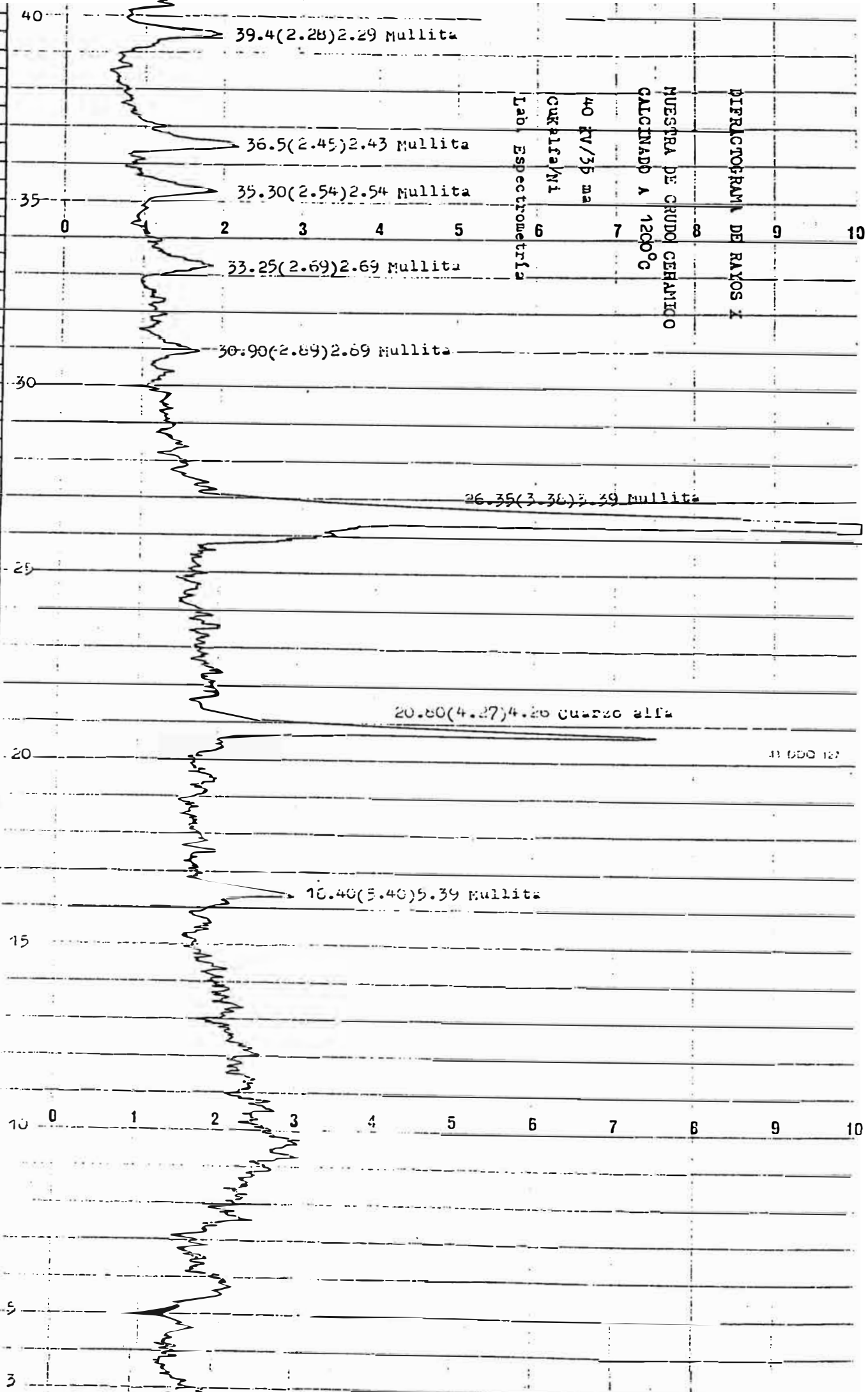
2.3.10. FUSIBILIDAD

Corresponde a un punto en la escala de temperatura en el cual el material pasa de su condición sólida a fluida. Puede observarse los cambio de fases que ocurren cuando un crudo cerámico es calcinado a 1200 °C. En las figuras 21 y 22.

2.3.11. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Corresponde a considerar que los elementos que forman las arcillas existen como óxidos, aunque ellos pueden ocurrir realmente en formas





39.4(2.28)2.29 Mullita

36.5(2.45)2.43 Mullita

35.30(2.54)2.54 Mullita

33.25(2.69)2.69 Mullita

30.90(2.89)2.69 Mullita

26.35(3.38)3.39 Mullita

20.80(4.27)4.20 Cuarzo alfa

18.40(5.40)5.39 Mullita

DIFRACTOGRAMA DE RAYOS X
 MUESTRA DE CRUDO CEMENTO
 CALCINADO A 1200°C
 40 kV/35 ma
 CuK α /Ni
 Lab. Espectrometría

41 000 127

mucho mas complejas. Es expresado con respecto a la muestra libre de humedad (secadas a 100 °C) como:

Sílice	SiO ₂
Alúmina	Al ₂ O ₃
Oxido férrico	Fe ₂ O ₃
Oxido ferroso	FeO
Oxido de calcio (cal)	CaO
Oxido de magnesio (magnesia)	MgO
Oxido de potasio (potasa) K ₂ O	
Oxido de sodio (soda)	Na ₂ O
Pérdida por ignición	
Oxido de titanio	TiO ₂
Trióxido de azufre	SO ₃
Dióxido de carbono	CO ₂
Materia orgánica	
Agua	H ₂ O

De estos análisis los nueve primeros son determinados. El óxido de titanio es raramente determinado excepto en arcillas refractarias (fire clays). El trióxido de azufre, dióxido de carbono, materia carbonosa y agua (todas las arcillas contiene una pequeña, pero variable cantidad de humedad en sus poros, la cual es liberada a 100 °C. Además para obtener resultados que pueden ser comparados es necesario hacer los análisis en las muestras libre de humedad) son volátiles durante la ignición: ellos son determinados y expresados como pérdida por ignición (muestra calentada entre 900-1000 °C). Para separar estos cuatro componente métodos especiales son necesarios, pero

raramente son aplicados; excepto en arcillas calcáreas o altamente carbonosas.

La pérdida por ignición en la mayoría de arcillas secas (muestras secada a 100 °C) corresponde al agua de cristalización.

El óxido férrico, cal, magnesia, potasa y soda son denominados impurezas fundentes, y sus efectos son observados cuando las muestras son sometidas al calor afectando su fusibilidad.

De los resultados del análisis de la composición química puede inferirse lo siguiente:

- La pureza de la arcilla es mostrada por las proporciones de sílice y alúmina. Arcillas de alto grado contienen un porcentaje alto de sílice y alúmina; además de agua de cristalización muy cercana a la de la caolinita.

- La refractariedad de una arcilla es función del contenido total de fundente; así tenemos que ha medida que aumentan los fundentes la arcilla tiende a ser menos refractaria.

- El color de la arcilla quemada depende de su contenido de hierro y en menor proporción del titanio.

- La cantidad de agua de hidratación y cristalización regula el grado de contracción al secarse la arcilla. Así tenemos que a mayor agua en la arcilla, ocurre mayor contracción al secarse y quemarse.

- El exceso de sílice (80-90%) puede indicar una arcilla arenosa y baja contracción. Abundante sílice en una arcilla refractaria muestra una moderada refractariedad.

- El trióxido de azufre indica la presencia de sulfatos solubles.

- La presencia de varios porcientos de cal y dióxido de carbono indica que la arcilla tiene un carácter calcáreo.

El óxido de titanio debe ser determinado especialmente en arcillas refractarias, ya que una pequeña cantidad reduce su punto de fusión.

CAPÍTULO 3

GÉNESIS DE ARCILLAS EN LA CORTEZA TERRESTRE

Podemos considerar que las arcillas en la Corteza terrestre se generan por dos mecanismos principales una por acción de los agentes supérgenos y otra por acción hidrotermal sobre los silicatos.

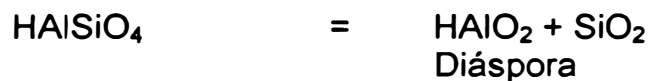
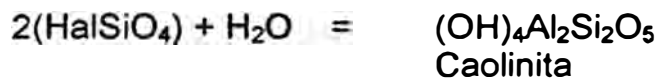
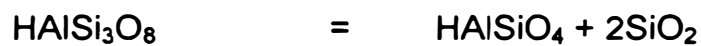
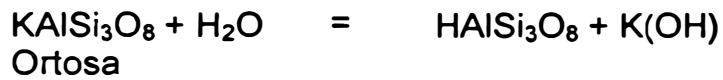
3.1 ARCILLAS RESIDUALES

3.1.1. INTRODUCCIÓN

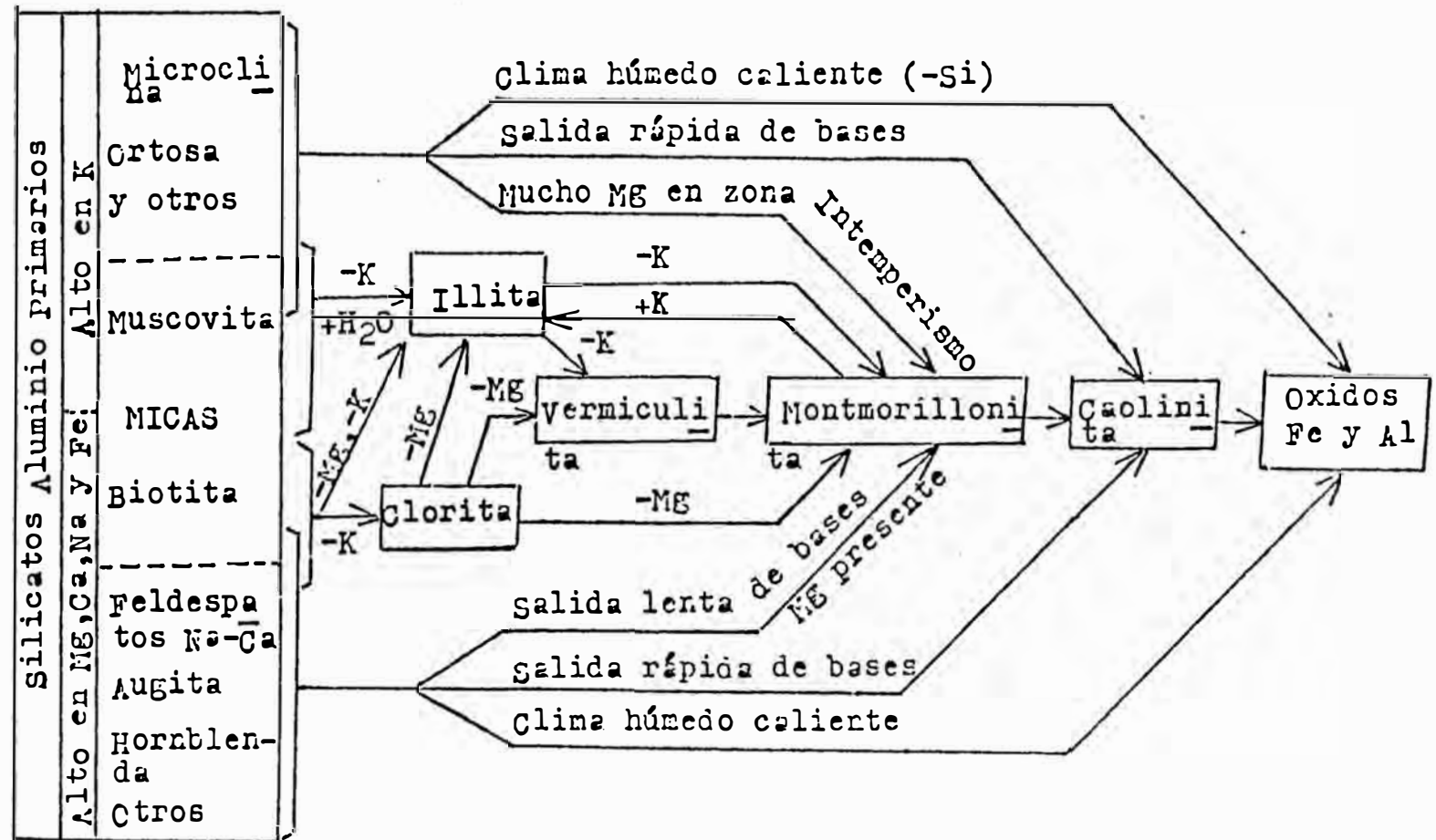
Se producen por la hidrólisis de los minerales silicatos formadores de las rocas generando liberación de los metales alcalinos y alcalinos térreos acompañados de un proceso de desilicificación, lo cual hace que contengan menos sílice y mayor contenido de alúmina que las rocas generadoras.

Las siguientes reacciones indican la transformación del feldespato de potasio en caolinita, diáspora y gibbsita por hidrólisis en un ambiente supérgeno; estos últimos generalmente forman parte de

las bauxitas y lateritas que se generan en zonas de climas tropicales y sub-tropicales.



Estas reacciones tiene consistencia porque las aguas residuales provenientes de depósitos de caolín contiene sílice en solución, además de álcalis. Procesos similares pueden ocurrir con los olivinos. Piroxenos, hornblenda, cenizas volcánicas las cuales terminan en montmorillonita y las micas muscovita y biotita formarían illitas. Sin embargo estas transformaciones dependen de las condiciones supérgenas tal como indicado en la Fig. 23, y los casos mostrados en las figuras 24, 25 y 26.



SECUENCIA DE FORMACION DE ARCILLAS EN SUELOS A PARTIR DE MINERALES PRIMARIOS POR ACCION DEL INTEMPERISMO

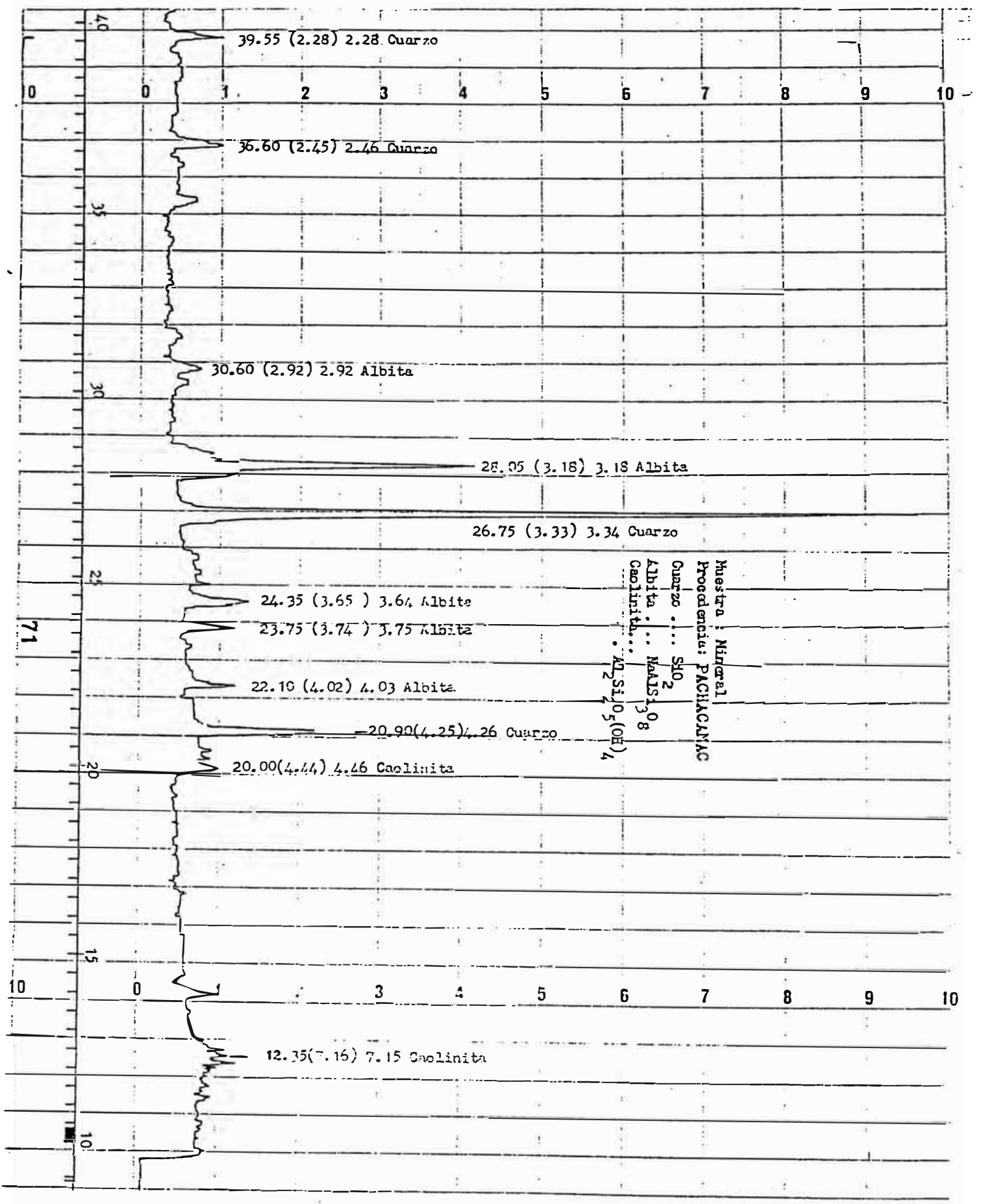
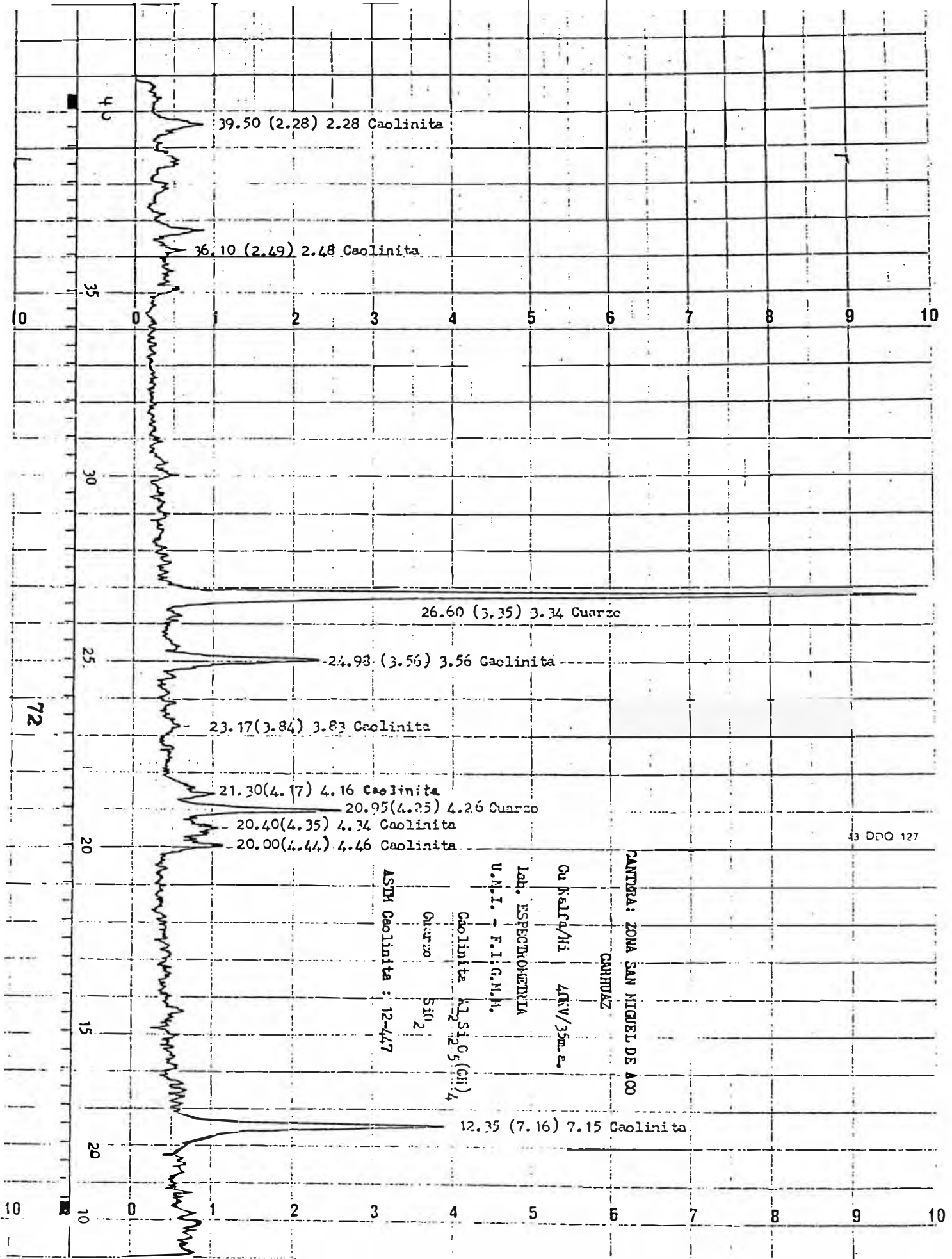


Fig 24



43 DPO 127

PANTERA: ZONA SAN MIGUEL DE ACO

CARRUZ

Cu K α 1 α /Ni 4KV/35mA

Lab. ESPECTROMETRIA

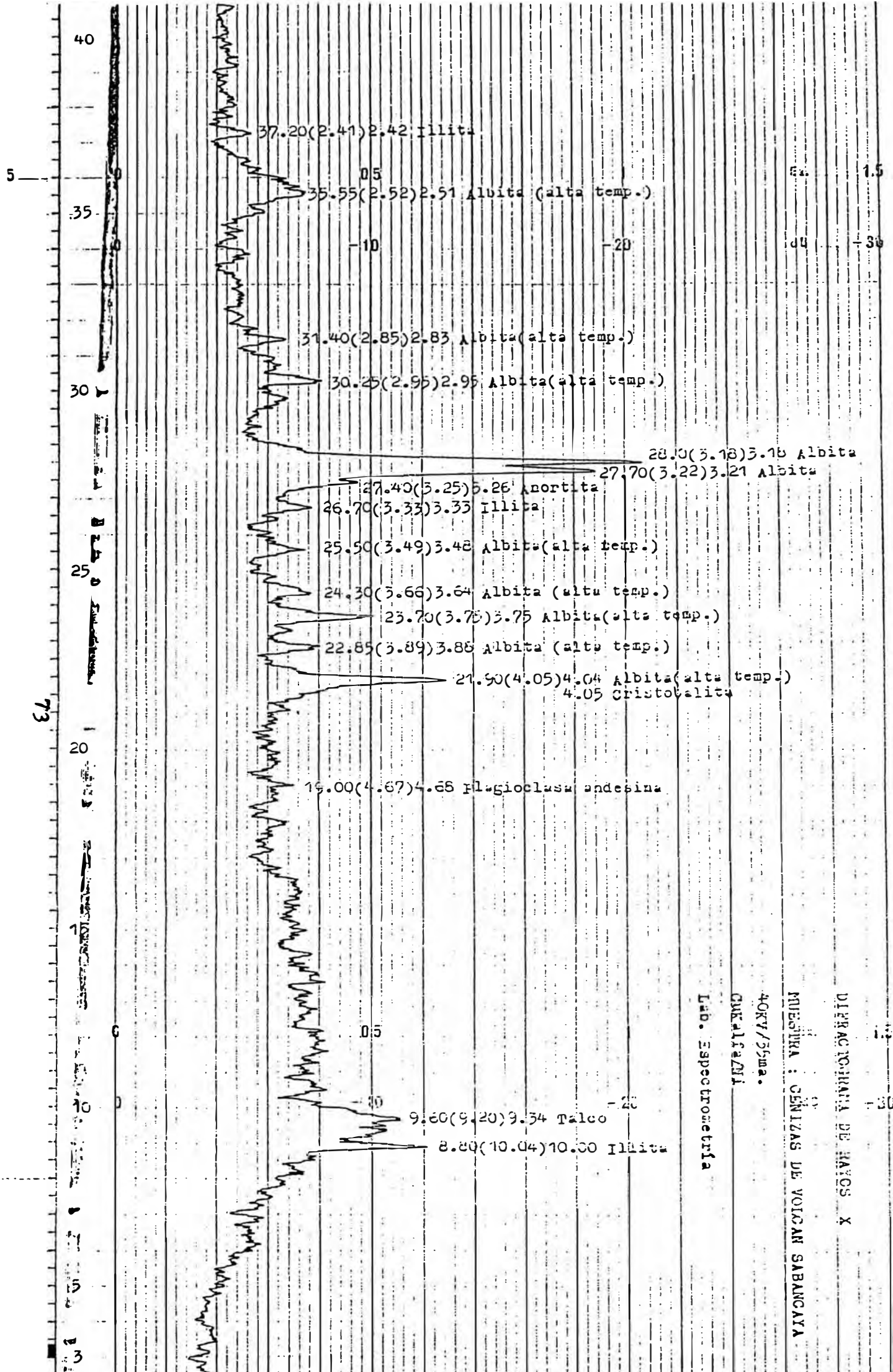
U.N.I. - F.I.G.M.H.

Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Cuarzo SiO_2

ASTM Caolinita : 12-447

Fig 25



LABORATORIO DE FÍSICA X
MUESTRA : CENIZAS DE VOLCAN SABANCAYA
TORY/55ma.
QUILICAMA
Lab. Espectroscopia

73

En experimentos en que los feldespatos son agitados en agua a temperatura ambiente; se observa, que se disuelven cantidades mínimas donde los minerales arcillosos no son detectables. La solución contiene concentraciones pequeñas de K^+ , alúmina y sílica en proporciones muy diferentes de los que existen en el mineral; siendo mucho mayor el cociente de K^+ respecto al Al y Si en la solución. Si el tiempo de agitación es prolongado la velocidad de disolución disminuye progresivamente. Estos hechos significan que los granos de feldespato se cubren de una película de aluminosilicatos descompuestos que resisten la disolución.

Experimentos a baja temperatura en forma opuesta producen minerales arcillosos cuando se mezclan disoluciones de sílica coloidal y alúmina. La lenta formación de montmorillonita y clorita por mezcla de soluciones muy diluida o suspensiones coloidales de los óxidos componentes en un rango de pH de 8 a 9 ha sido probado.

Los trabajos experimentales sugieren que las soluciones ácidas favorecen la formación de caolinita y las soluciones básica la formación de montmorillonita a temperatura ambiente y altas temperaturas es

parcialmente corroborado por datos sobre la ocurrencia geológica de los dos minerales. Caolinita es comúnmente el principal mineral arcilloso en suelos de climas húmedos, donde la abundante vegetación produce soluciones ácidas y los cationes son efectivamente lixiviados; montmorillonita es característica de suelos con climas menos húmedos, donde las soluciones del suelo son débilmente alcalinas y los cationes lentamente removidos.

El efecto de iones K^+ en favorecer la producción de illita es observado en suelos sobre el cual fertilizantes de potasio ha sido largamente utilizado, y por experimentos en el cual la montmorillonita es parcialmente convertida a illita por ebullición en una solución de KCl y KOH. Illita es también una arcilla común en suelos alcalinos de áreas desérticas y en suelos formados de rocas ígneas ricas en potasio.

3.1.2 ARCILLAS RESIDUALES EN SUELOS

Un suelo puede ser definido como un cuerpo de constituyentes mineral y orgánico, diferenciado en horizontes de profundidad variable, que difieren del material inferior en morfología, propiedades físicas,

propiedades químicas y composición, y características biológicas. Aparte de su diferencia en color y textura el cual ayuda a su reconocimiento en el campo, las propiedades de mayor significado que influyen en la estabilidad de los ensambles y tipos de arcillas son pH, materia orgánica, y la cantidad de óxidos de Fe-Al-Mg-Mn. Los horizontes A y B constituyen el verdadero suelo y el horizonte C corresponde a la roca parcialmente intemperizada.

La capacidad que tiene el suelo de intercambiar iones es una de sus propiedades físico-químicas mas importantes evaluada en los proyectos de agronomía, siendo superada solamente por el proceso de fotosíntesis realizado por las plantas.

Los minerales de arcilla tiene la propiedad de intercambiar ciertos aniones y cationes cuando se encuentran en solución. Los iones cambiables quedan retenidos en la parte externa de las partículas.

La propiedad de capacidad de cambio se mide a pH 7, frecuentemente en término de miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

En las arcillas los cationes cambiables comunes son Ca^{+2} , Mg^{+2} , H^+ , NH_4^+ y Na^+ y los aniones SO_4^{-2} , Cl^- , PO_4^{-3} y NO_3^+ .

En los suelos, los nutrientes, son frecuentemente retenidos como iones cambiables y consecuentemente su persistencia y su disponibilidad a la planta depende de las reacciones de cambio. Por ejemplo, la retención del potasio agregado como fertilizantes depende del cambio de cationes entre las sales de potasio y los minerales de arcilla en el suelo; también la sustitución del Na^+ por el Ca^{+2} convierte al suelo en apropiado para la agricultura. Los rangos de capacidad de intercambio de iones en minerales de arcilla, en miliequivalentes por 100 gramos de suelos, tomados a pH 7 es:

Mineral de arcilla	Miliequivalentes/100 gramos
Vermiculita	100 - 150
Montmortonita	80 - 150
Halloysita $4\text{H}_2\text{O}$	40 - 50
Sepiolita, Atapulgita	
Y Paligórskita	20 - 30
Clorita	10 - 40
Illita	10 - 40

Halloysita 2H ₂ O	5 - 10
Kaolinita	3 - 15

A fin de evaluar propiedades de intercambio de iones en suelos de Pucallpa y Huamanga se desarrollaron convenios entre el INIPA (Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria)-UNI para definir las arcillas; lo cual se resume en las figuras 27 y 28.

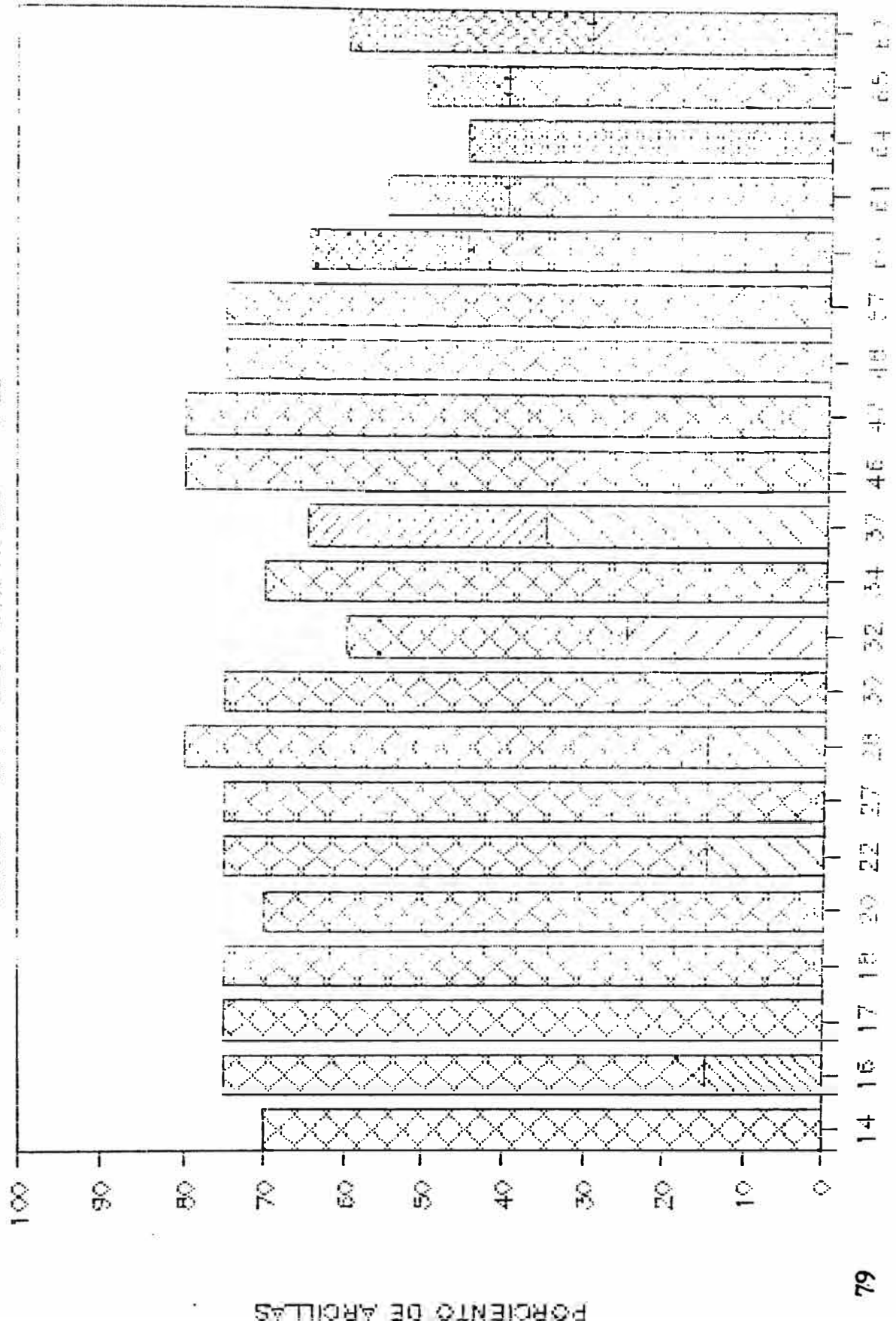
3.1.3 ARCILLAS RESIDUALES DE ROCAS SILICATADAS

El intemperismo del granito en la presencia de humedad puede servir como ejemplo en el que esta roca por desintegración o rotura mecánica permite la acción del agua y del ácido carbónico sobre los silicatos.

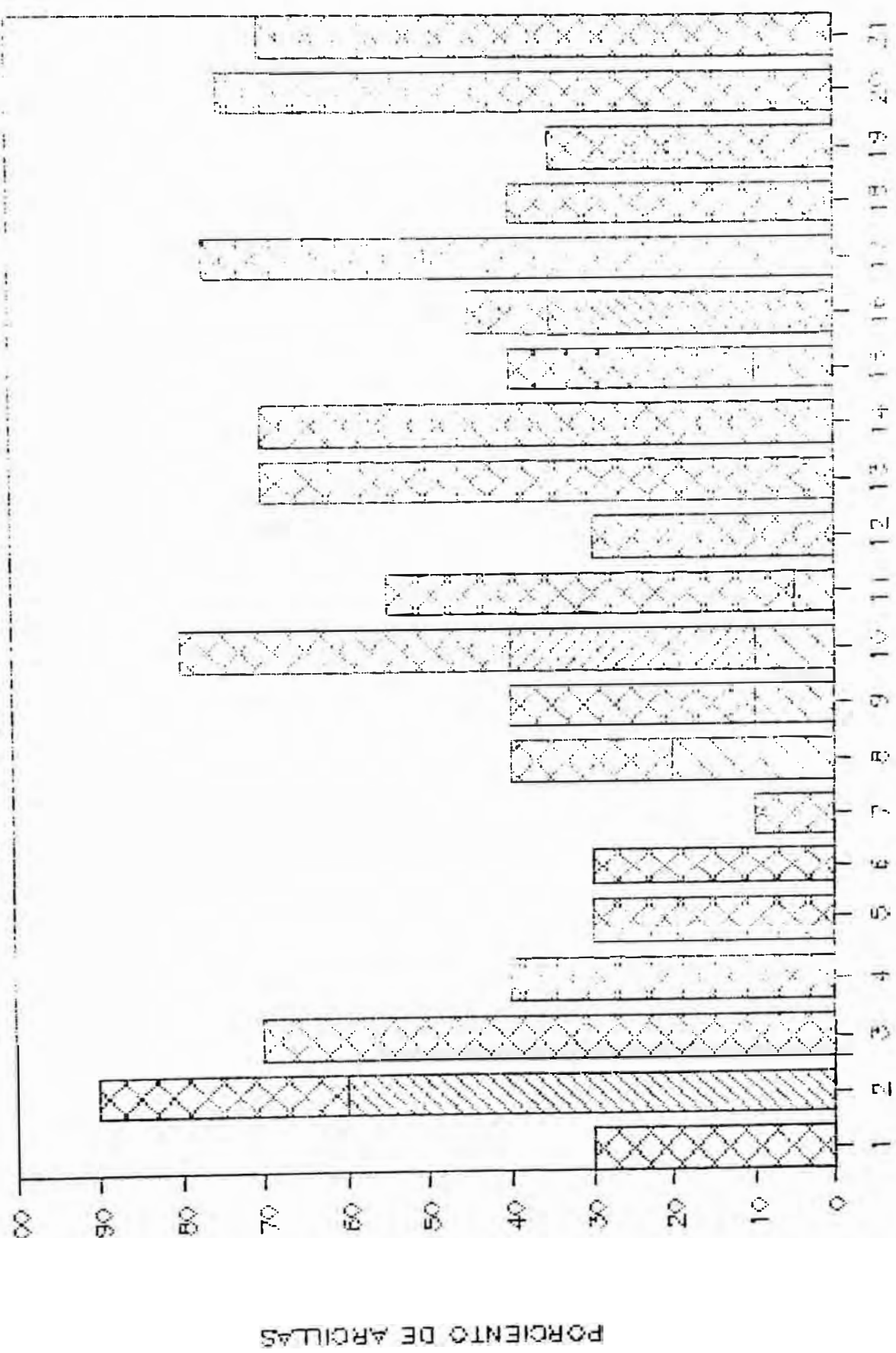
En ciertos casos la observación indica que el CO₂ que toma parte en el intemperismo es generado por la lixiviación por aguas superficiales de capas de materia vegetal en descomposición o de carbón que sobreyacen las rocas feldespáticas.

La velocidad de la solubilidad de supuesto varia con el tipo de mineral; las micas magnesianas son mas solubles que muscovita, y albita mas que la ortosa. Clark encontró que muscovita, lepidolita, flogopita, ortosa, oligoclasa, albita, leucita, nefelina, cancrinita,

ARCILLAS EN SUELOS TROPICALES - FUCALLAMA

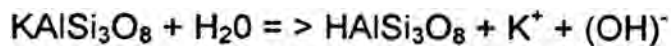


ARCILLAS EN BUELOS - HUAMATELÉ



espodumena, escapolita, y muchas zeolitas, todas solubilizan en agua dando reacción alcalina.

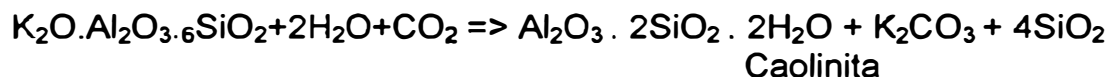
La acción del agua sobre la ortosa es asumida a ocurrir según la siguiente fórmula:



El potasio puede reaccionar con CO_2 para formar carbonatos o bicarbonatos de potasio, o es posible que puede unirse con otros ácidos para formar sales mas solubles que la ortosa en el ácido hidrolizado.

El HAlSi_3O_8 formado es aparentemente inestable, y puede dejar algo de su sílica, resultando en la formación de caolinita, pirofilita, o diáspora, pero el primero de estos aparece a ser mas comúnmente formado en el intemperismo del feldespato.

La reacción dada para la descomposición de la ortosa puede ser:



Es probable que otros silicatos tales como la hornblenda o augita generen silicatos de aluminio hidratado que generalmente no es

caolinita, pero su descomposición procede de una manera similar a los feldespatos. La sílice puede estar presente como cuarzo, sílice coloidal o quizás otras formas.

La presencia de feldespatos no es necesaria para generar arcillas residuales de una roca silicatada por intemperismo. Hay algunas rocas que no contienen feldespatos (tal como las serpentinas), y algunas rocas ígneas básicas con muy poco feldespatos, las cuales producen algunas de las arcillas plásticas mas conocidas tal como las vermiculitas, sepiolita, etc.

3.1.4. ARCILLAS RESIDUALES POR SOLUBILIZACIÓN DE ROCAS CARBONATADAS

Muchas calizas, dolomitas, y yeso contiene impurezas de arcillas. Al interactuar estas rocas con aguas superficiales ocurre solubilización de los carbonatos o sulfatos dejando arcilla insoluble denominada arcilla residual.

3.1.5. ARCILLAS RESIDUALES POR DESINTEGRACIÓN DE LUTITAS

Las lutitas son arcillas consolidadas, la consolidación en muchos casos es el resultado de la presión, y en otros casos ambos presión y cementación son incluidos. Desintegración por el hielo e infiltración del agua puede en muchas instancias causar que la lutita se haga plástica y barrosa generando una arcilla residual.

3.1.6. LATERITAS

Estas representa un tipo peculiar de arcilla residual formada por el intemperismo de diferentes tipos de rocas, bajo condiciones que generan un producto en el que predominan hidratos de aluminio e hidróxidos de hierro. Estos significa que durante el proceso de intemperismo la sílice ha sido eliminada.

Las lateritas son derivadas de diferentes clases de rocas, pero los cambios que llevan a su formación son peculiarmente característicos de los trópicos.

Algunas lateritas son ricas en aluminio y sirven como menas de aluminio, mientras que otras pueden ser suficientemente ricas en hidróxido de hierro para ser utilizados como menas de hierro.

3.1.7. FORMA DE DEPÓSITOS RESIDUALES

La forma de los depósitos es variable dependiendo de la forma de la roca madre. Donde la arcilla residual ha sido derivada de una gran masa de granito o otra roca generadora, el depósito puede formar un manto sobreyaciendo un área considerable. Por otro lado, algunas rocas como las pegmatitas ocurren en masas teniendo un ancho pequeño comparado con su longitud, en este caso el afloramiento de arcilla residual a lo largo de la superficie forma una franja delgada.

Arcillas derivadas de una roca conteniendo mucho óxido de hierro muestran afloramientos con tonalidades de amarillo, rojo o marrón dependiendo de los compuestos de hierro presente.

Entre las arcillas blancas y las brillantemente coloreadas ocurren estados intermedios, de modo que las arcillas residuales varían ampliamente en color.

La profundidad de un depósito de arcilla residual depende de las condiciones climáticas, carácter de la roca madre, topografía y

localización. El decaimiento de la roca procede muy lentamente, y en muchas rocas la velocidad de transformación no es medida en meses o dos años; pero sí en siglos.

Solamente pocas rocas tal como las lutitas o otras rocas terrosas cambian a arcillas en tiempos mesurables. El decaimiento de las rocas ocurre mas rápidamente en climas húmedos y consecuentemente en tales regiones se tiene mayor espesor de material residual. El espesor podría también ser afectado por el carácter de los minerales que forman la roca madre.

Donde la pendiente es suave o la superficie es llana, mucha de la arcilla residual permanecería después de formada.

3.2. ARCILLAS TRANSPORTADAS

3.2.1. INTRODUCCIÓN

Las arcillas residuales raramente permanecen sobre pendientes fuertes, siendo llevadas por el agua y transportadas a zonas bajas algunas veces distantes. Este proceso de lavado y transporte puede ser visto en cualquier banco de arcilla.

Tan distante el río mantenga su velocidad lleva la arcilla en suspensión, pero si su velocidad es disminuida, de modo que el agua se mantiene quieta y libre de corrientes, las partículas comienzan a depositarse en el fondo, formando una capa de arcilla de extensión y delgadez variable. Esta puede ser adicionada de tiempo en tiempo y formar un depósito denominado de **ARCILLAS SEDIMENTARIAS**.

Todas las arcillas sedimentarias son mas o menos estratificadas o hecho de capas. Si no existiera diferencia en el carácter del material depositado, esta formaría una delgada capa homogénea; pero generalmente existe mas o menos variación. Una capa de material muy fino se encontraría encima o debajo de una capa de material grueso. Estas capas pueden también variar en delgadez y desde que hay menos cohesión entre partículas diferentes, las dos capas tienden a separarse a lo largo de su línea de contacto.

Como el material fino puede solamente ser depositado en aguas quieta, y el material grueso en aguas agitadas, las características del depósito depende de las condiciones en que fuese formado.

Si, además en el mismo banco se encuentra que alternan capas de arena, arcillas y gravas; indicaría cambios de aguas

agitadas quietas, y corrientes rápidas sobre las zonas en el cual estos materiales fueron depositados. La evidencia común de corrientes de deposición se ve en la estructura de capas cruzadas de algunas capas de arena que buzan en muchas direcciones diferentes, debido a cambios de corrientes que han depositado arena en capas inclinadas. Las capas de arena finamente estratificada o laminada y arcillas encontradas en muchos de los depósitos del Cretáceo y Terciario de los llanos costeros son ejemplos de cambios rápidos en las condiciones de deposición.

Las arcillas sedimentarias pueden ser distinguidas de las arcillas residuales principalmente por su estratificación, y también por el hecho que comúnmente no tiene una relación directa con la roca infrayacente sobre el cual reposan. Un esquema de capas de arcillas variando en vertical y transversal se muestra en la fig. 29.

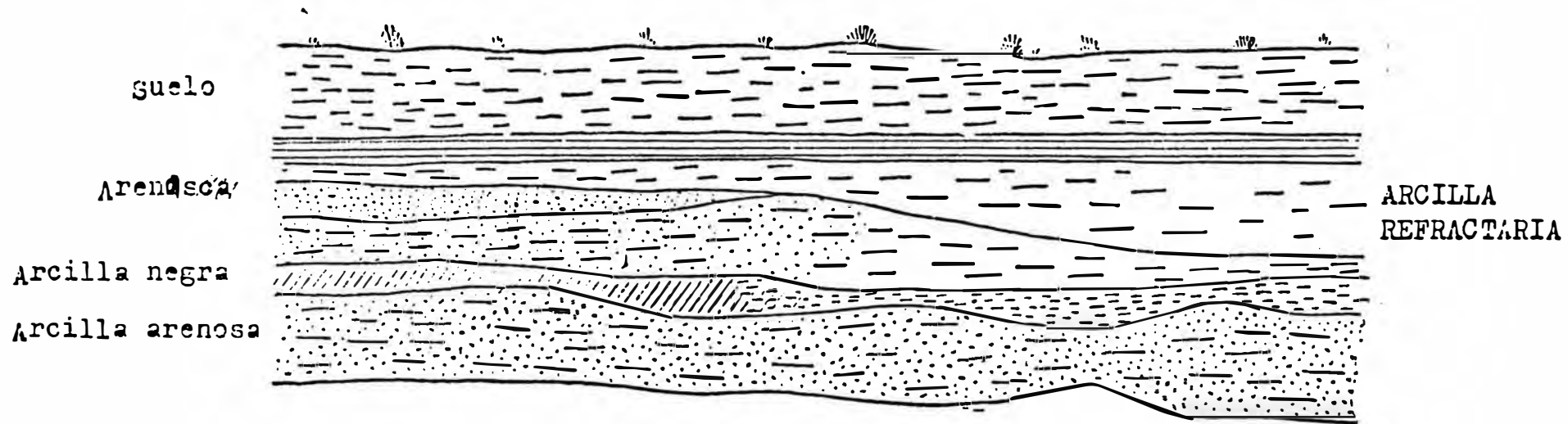
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ARCILLAS SEDIMENTARIAS

Todas las arcillas sedimentarias muestran estratificaciones, pero aparte de esto pueden mostrar irregularidades en su estructura.

Si cualquier capa de arcilla es seguida punto a punto, puede mostrar variaciones en espesor, esto es adelgazar o engrosar, como se muestra en la figura 29.

Durante la explotación de canteras de arcillas frecuentemente encontramos lentes de arena que se extienden a través del depósito y cruzan cortando diferentes capas, estas han sido producidas por el relleno de canales en el depósito. Ocasionalmente una capa de arcilla puede ser extensivamente gastada por corrientes subsecuentes a su deposición, dejando su superficie muy desigual, y sobre este un material enteramente diferente puede ser depositado, cubriendo las capas iniciales, y rellenando las depresiones en su superficie. Si la erosión ha sido profunda, en huecos adjuntos en el mismo nivel podemos encontrar arcilla en un caso y arena en el otro. Tales irregularidades son conocidas a ocurrir en arcillas y lutitas.

En muchas instancias los cambios en el depósito pueden ser claramente visibles.



ROCA MADRE
 SECCION GENERAL MOSTRANDO CAPAS DE ARCILLAS VARIANDO EN VERTICAL
 Y TRANSVERSAL

Fig. 29

3.2.2. ARCILLAS MARINAS

Esta clase de arcillas sedimentarias son depositadas en el fondo del océano a distancia de la costa; ya que cerca de la playa el agua es poco profunda y disturbada; depositándose solamente materiales gruesos. Las capas de arcilla de este tipo pueden ser de vasta extensión y gran espesor, mostrando variación horizontal y vertical, porque los ríos fluyen al océano llevando diferente clases de material.

De esta manera un drenaje puede llevar de un área arcilla ferrosa, y otro drenaje arcilla blanca o levemente coloreada. Cuando el sedimento se deposita sobre el fondo, las áreas de deposición pueden superponerse, y allí podría formarse de este modo una zona intermedia hecha de una mezcla de los dos sedimentos. Esto podría mostrarse posteriormente como una transición horizontal de un tipo de arcilla a otra. Estos cambios pueden ocurrir gradualmente, o a veces dentro de la distancia de unos pocos metros.

Las capas mas persistentes de esta clase son encontrada en las rocas del Siluriano, Devoniano, y Carbonífero, pero capas de considerable extensión horizontal son a veces encontradas en formaciones del Mesozoico.

3.2.3. ARCILLAS ESTUARINAS

Constituyen cuerpos de arcillas que están en brazos poco profundos del océano, siendo encontradas en áreas que son comparativamente largas y delgadas, con los depósitos mostrando una tendencia hacia forma de cuencas. Si fuertes corrientes entran al estuario por su parte final superior, el asentamiento de la arcilla puede ser prevenido; excepto en áreas de agua quieta alejadas de la bahía. Si el estuario es suministrado por un río de baja velocidad, las arcillas finas serían encontradas a distancia de la desembocadura del río. En tales casos podría anticiparse un incremento en el espesor de la capa de arcilla o series de capas a medida que nos alejamos de la vieja línea de playa que servía de desembocadura al río.

Las arcillas estuarinas frecuentemente muestran laminaciones arenosas y asociado con pantanos de playa, debido al relleno gradual del estuario y el crecimiento de plantas sobre los lodos planos formados.

3.2.4. ARCILLAS DE LAGOS

Formada en depresiones ocupadas por lagos o pantanos. Ellas representan un tipo común en extensión y espesor variable con formas más o menos de la cuenca.

No muestran frecuentemente capas alternantes de arcilla y arena; siendo esta última muy delgada, pero permite separar las capas de arcilla fácilmente.

Muchas de estas arcillas son directamente o indirectamente de origen glacial, que han sido dejados en cuencas o en valles que han sido represados por la acumulación de masa arcillosa.

Son generalmente depósitos superficiales, de espesor variable, frecuentemente altamente plásticas, y más o menos impura. Su uso principal es para ladrillos comunes, son raramente de carácter refractario.

Algunas arcillas muestran un bandeamiento característico (varvas), que representan acumulaciones estacionales.

Las formadas en períodos geológicos tempranos pueden haber sido cubiertas por otros sedimentos.

3.2.5. ARCILLAS DE TERRAZAS

Muchos ríos, especialmente en valles amplios son bordeados por una terraza o llanura, que algunas veces se extienden como una serie de capas encima de la márgenes de los valles. El inferior de estos es frecuentemente cubierto por el río durante períodos de avenida de agua, y son denominados aluviones. Muchas veces sedimento arcilloso es adicionado a la superficie de esta terraza aluvional, y de esta manera un depósito de arcilla aluvional puede ser construida.

Debido al hecho que allí hay generalmente algún asentamiento sobre el aluvión cuando es sobrecubierto, los sedimentos finos no pueden asentarse, excepto en zonas protegidas, y consecuentemente muchas arcillas de terraza son arenosas, con algunos lentes de arcilla fina y plástica. Ellas también frecuentemente contienen mas o menos materia orgánica. A lo largo de su borde interno la terraza puede ser cubierta por una mezcla de arcilla, arena y fragmentos de pendientes vecinas.

Donde varias terrazas son halladas indica que el drenaje era inicialmente en los niveles altos, y que corto las capas, representando cada terraza un primer aluvión. Aún a lo largo del mismo drenaje, sin

embargo, las arcillas de varias terrazas pueden variar ampliamente en su carácter, las de una terraza son apropiadas para cerámica y la arcilla de la terraza siguiente disponible solo para ladrillos comunes.

Los depósitos de aluviones pueden mostrar considerable irregularidad, con gradaciones entre arcilla, arena y gravas.

3.2.6. ARCILLA DE DELTA

Son supuestas de haberse depositadas en aguas quietas cerca al frente final de los ríos, o cuencas sobre la superficie de deltas. Pocos depósitos de este tipo han sido descritos, y sin embargo ellos probablemente en muchos casos podrían ser limosos e impuros. Ocasionalmente algunos depósitos interesantes de este tipo pueden ocurrir en deltas del Eoceno.

3.2.7. ARCILLAS TRANSPORTADAS Y DEPOSITADAS POR GLACIARES

Son depósitos de arcillas directamente formado por el glaciar. Estos arcillas son generalmente duras, densas, arenosas, y frecuentemente conteniendo muchas partículas.

Los depósitos son de extensión limitada, impura, y de poco valor.

En adición a este tipo de arcilla formado directamente por el hielo, allí hay arcilla depositada en lago o a lo largo de aluviones generado por el drenaje del glaciar. Estos están compuestos de material derivado del glaciar, y depositados por el agua siendo estratificados, pudiendo ser clasificados como lacustres, estuarinos, o aluvional de edad glacial.

3.2.8. ARCILLAS EÓLICAS

Frecuentemente son arcillas calcáreas, denominadas loess. Formadas por acción del viento, siendo arcillas transportadas que muestran estructura estratificada.

3.2.9. ARCILLAS POR DEPOSICIÓN QUÍMICA

Caracterizadas por ser arcillas con abundante alúmina, textura muy fina y fractura concoidal.

En muchos casos el material tiene una textura remarcablemente fina que es difícil un reconocimiento mineralógico al microscopio, pero su composición sugiere la ocurrencia de abundante silicato de aluminio hidratado, tal como la caolinita.

Ocasionalmente estas arcillas contiene cuerpos oolíticos, que examinados al microscopio son hallados a ser compuestos de diáspora o gibbsita. Ha sido sugerido que estas arcillas eran originalmente depositadas como un sedimento coloidal, cuya consolidación ocurrió parcialmente por asentamiento del gel coloidal, pero principalmente como una recristalización de sus silicatos de aluminio hidratados, con la formación de pequeños cristales intercrecidos de caolinita y micas hidratadas.

3.2.10. ARCILLAS REFRACTARIAS

Las arcillas refractarias son encontradas en diferentes lugares bajo o entre capas de carbón, o al menos en la misma serie con ellos.

Las arcillas refractarias además pueden ser intercaladas por lutitas, areniscas, conglomerados, calizas. Las capas raramente muestran un encapamiento distintivo o laminación, ocurriendo en forma de lentes. Ninguna relación definida existe entre la refractariedad de la arcilla y su espesor, o la calidad del carbón al cual es asociado. Muchas de las arcillas refractarias son plásticas.

Una de las teorías que ha sido sugerida para explicar el origen de las arcillas refractarias indica que no existe duda que aguas carbonosas de pantanos han sido fuertemente cargadas con ácidos orgánicos, que podrían haber sido utilizadas para purificar sedimentos de grano fino lentamente filtrados en la cuenca. Además el cociente de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ se aproxima al de la caolinita.

3.2.11. AMBIENTES DE DEPOSICIÓN DE ARCILLAS

TRANSPORTADAS

Las características sedimentarias, estratigráficas y paleontológicas de una determinada formación son los elementos para determinar su medio de deposición. Sin embargo a partir de estos datos y conociendo el medio del depósito puede determinarse la

distribución de minerales de arcilla encontrándose que, de manera general, determinadas asociaciones de minerales de arcilla son características de medios de depósitos específicos. Por otra parte, la variación lateral en la distribución de las asociaciones de minerales de arcilla, se ha utilizado como un determinante de la dirección de transporte de los sedimentos.

Puede utilizarse como indicadora del medio del depósito el ensamble caolinita, illita y montmorillonita. Los estudios en sedimentos recientes realizadas por Nelson (1960), Hirst (1962) y Porrenga (1966), ponen de manifiesto que los sedimentos ricos en caolinita son en general, de carácter continental, fundamentalmente de tipo deltaico o de medio costero, mientras que aquellos sedimentos en que la caolinita disminuye en favor de la montmorillonita, pueden interpretarse como correspondientes a medios de carácter marino, fundamentalmente de tipo nerítico.

Groot y Glase (1960) a partir del estudio de sedimentos Cretáceos de Nueva Jersey (USA) proponen para cada tipo de asociación de minerales de arcilla, un medio de deposición; los cuales se dan en la tabla siguiente:

3.2.12. ASOCIACIONES DE MINERALES DE ARCILLA Y MEDIOS PROBABLES DE DEPOSICIÓN

MEDIOS SUGERIDOS	Caol.	Clo.	Mont.	Glauc.	Micas
Deltaico, lacustre, fluvial.	++	-	-	-	+
Estuario y lagos Salobres	+	+	-	-	+
Nerítico					
Interior	+	+	+	+	+
Medio	-	+	+	+	+
Externo	-	-	++	+	+
Caol :	Caolinita				
Clo. :	Clorita				
Mont. :	Montmorillonita				
Glauc.:	Glauconita				

Estudios sobre sedimentos Cretáceos, en los que se obtiene las mismas conclusiones en cuanto al medio del depósito se deben a Heron (1969), quien indica para la caolinita un medio de depósito no marino y para los sedimentos son montmorillonita un depósito de tipo marino.

Parham (1966), realizó una síntesis de los datos existentes, representando asociaciones de minerales de arcilla y los medios de disposición, así como las variaciones laterales de estas asociaciones y su significado en la determinación de la dirección del transporte de los sedimentos tal como se muestra en la figura 30.

3.3. DISTRIBUCIÓN DE YACIMIENTOS DE ARCILLAS ACTIVOS DEL PERÚ

En base a los diferentes yacimientos de arcillas en explotación, donde predominan arcillas de origen supérgeno. Se considera principalmente las siguientes rocas arcillosas denotadas por:

ARCILLA: Corresponde a una roca que contiene un ensamble de minerales arcillosos.

BENTONITA : Cuando en la roca arcillosa predominan arcillas expandibles, siendo el mineral de mayor abundancia la montmorillonita.

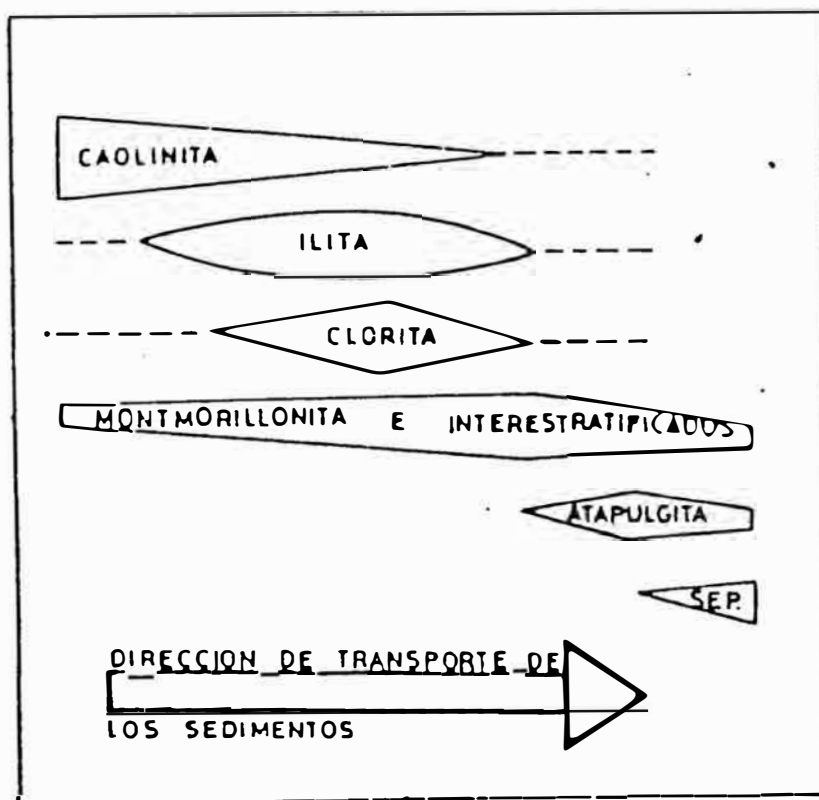
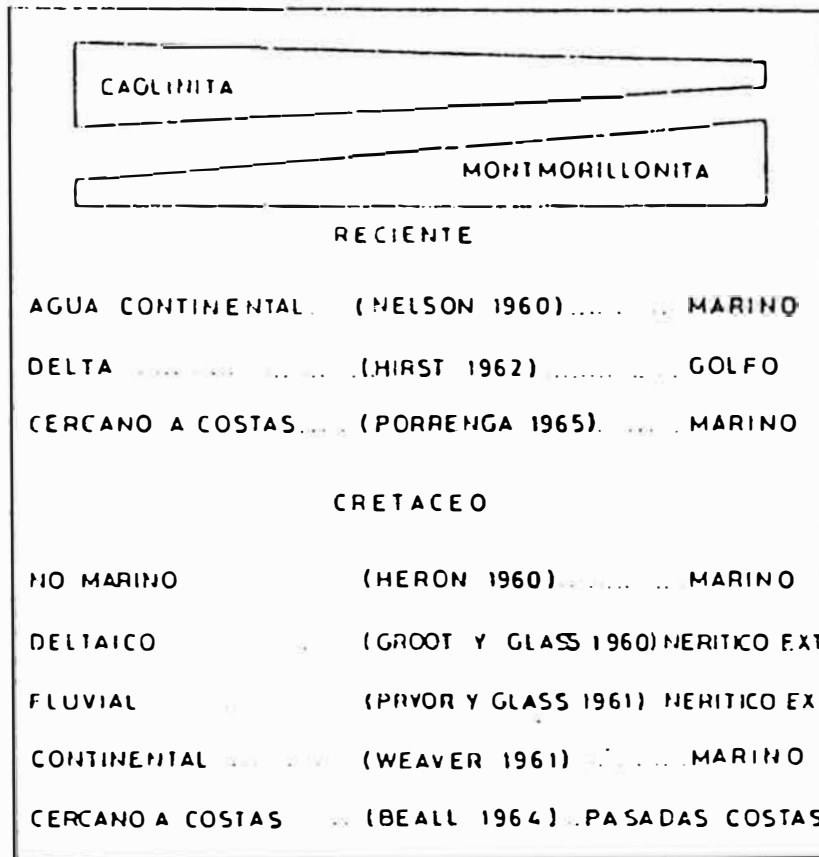


Fig. 30

CAOLÍN: cuando predominan rocas arcillosas blanquecinas, predominando el mineral caolinita.

Los números entre paréntesis que siguen a la denotación de la roca indican la cantidad de yacimientos activos.

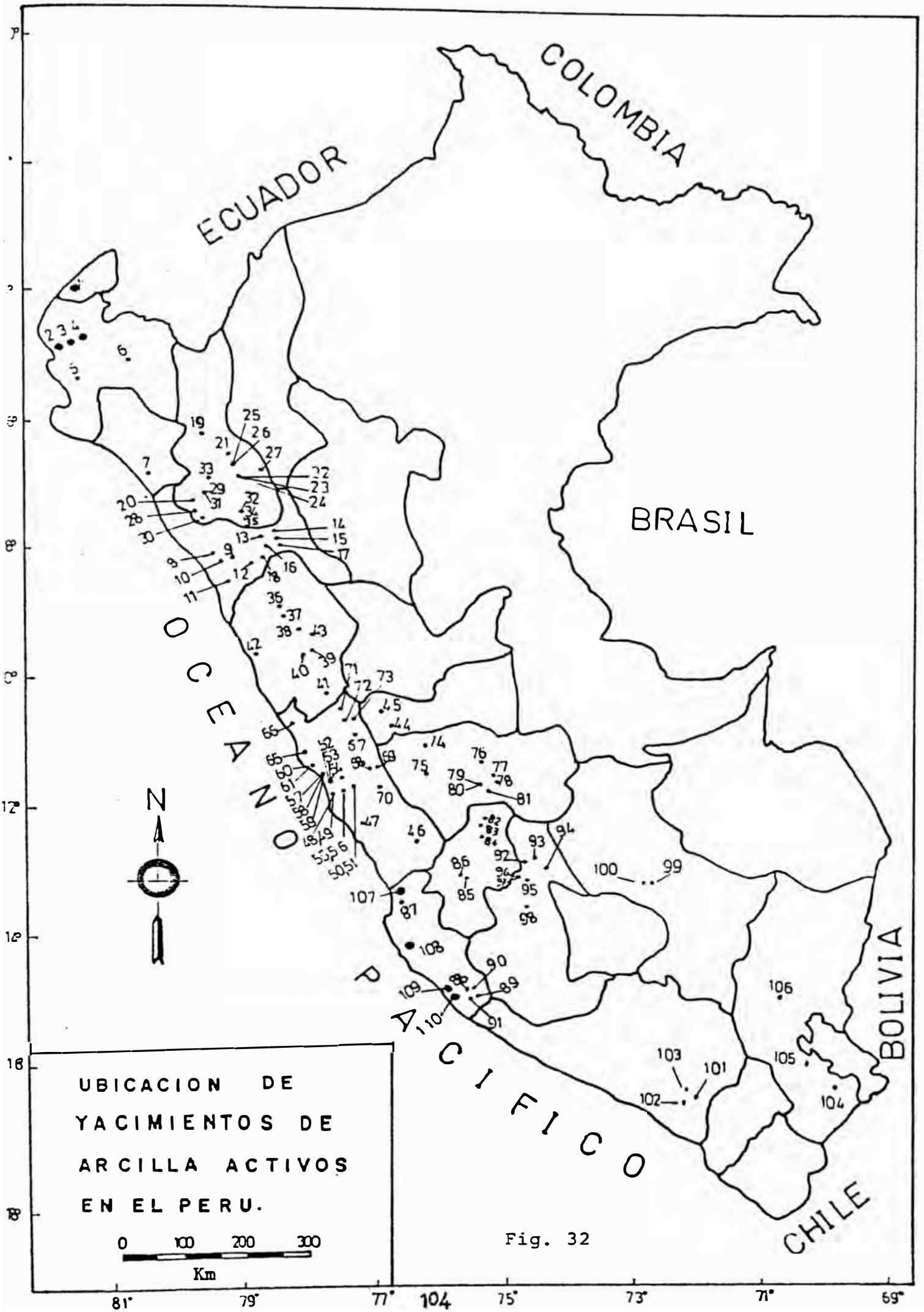
La distribución por departamentos se esquematiza en la Fig. 31 y su ubicación se representa en el plano del Perú de la Fig. 32; dándose en el anexo 1 la relación de los yacimientos.

A continuación se indica por departamento el tipo de roca arcillosa y entre paréntesis el número de depósito:

DPTO. TUMBES

BENTONITA (1):

Un depósito del Eoceno Superior-Oligoceno, ubicado en el distrito de Zorritos, en el área comprendida entre La Salina y la Quebrada Rincón, donde el nivel bentonítico está cubierto por una arcilla pizarrosa y materiales cuaternarios; explotado a cielo abierto y utilizado para lodos de perforación, arenas de moldeo, y decoloración.



UBICACION DE
YACIMIENTOS DE
ARCILLA ACTIVOS
EN EL PERU.

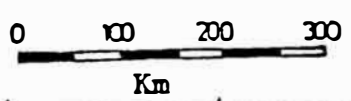


Fig. 32

81° 79° 77° 104° 75° 73° 71° 69°

DPTO. PIURA

ARCILLAS (2)

Yacimientos de forma lenticular constituidos por materiales Cuaternarios de tonalidades marrones recubiertas por arenas y conglomerados, alternativamente. Ubicados uno al W de Piura en el paraje denominado Romero, y la otra en las proximidades de la población de Chulucanas. Se utilizan en la fabricación de ladrillos.

BENTONITAS (52)

Estos depósitos pertenecen a la Formación Chira, de edad Terciaria y se encuentran intercalados entre capas de lutitas grises a pardo rojizas y areniscas. La potencia de las capas de bentonita oscila entre 1.30 y 2.50 m. Ubicadas en la zona de confluencia de las provincias de Paita, Sullana y Talara al Norte del río Chira. Se explotan a cielo abierto y se utilizan para lodos de perforación, arenas de moldeo y decoloración.

DPTO. LAMBAYEQUE

ARCILLAS (1)

Depósito de arcilla de edad Cuaternaria que se presenta en los depósitos aluviales de la costa mezclada con gravas y arenas; se presenta en forma de lentejones utilizados para la fabricación de adobes, ladrillos y tejas. La única explotación se encuentra próxima a la Base Aérea, al SE de la población de Chiclayo.

DPTO. DE LA LIBERTAD

ARCILLAS (13)

Estos depósitos corresponden a edades Jurásica, Cretácea y Cuaternaria.

Las de edad Jurásica son de tonalidad oscura (arcilla refractaria) y se encuentran alternándose con niveles de lutitas y areniscas. Las dos explotaciones existentes se localizan al SW de Curgos, en la Provincia de Sánchez Carrión, explotándose a cielo abierto y utilizándose en la fabricación de ladrillos refractarios, lozas y porcelanas.

Las arcillas Cretácicas ocurren en cinco depósitos. Tres corresponden al Cretáceo inferior y dos al Cretáceo medio; siendo las primeras de tonalidad grisáceo blanquesino (caolinita) y plásticas, y la otra de tonalidades claras. Se utilizan en la fabricación de refractarios, lozas y porcelanas además de relleno de papel.

Las arcillas Cuaternarias se encuentran en grandes depósitos que constituyen las pampas de la planicie costanera, ocurriendo alternadamente con gravas y arenas, siendo de tonalidades beige y marrones. Utilizados para ladrillos.

CAOLÍN (3)

Estos caolines se encuentran formando un manto intercalado entre las arenas y lutitas de la formación Chicama, como un material blanco y blando en cuya masa se encuentran cristales de cuarzo y escasas laminillas de mica.

En el yacimiento ubicado al SE de Sta. Cruz de Chuca, en la provincia de Santiago de Chuco, ocurre el caolín como una alteración de los feldspatos que configuran afloramientos

volcánicos, o intercalado entre los derrames volcánicos y piroclastos de composición andesítica, lutitas, areniscas y cuarcitas de la Formación Casma.

La explotación se realiza a cielo abierto en forma manual, utilizándose para la fabricación de lozas, porcelanas y esporádicamente para refractarios.

DPTO. CAJAMARCA

ARCILLAS (19)

Las canteras de arcillas Jurásicas en número de 8 están en la Formación Chicama, y se encuentran intercaladas, con areniscas de tonalidad parda, y lutitas oscuras; estas arcillas de colores claros parece ser que son ricas en alúmina. Estos depósitos se ubican en los distritos de Cascas y San Benito.

Dentro de la Formación Farrat de edad Cretácicas inferiores y en la zona de Namora en la Provincia de Cajamarca, ocurren dos canteras de arcillas de tonalidades blanquecinas, que parece son ricas en caolinita. Utilizados en lozas, porcelanas y refractarios.

Ocho canteras de edad Cuaternaria localizados en la Provincia de Cajamarca, distrito de Baños del Inca y en las de Contumazá y Chota, están constituidas por horizontes de material fino arenoso-arcilloso, entre los que se intercalan ocasionalmente lentes de gravas y pequeños conglomerados. Se utilizan en ladrillos y para la fabricación de cemento.

CAOLÍN (2)

Ocurre como un nivel arcilloso de tonalidad blanquecina amarillenta muy plástica, que puede tener un alto contenido de caolinita. Se ubica al Este de la localidad de Namora y próxima a la Hda. Gijón, en la provincia de Cajamarca, donde se han señalado los únicos yacimientos de caolín registrados en este departamento.

DPTO. ANCASH

ARCILLAS (7)

Ocurren siete depósitos, de los cuales seis de ellos están localizados en el Callejón Interandino y uno en la Costa.

Son arcillas de edad Cuaternaria que están constituyendo pequeños lentejones en los depósitos aluviales encontrados en las márgenes de los diferentes ríos; en algunas ocasiones se encuentran intercalados entre bandas de gravas y arenas. Extraídos a cielo abierto y utilizados para ladrillos y tejas.

CAOLÍN (2)

Ocurren dos depósitos en la provincia de Carhuaz, producidas por alteración meteórica de rocas ricas en feldespatos. Explotación a cielo abierto y utilizados en la fabricación de aislantes, lozas y porcelanas.

DPTO. DE PASCO

ARCILLAS (1)

Cantera del Cretáceo inferior perteneciente a la formación Goyllarisquizca, de tonalidades blanquecinas y muy plástica con posible alto contenido de caolinita, se localiza en provincia Daniel A. Carrión, en el distrito de Santa Ana de Tusi. Explotación mediante galerías y se utiliza en refractarios.

CAOLÍN (1)

Materiales cuaternarios de tonalidad blanquecina grisáceo, producto de la alteración de rocas volcánicas ácidas que afloran en el distrito de Ninacaca, provincia de Pasco.

DPTO. DE LIMA

ARCILLAS (28)

Ocurren materiales arcillosos que pertenecen a niveles de edad Cretácica y Cuaternaria. Ubicados en la provincia de Lima, en los distritos de Carabaylo, Puente Piedra y San Juan de Lurigancho.

Las arcillas Cretácicas se presentan alternando con niveles de lutitas pizarrosas, arena, areniscas, calizas y conglomerados en los diferentes miembros de la Formación Puente Piedra siendo de tonalidades grisáceas y marrones normalmente oscuras y muy arenosas. Ocurren también canteras de arcillas Cretácicas en los distritos de Huaral y Supe (Chancay) y Chilca y Matucana (Huarochiri).

Arcillas Cuaternarias ocurren en Pirca (Canta), San Mateo

(Huarochirí) y Tupe (Yauyos). Estos materiales son de colores grisáceos y beige claros que se presentan intercalados con niveles arenosos; en algunas zonas presentan tonalidades blanquecinas, por posible enriquecimiento de caolinita producto de alteración de rocas volcánicas.

Explotación artesanal y mecanizada para uso en ladrillos, lozas, porcelanas y refractarios.

CAOLÍN (4)

Ocurren al NW y S de la localidad de Oyón en la provincia de Cajatambo, provienen de la alteración de rocas aflorantes del volcánico Callipuy o pequeños intrusivos ricos en feldespatos. Este material blanquecino-grisáceo se extrae a cielo abierto utilizándose para lozas, porcelanas, carga para papel.

DPTO. DE JUNÍN

ARCILLAS (10)

Se han ubicado 10 depósitos, de los que cinco corresponde a

arcillas Cretáceas localizadas en la provincia de Huancayo en el área de los distritos de Chongos Alto y Chacapampa, pertenecen a niveles del Grupo Goyllarisquizca y son de tonalidad blanquecina, son ricas en fracción arenosa y se encuentran asociadas a los niveles carbonosos de este grupo, ocurriendo en forma de lentejones con espesores máximos de 2.5 m. Se utiliza en la fabricación de refractarios, lozas y porcelanas.

Los depósitos de arcillas cuaternarias, se localizan en las provincias de Huancayo, Jauja y Tarma, siendo de tonalidad rosácea a rojiza y marrón, hallándose en forma de grandes lentejones. Utilizándose para ladrillos.

DPTO. DE HUANCAVELICA

ARCILLAS (3)

Ocurren en dos explotaciones situadas en niveles de la Formación Goyllarisquizca del Cretáceo inferior y una de edad Reciente. Utilizados en la fabricación de ladrillos y aparatos sanitarios.

CAOLÍN (2)

Materiales producto de la alteración de rocas volcánicas y riolacitas, de edad Cretáceo Superior-Terciario; ubicados al Norte y Sur del Nevado Antarazo en la provincia de Huancavelica ocurren dos depósitos de arcillas caoliníferas. La explotación es manual, utilizándose en la fabricación de refractarios, lozas, sanitarios, etc.

DPTO. DE ICA

ARCILLAS (4)

Tres de éstos depósitos de edad Cuaternaria están localizados en la provincia de Pisco en el valle del río del mismo nombre, próximas a las localidades de Humay y Pisco, y uno al Sur de Nazca cerca de Poroma presentando intercalaciones de arenas y conglomerados. La que ocurre en Nazca tiene una coloración blanquecina, plástica; rica posiblemente en caolinita.

BENTONITAS (7)

Se localizan en la zona costera del departamento, en las provincias de Chincha, Pisco, Ica y Nazca, próximas a las localidades

de Alto Larán, Paracas, Pampas Chancaray y La Pedregosa, respectivamente. Respecto al afloramiento bentonítico de Alto Larán, se trata de arcillas producto de la alteración de rocas intrusivas Cretáceo-Terciarias, de tonalidades gris-negruzcas y rosadas con diaclasas de yeso e intercaladas de areniscas blanco-grisáceas.

Las bentonitas de las otras provincias son de edad Eoceno Superior y pertenecen a la Formación Paracas; presentan intercalaciones de lutitas y areniscas, son de coloración blanco amarillentas a blanco rosáceas con aspecto terroso. Estas bentonitas son ricas en montmorillonita cálcico-sódica, presentando además ceolita, cristobalita y otros minerales accesorios. Utilizados en la fabricación de pellets de mineral de hierro y lodos de perforación.

CAOLÍN (4)

Son depósitos de arcillas caoliníferas de tonalidad blanca - amarillenta, producto de la alteración de rocas volcánicas dacíticas riodacíticas que ocurren en la Provincia de Nazca, en el distrito del mismo nombre. Se explota a cielo abierto y se utiliza para la fabricación de lozas y porcelanas, refractarios y como carga para papel.

DPTO. DE AYACUCHO

ARCILLAS (8)

Los yacimientos se ubican en las provincias de Huanta y Huamanga, próximas a las localidades de Huanta y Quinua, asimismo hay otros depósitos en Cangallo y San Miguel de las provincias de Cangallo y La Mar respectivamente. De los ocho depósitos. Siete son de edad Cuaternaria y una edad Terciaria Superior.

Las arcillas cuaternarias son de tonalidades que varían entre crema a marrones, alternando en capas de pequeñas dimensiones, la potencia aprovechable de arcilla varía entre 0.70 y 2.20 m. En ocasiones presentan niveles arenosos. Se utilizan en la fabricación de piezas de uso doméstico. En el caso de las arcillas de San Miguel se utilizan para mejorar las cualidades del depósito arcilloso de Quinua.

El depósito arcilloso de edad Terciaria, localizado próximo al cementerio de Quinua, es de tonalidad marrón claro muy plástica y con un espesor mínimo de 0.40 m.

BENTONITA (1)

Producto de la alteración de tobas volcánicas pertenecientes a la formación Huanta del Terciario Superior; ocurre como un material de tonalidad grisácea clara que se presenta en un nivel con una potencia que oscila entre los 7 y 12 m. Se ubica en los alrededores de la población de Socos, próximo a la carretera que la une con Ayacucho.

DPTO. DEL CUZCO

ARCILLAS (2)

De tres posibles yacimientos, dos están en explotación. Son materiales de edad Terciaria o Cuaternaria, con tonalidades rojo-ladrillo, que en ocasiones se transforman en pardas, grises o verdes. Se trata de arcillas de gran plasticidad, subhorizontales con intercalaciones de pequeños nivelillos de otras arcillas más arenosas.

Se utilizan en la fabricación de ladrillos. El otro posible yacimiento se trata posiblemente de una arcilla más rica en alúmina.

Asimismo ocurren tres yacimientos constituidos por arcillas aluviales o eluviales, localizados en las proximidades de las poblaciones de San Pablo y Sicuani que son utilizadas en alfarería o para ladrillos y tejas.

DPTO. DE AREQUIPA

ARCILLAS (5)

Los cinco depósitos están en terrenos Cuaternarios, aflorantes en los distritos de Vitor y Pocsi en la provincia de Arequipa, y en el de San Antonio de Chuca de Cailloma.

Los depósitos arcillosos provienen de la alteración de las rocas que constituyen los macizos circundantes, son de tonalidades grisácea-marrón ocurriendo con intercalaciones de arenas y gravas. En el depósito de San Antonio de Chuca, su tonalidad es gris blanquecina y puede ser debida al posible enriquecimiento en caolinita. Se utiliza en ladrillos y tejas.

DPTO. DE PUNO

ARCILLAS (4)

Corresponden a depósitos de edad Cuaternaria, dos de ellas están entre las localidades de Puno e llave, otra próxima a Macusani u la última en los alrededores de Pucará. Son materiales que presentan tonalidades claras, en ocasiones con niveles arenosos. Se utilizan en la fabricación de ladrillos y posiblemente en refractarios.

CAPÍTULO 4

ARCILLAS DE ORIGEN HIDROTHERMAL

4.1. INTRODUCCIÓN

Ocurren como producto de la interacción de fluidos hidrotermales compuesto por agua, hidrógeno sulfurado, ácido clorhídrico, complejos clorurados metálicos que actúan sobre los silicatos formadores de las rocas cajas de yacimientos; muestran

zonamiento del interior al exterior constituidos generalmente por caolinita, pirofilita, sericita, montmorillonita, clorita, etc.

4.2. ASPECTOS EXPERIMENTALES EN LA FORMACIÓN DE ARCILLAS HIDROTERMALES

Experimentos cualitativos indican, que cuando feldespatos son colocados en reactores al vacío con agua y calentado a unos pocos de cientos de grados centígrados se forman micas y varios minerales arcillosos. La naturaleza de los productos depende de la temperatura, la cantidad de agua, y la presencia de otros materiales adicionados tal como HCl, óxidos de metales o cloruros.

La caolinita se forma a temperatura de alrededor de 300 °C, con o sin HCl adicionado, provisto que los compuestos metálicos son bajos o ausentes; muscovita aparece en altas temperaturas con alta relación de KCl a HCl; montmorillonita es favorecida por óxidos o cloruros de sodio y los metales de tierras alcalinas.

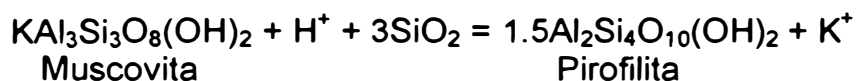
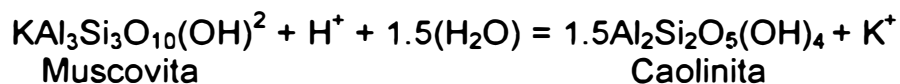
Muscovita y las arcillas pueden también ser producidas bajo condiciones similares si óxidos son utilizados como materiales iniciales en lugar que feldespatos . Estos resultados confirman en general lo

que podríamos esperar de la estructura y composición de los filosilicatos.

Estos datos cualitativos han sido refinados en experimentos por Hemley y sus colegas (1964). En lugar de dejar que la presión de vapor de agua sea determinado por la cantidad de agua colocada en el reactor al vacío en el inicio del experimento, estos experimentadores arreglaron para tener el interior de la bomba conectado con una fuente de vapor de agua colocado en el exterior; de modo que la presión podía ser delicadamente controlada en todo tiempo. La cantidad de HCl y sales de metales alcalinos eran sistemáticamente variados, y la naturaleza de los productos eran determinados en variadas temperaturas.

4.2.1. SISTEMA KASH ($K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$)

Como un ejemplo la figura muestra los productos obtenidos en el sistema $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ bajo una presión de 1,000 atm. De vapor de agua. Los principales equilibrios en este sistema son:



Donde la constante de equilibrio está dada por:

$$K = a\text{K}^+ / a\text{H}^+ \quad (a = \text{actividad})$$

Los experimentos eran realizados en soluciones de cloruro acuoso, donde el cloruro es un componente adicional del sistema. Ambos minerales naturales y sintéticos eran utilizados en la experimentación. La primera ecuación indica la descomposición del feldespato potásico en mica potásico mas cuarzo, la siguiente a la descomposición de la mica potásica a caolinita, y a temperatura mayor de alrededor de 350 °C a pirofilita.

Las relaciones son ploteadas en función de la temperatura y el cociente molar KCl/HCl en las soluciones. La presión era aproximadamente 15,000 psi o aproximadamente 1,000 bars. Se representa en la Fig. 33.

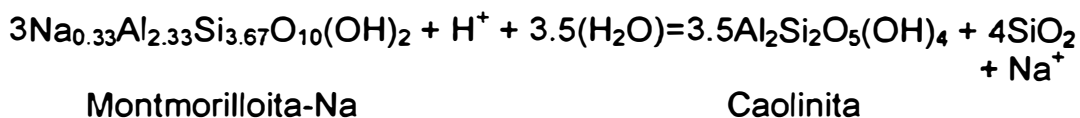
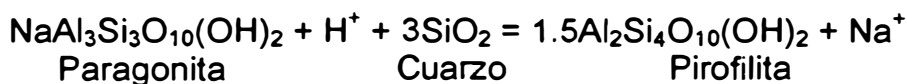
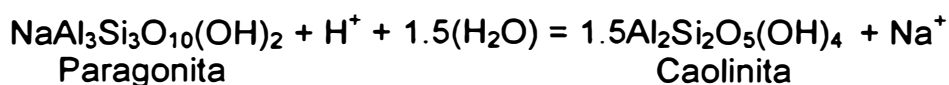
Las rocas silicatadas en muchas áreas de alteración hidrotermal contienen abundante cuarzo libre, y la experimentación esta restringida a reacciones y relaciones de estabilidad en el cual el cuarzo está presenta como una fase. Esto provee un control químico adicional sobre el sistema desde que en equilibrio la actividad de la sílica acuosa es fijada por la presencia de cuarzo.

4.2.2. SISTEMA NASH ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$)

La figura muestra las curvas de reacción para el sistema $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$. Las relaciones mostradas son similares a las de la figura anterior, excepto que las curvas, especialmente la curva mica-caolinita, cambia a valores altos de cloruros alcalino/HCl; donde un campo de montmorillonita-Na aparece a temperaturas inferior en el sistema.

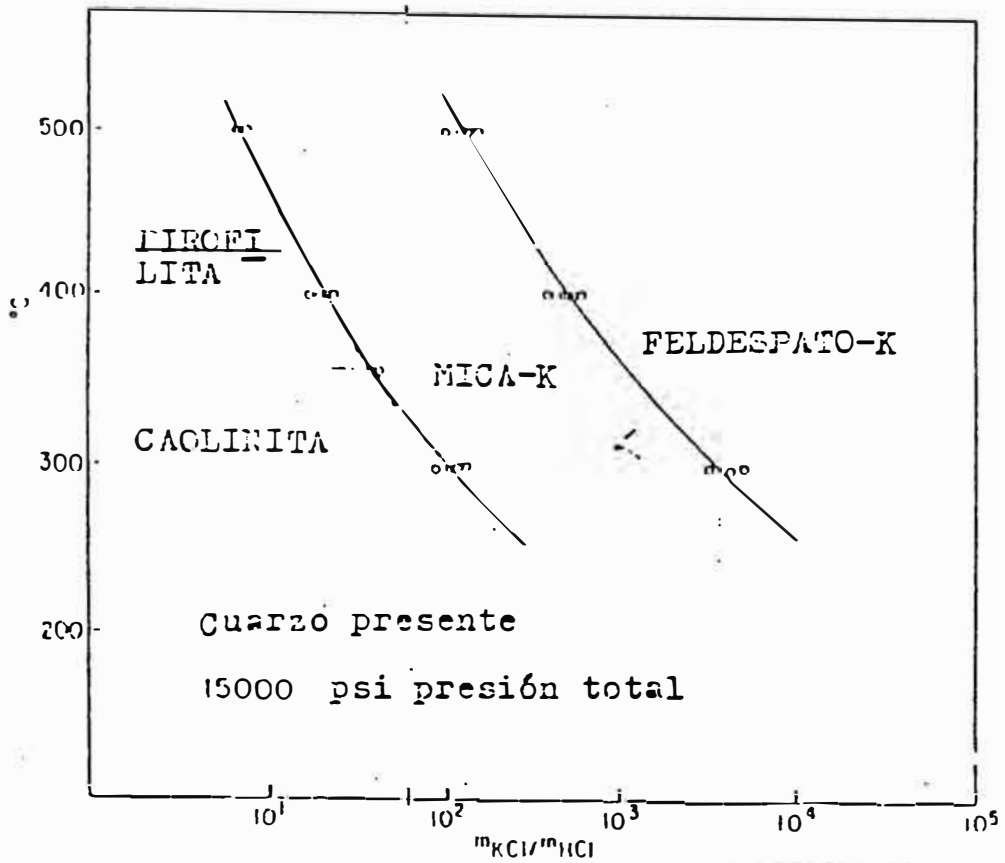
Las reacciones son indicadas por las siguientes reacciones. La composición de la montmorillonita incluida en el equilibrio no son

son conocidas exactamente, y varían con las condiciones de experimentación según las siguientes reacciones:

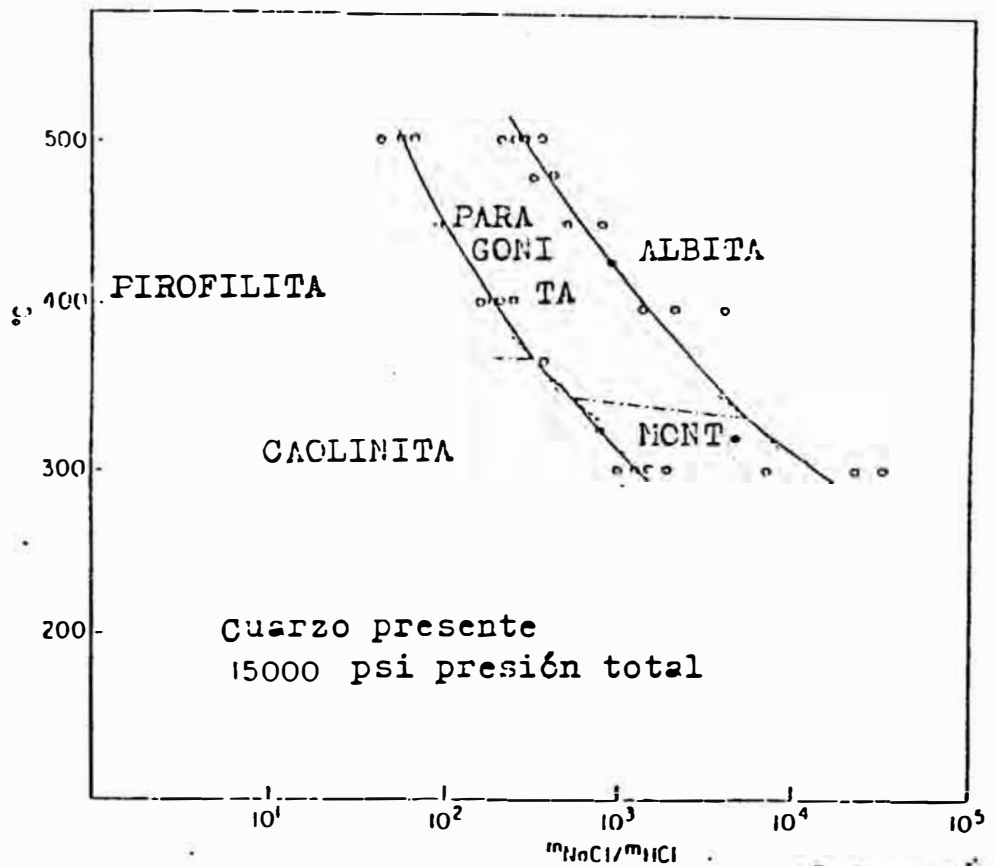


La última reacción no forma sílice cristalizada. La Sílice cristaliza muy lentamente en bajas temperaturas (< 350 °C). En alrededor de 450 °C, y a temperaturas mayores en el sistema con potasio, cristobalita se forma mas rápidamente que el cuarzo en las reacciones a menos que el sistema este inicialmente con semillas de cuarzo.

Las curvas de reacción mostradas en la Fig. 33 son establecidas por aproximación al equilibrio de ambas direcciones. Por ejemplo, colocando feldespato-K en una solución acuosa teniendo un cociente KCl/HCl dentro del campo de estabilidad de la mica-K, la reacción cambia a temperatura y presión constante, consumiendo H^+ , solubilizando K^+ y cambiando el cociente aK^+/aH^+ en la solución hacia el campo límite. Similarmente colocando mica-K y cuarzo en una solución acuosa teniendo un cociente KCl/HCl dentro del campo del feldespato-K, la reacción cambia de derecha a izquierda, consumiendo K^+ , dejando H^+ , y disminuyendo el valor aK^+/aH^+ hacia el mismo campo límite. A bajas temperaturas, debido a la lenta o no cristalización de la sílice, mayor énfasis es colocado sobre la reacción inversa o fijación de iones alcalinos. Con pruebas sucesivas, el valor KCl/HCl correspondiente a la coexistencia estable de feldespato-K, mica-K y cuarzo es definida. La repetición de los puntos de equilibrio mostrado en los gráficos incluye pruebas usando soluciones de cloruro alcalino de concentración variada, pero mucho del trabajo en el sistema del sodio era en soluciones concentradas (>2 molal).



CURVAS DE REACCION PARA EL SISTEMA $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$



CURVAS DE REACCION PARA EL SISTEMA $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$

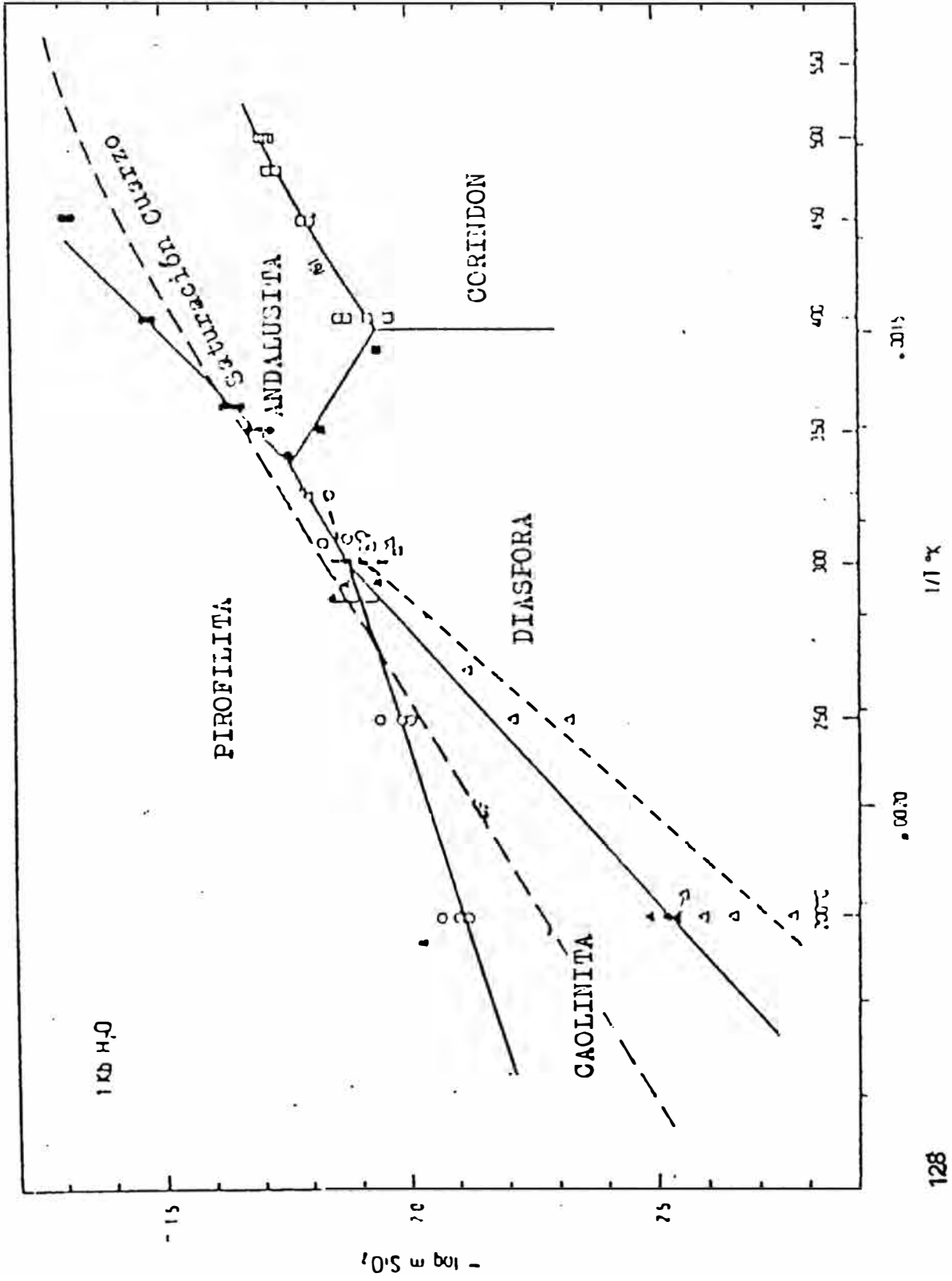
Fig. 33

4.2.3. SISTEMA ASH ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$)

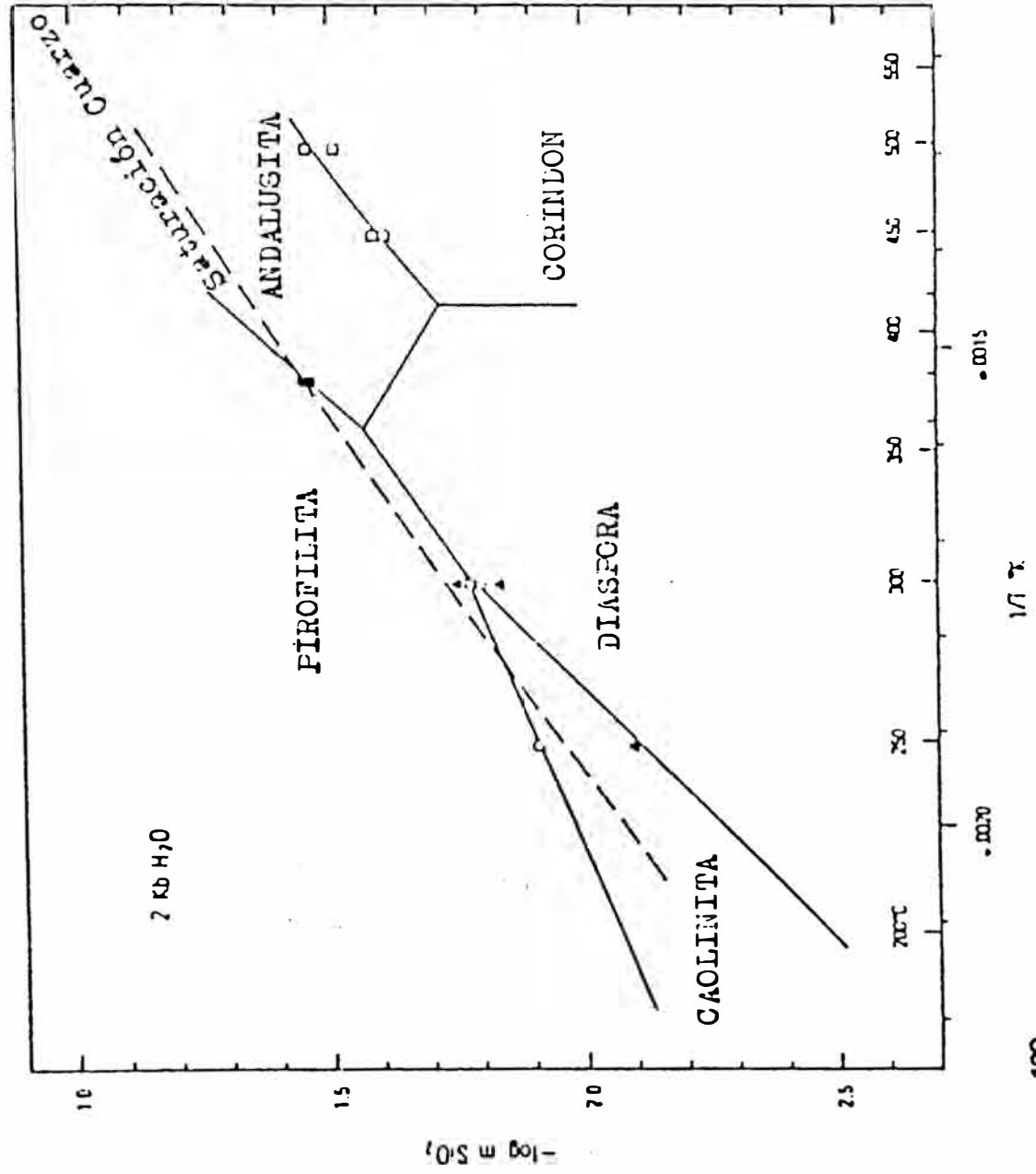
Las relaciones de estabilidad en el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ son establecidos vía el equilibrio dependiente de la sílica acuosa. Los minerales en el sistema indicado se disuelven incongruentemente (no estequiométrico) en agua produciendo una fase acuosa en el cual el cociente Si/Al es mayor que en el sólido disolviéndose. Un material residual relativamente enriquecido en Aluminio es producido y un ensamble de dos minerales se generan. Estas reacciones de disolución de sílice son en su mayor parte fácilmente reversible y pueden ser aplicados en establecer campos de estabilidad mineral. Donde el cuarzo es un constituyente natural común que ocurre en el ensamble de este sistema. La representación gráfica de los datos es ploteada en función de $\log m \text{SiO}_2(\text{acuoso})$ versus $1/T$ y se muestran en las figuras 34 y 35.

Un método de enfriamiento rápido que incluía el uso de reactores cilíndricos y aislados. Después del enfriamiento rápido (alrededor de 30 segundos a temperatura ambiente) las cargas eran extraídas, filtradas, la solución diluida y analizada, y los sólidos examinados por microscopía y rayos X. Aluminio acuoso es típicamente inferior en dos ordenes de

RELACIONES DE ESTABILIDAD EN EL SISTEMA $Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$



RELACIONES DE ESTABILIDAD EN EL SISTEMA $Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$

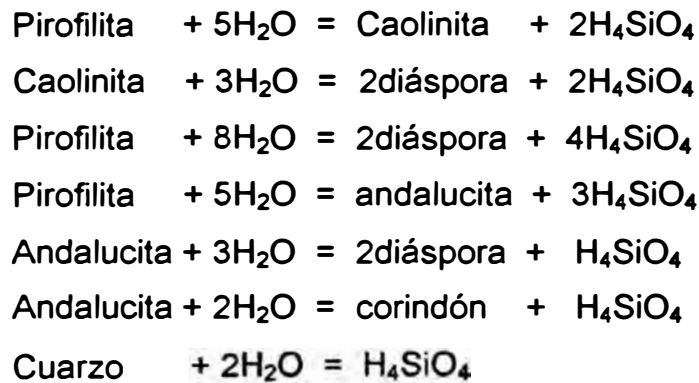


magnitud que el SiO₂ acuoso cerca de su límite de detección.

Con la PH₂O, T y SiO₂ acuoso la composición de la fase fluido es fijada. El peso de las muestras es de 30 mg. de sólidos y 0.7 ml de fase acuosa. Los minerales utilizados son pirofilita, andalusita, diáspora, bohemita (sintético puro), corindón (sintético puro) y caolinita.

Las relaciones (peso sólido)/(peso líquido) es de 1/200 y 1/20.

La figura 34 es el resultado del trabajo experimental a 1Kb; donde las fases límites son establecidas por las reacciones de desilicificación siguientes:



Notación utilizada:

Pirofilita : $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Caolinita : $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Andalucita : Al_2SiO_5

Diáspora : $\text{AlO}(\text{OH})$

Bohemita : $\text{AlO}(\text{OH})$

Corindón : Al_2O_3

Acido silícico : H_4SiO_4

Donde la constante de equilibrio K está dada por:

$$K = [\text{H}_4\text{SiO}_4]/[\text{H}_2\text{O}]^{5/2}$$

El exponente indicado es válido para la primera reacción; siendo diferente para las otras reacciones.

Temperaturas de equilibrio de fases hidratadas determinadas a 1Kb H_2O son:

Caolinita-pirofilita-cuarzo $273 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Caolinita-pirofilita-diáspora $300 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Pirofilita-diáspora-andalucita $337 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Diáspora-corindón $394 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Pirofilita-andalucita-cuarzo $366 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

4.3. ENSAMBLES MINERALOGICOS DE LAS ARCILLAS DURANTE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Un hecho esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un ensamble mineral inicial a un nuevo conjunto de minerales mas estables bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión, y mas importantemente la composición del fluido. Los productos de la alteración se extienden de unos pocos centímetros a metros de los focos de deposición cuando estos ocurren. De la roca no alterada hacia el centro podemos notar zonas sucesivas que incluyen alteración de la plagioclasa a montmorillonita, caolinita, sericita, y(localmente) pirofilita o dickita.

La alteración hidrotermal se manifiesta como una guía de exploración por la posibilidad de estar asociado con una deposición de mineralización.

La estabilidad de los feldespatos, micas, y arcillas es controlada comúnmente por reacciones de hidrólisis en el cual K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , y otros cationes son transferidos del mineral a la solución, y el H^+ entra en la fase sólida.

La alteración hidrotermal en muchas rocas aluminio-silicatadas puede ser clasificada como:

PROPILITICA: Presencia de epidota y/o clorita, y un apreciable metasomatismo o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas, H₂O CO₂, y azufre puede ser adicionado.

ARGILICA INTERMEDIA: Presencia de cantidades importantes de caolinita, montmorillonita, o arcilla amorfa, principalmente reemplazando la plagioclasa; la sericita puede acompañar arcillas; el feldespato de potasio no alterado o argilizado; apreciable lixiviación de calcio, sodio, y magnesio.

ARGILICA AVANZADA: Todos los feldespatos son convertidos a dickita, caolinita, pirofilita, diáspora, alunita, o otras fases ricas en aluminio.

SERICITICA : Ambos feldespatos de potasio y plagioclasas son convertidas a sericita, caolinita en menor proporción puede ocurrir.

POTASICA : Feldespato de potasio y/o biotita se forma como una alteración de plagioclasas o minerales máficos.

Algunos casos de ensambles de alteración hidrotermal se muestran en las figuras 36, 37, 38 y 39.

4.4. CASO DE ARCILLAS DE ORIGEN HIDROTERMAL (ZONA DE ILABAYA-DPTO.TACNA)

Esta zona se ubica en los flancos del río Ilabaya al Norte de Tacna (Fig.40) Emplazada en una región árida de aproximadamente 15 Has. a 1500 msnm. caracterizado por mostrar un zonamiento de alteraciones hidrotermal, ligado al cual se encuentran minerales alumínicos solubles de importancia económica. Siendo un caso de ocurrencia muy especial en el Sur del País.

4.4.1. FISIOGRAFÍA

Está caracterizada por una moderada topografía y un clima semi-árido restringiéndose la poca vegetación a las márgenes angostas del río Ilabaya principal afluente del río Locumba.

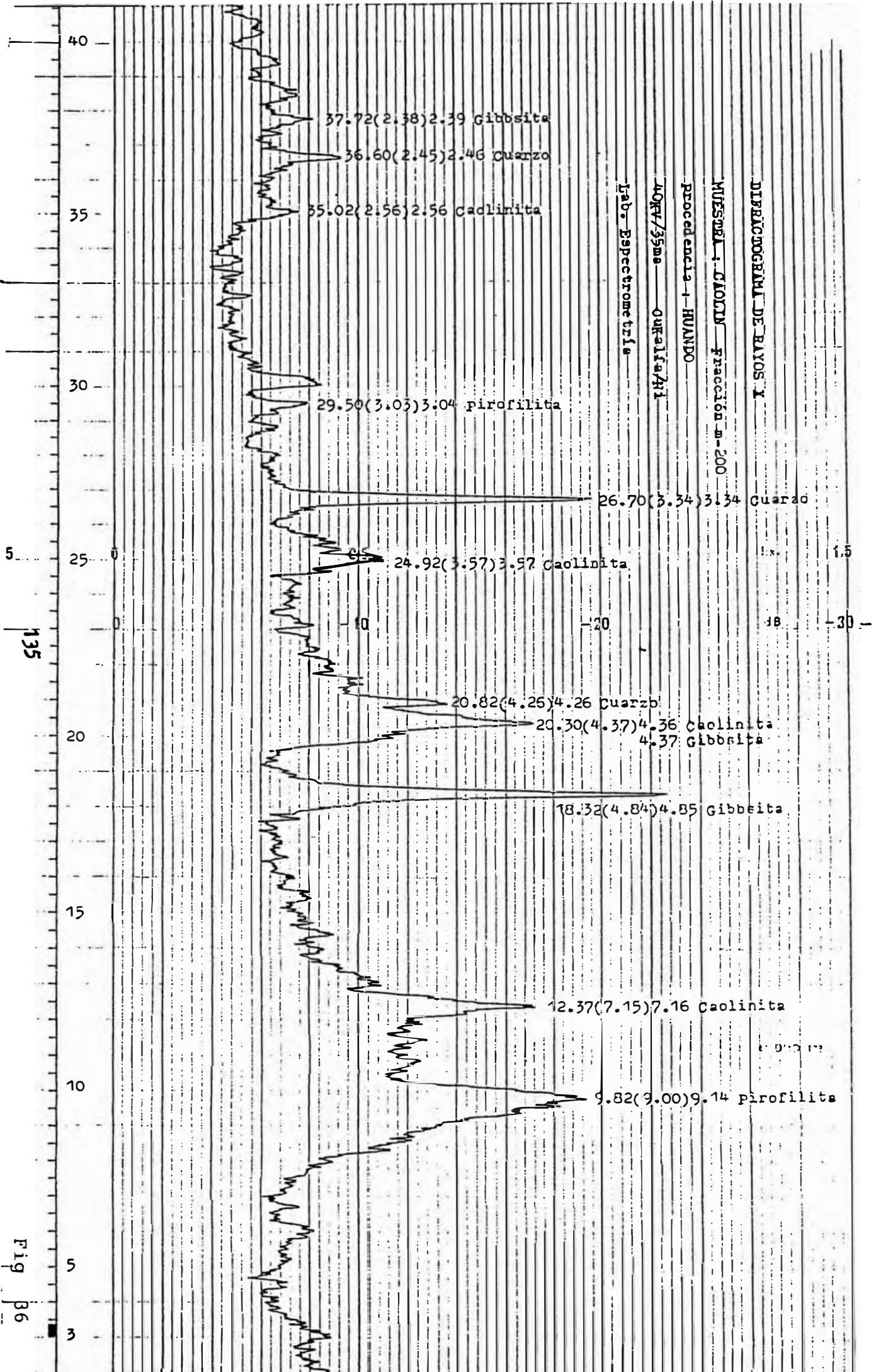


Fig 36

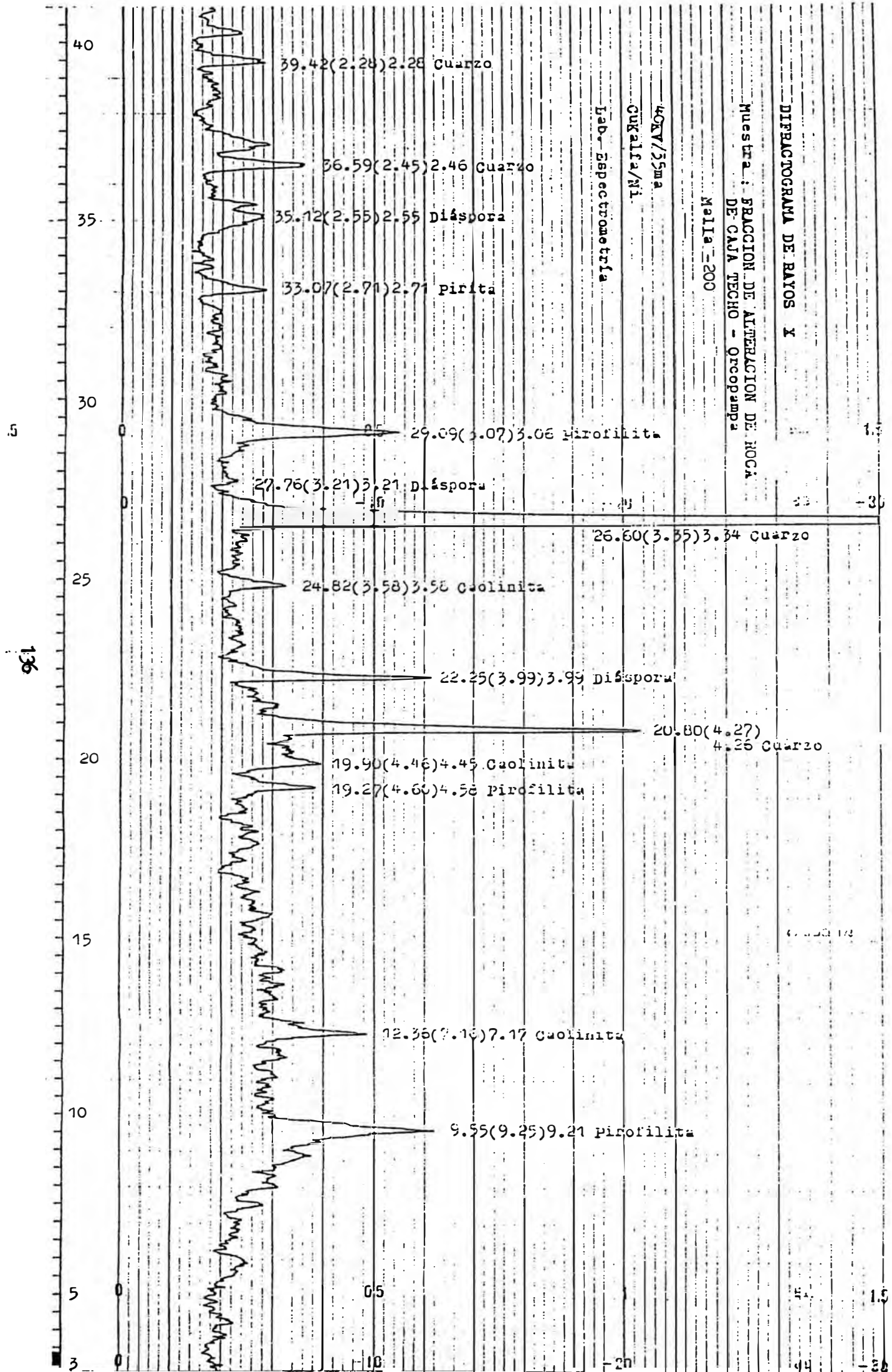
DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Muestra: REACCION DE ALTERACION DE ROCA DE CAJA TECHO - Orcopampa

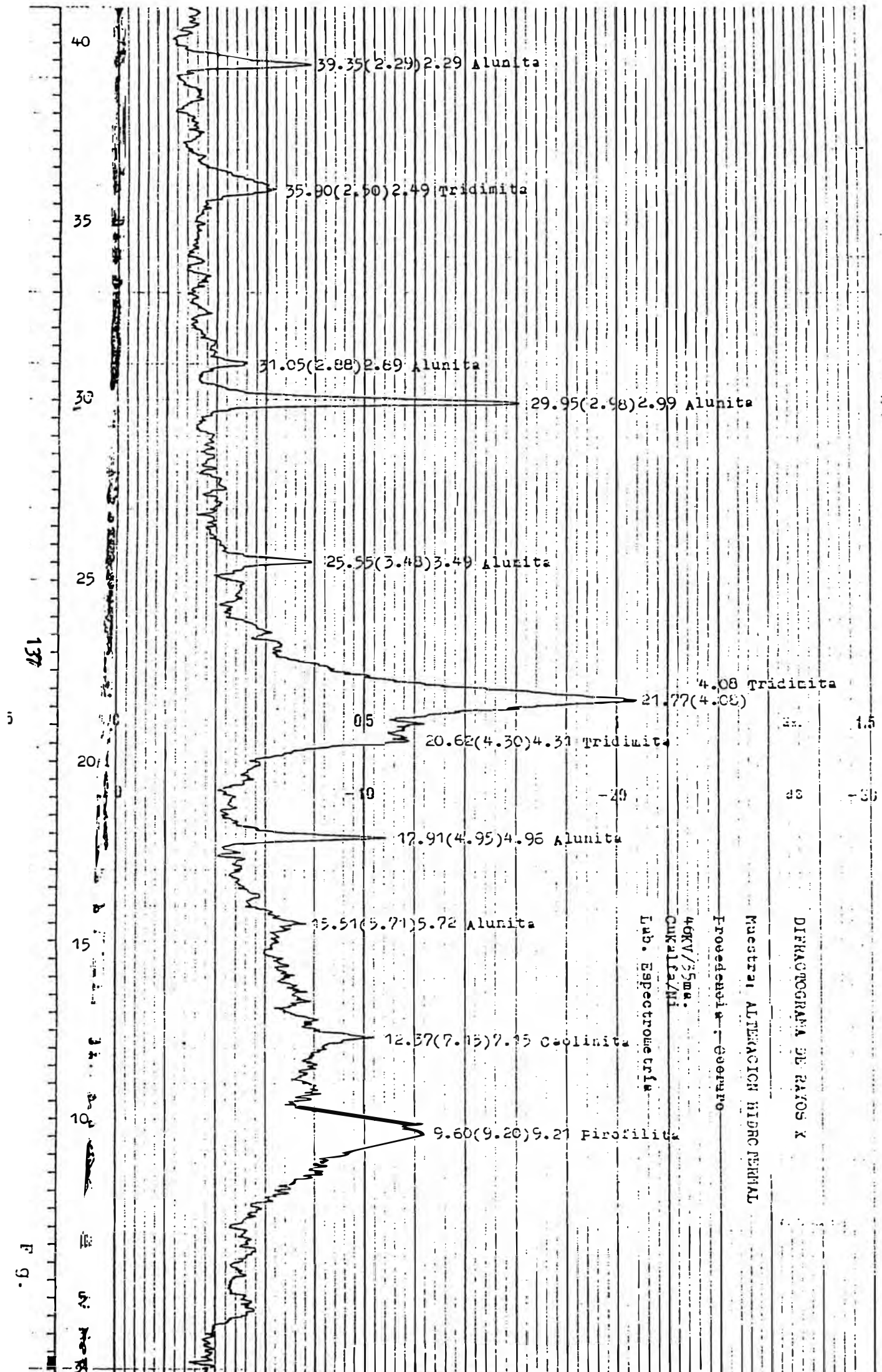
Red - 200

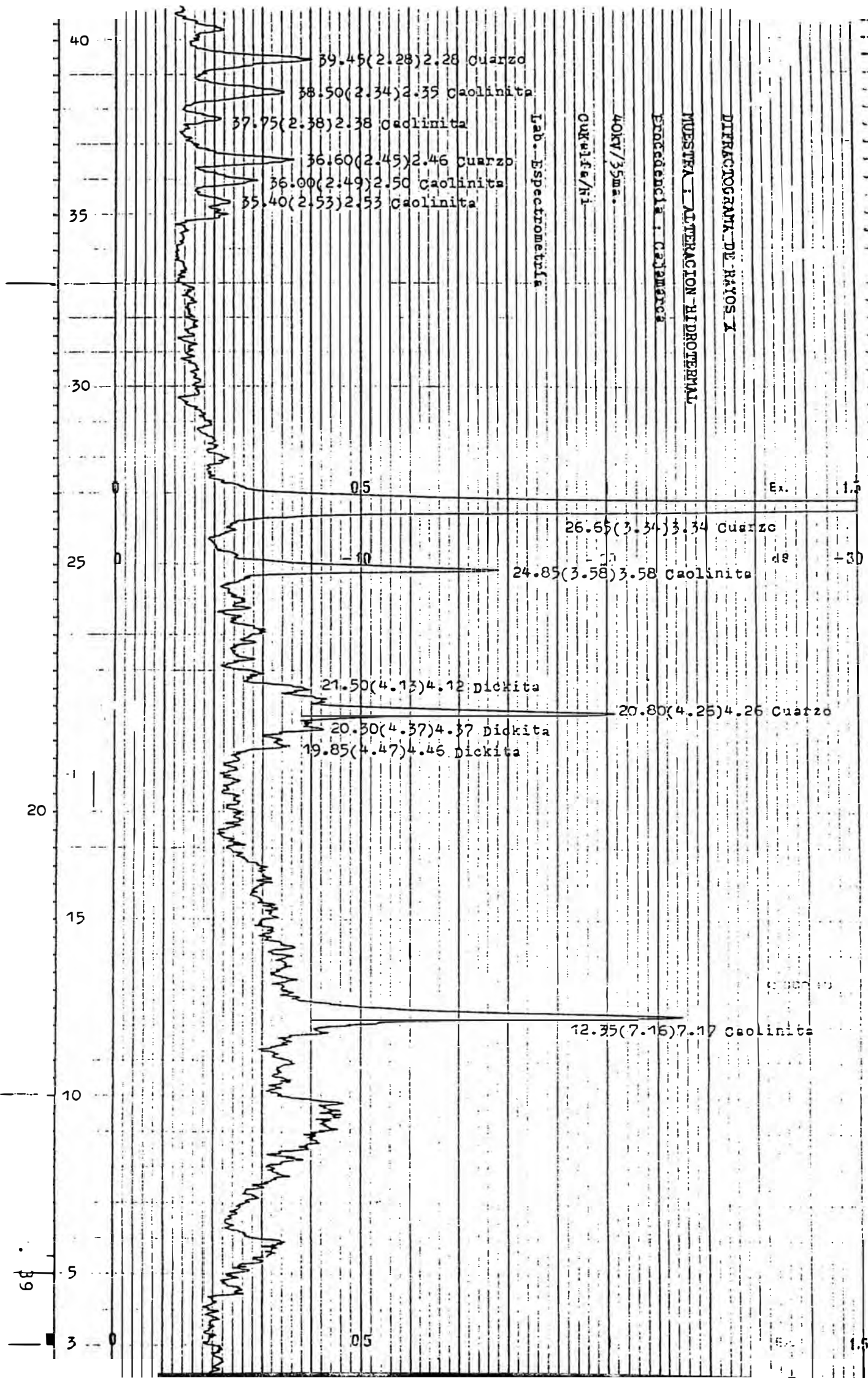
40KV/35ma
CuKalpha/Ni

Lab - Espectrometria



136





DIFRACCIÓN DE RAYOS X

MUESTRA: ALTERACION HIPOTERMAL

Procedencia: Cajamarca

40kV/35ma.

CoK α /Fe/Ni

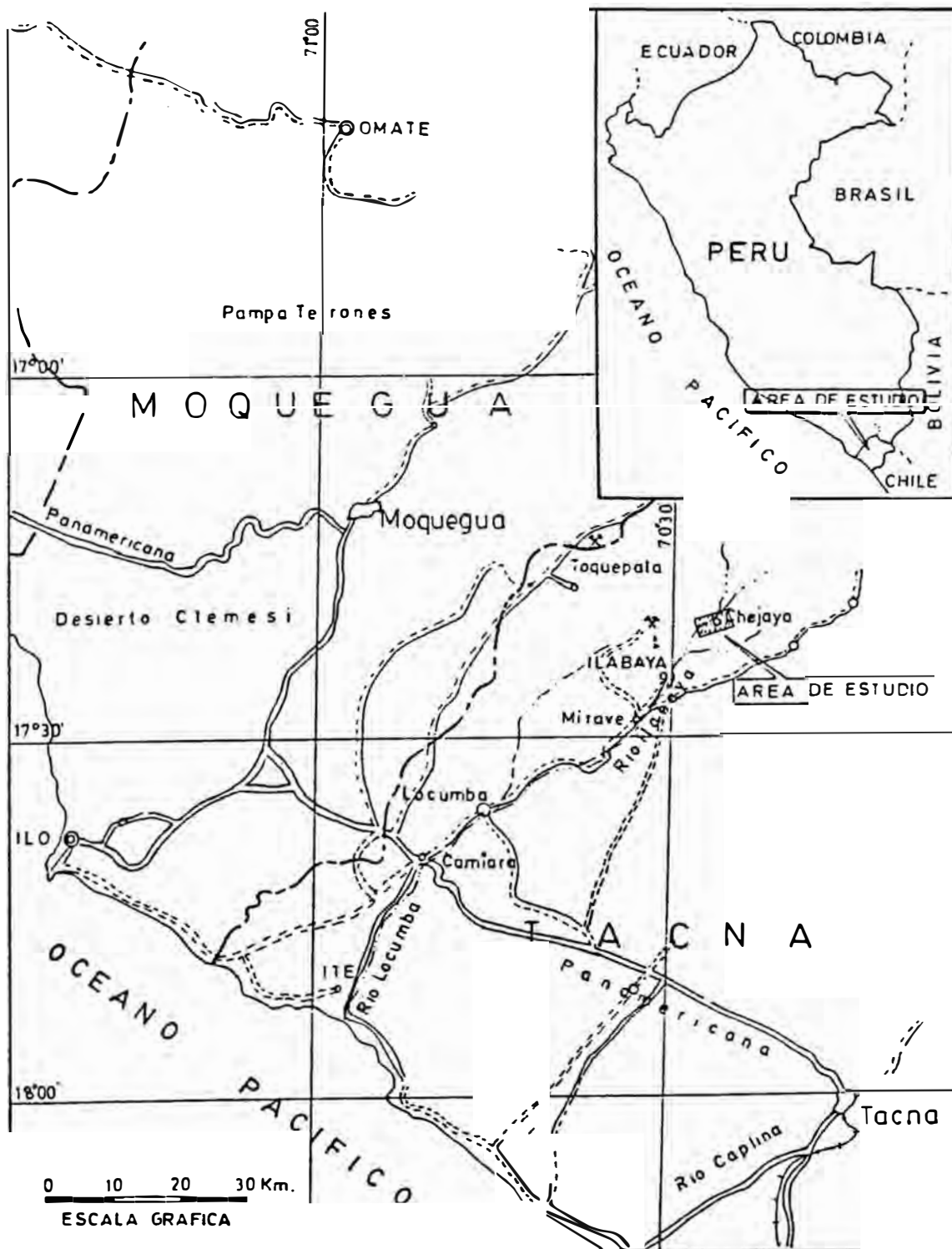
Lab. Espectrometría

Ex. 1.5

48 -30

0.500 1.0

Ex. 1.5



PLANO DE UBICACION
ZONA DE ILABAYA

Fig., . 40

4.4.2. ESTRATIGRAFÍA

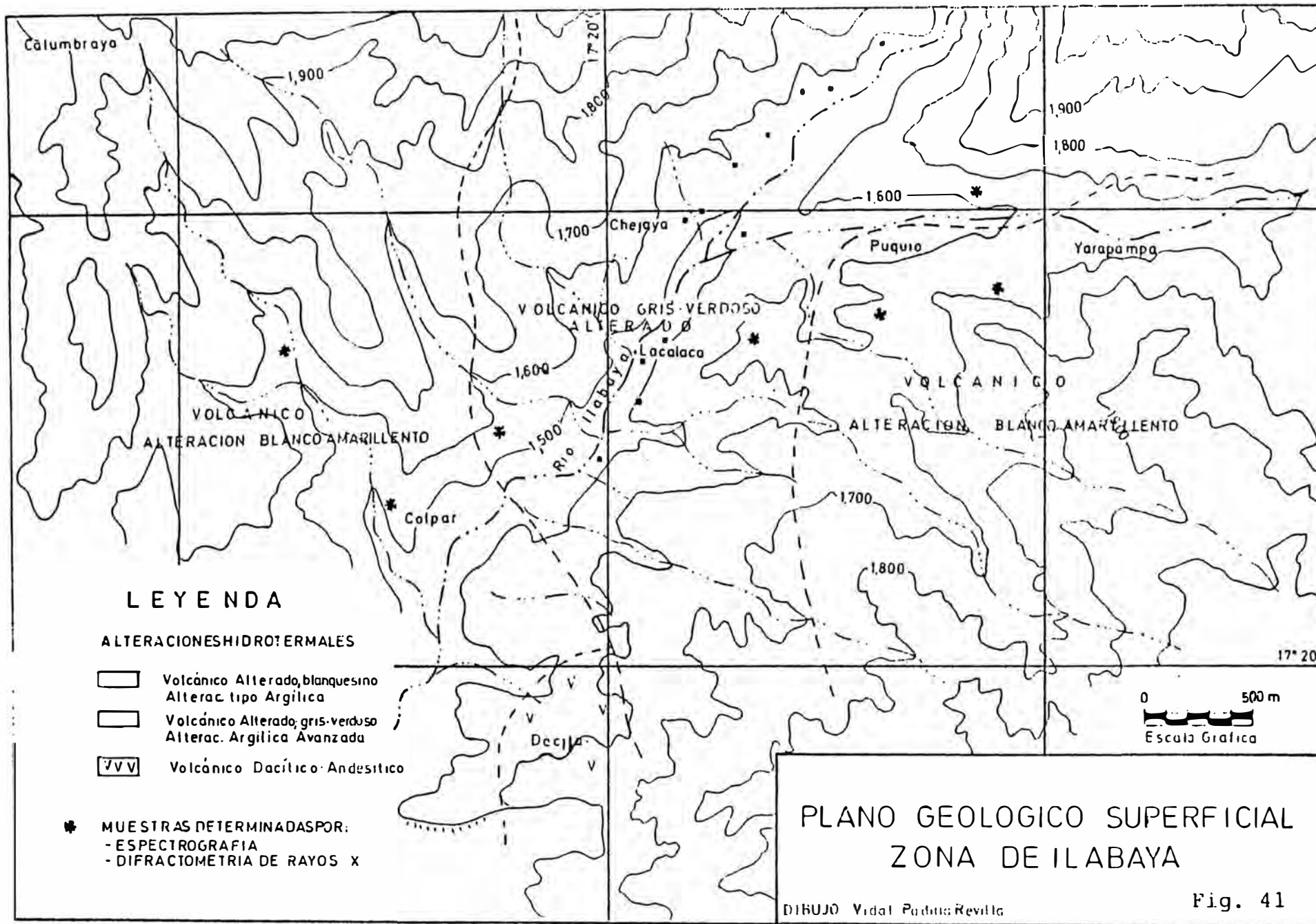
En la zona se tiene rocas volcánicas de composición andesítica y dacítica que se encuentran alteradas graduando de color blanquesino a gris-verdoso, lo cual es una manifestación de un zonamiento de alteración hidrotermal (Fig. 41); sobreyaciendo a toda esta secuencia conglomerados potentes en la parte Sur Oeste. Al Norte se encuentran cubiertos por horizontes delgados de cenizas y material piroclástico de color violáceo.

Los intrusivos cortan esporádicamente a manera de pequeños stocks generalmente de color amarillo.

Regionalmente afloran rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Toquepala así como conglomerados, tufo dacíticos y riolíticos pertenecientes a las formaciones Moquegua y Huaquillas respectivamente de edad Cretáceo Superior a Terciario Inferior.

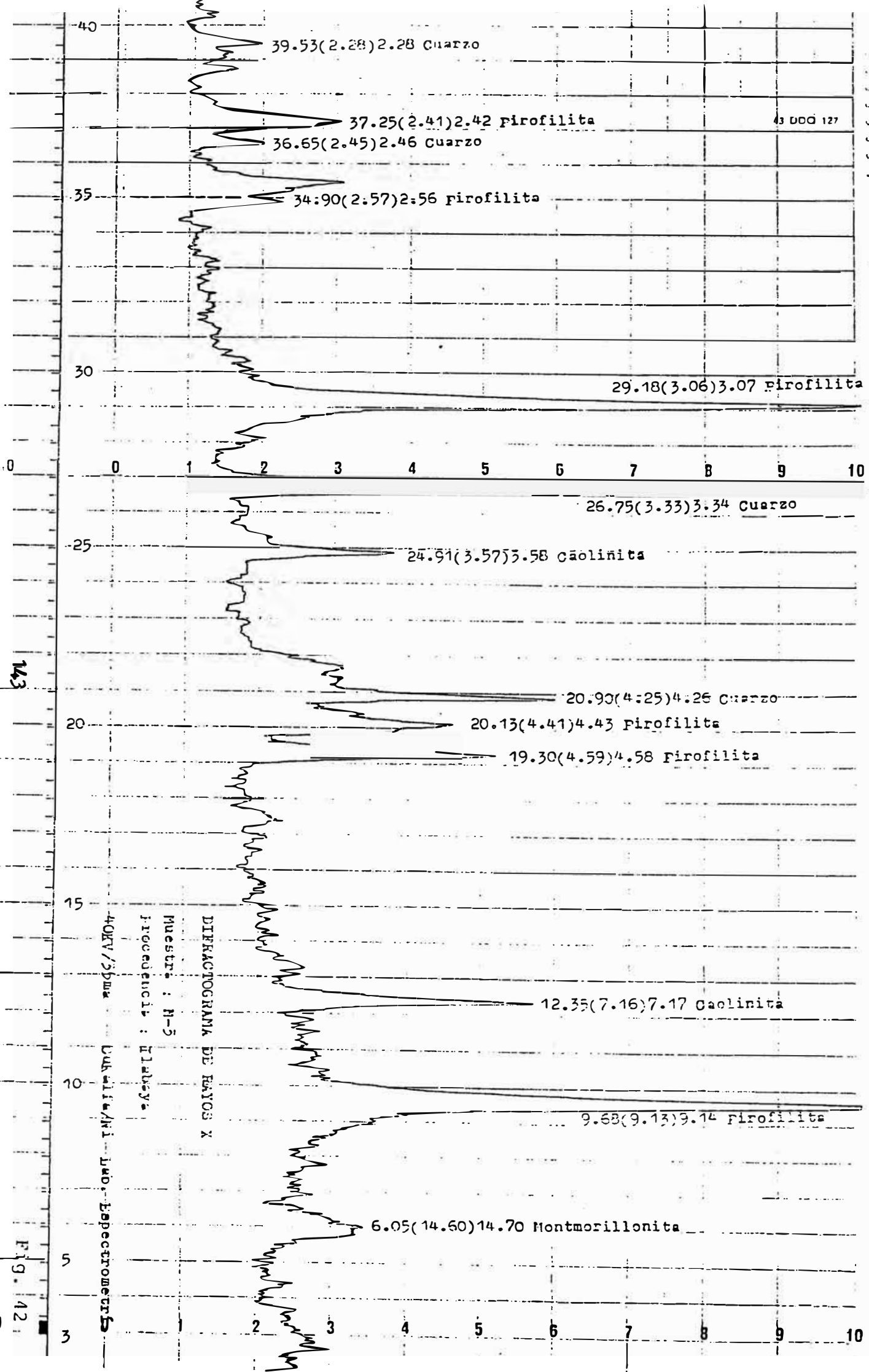
4.4.3. ALTERACIONES HIDROTERMALES

Estos afloramientos se caracterizan por estar constituidas por un material en su mayoría terroso y en algunos casos deleznable con ocurrencia esporádica de minerales secundarios cristalizados de difícil



identificación macroscópica y microscópica; lo cual hizo necesario la utilización de análisis espectrográficos y de difracción de rayos X. Obteniéndose por difracción de rayos X los siguientes resultados:

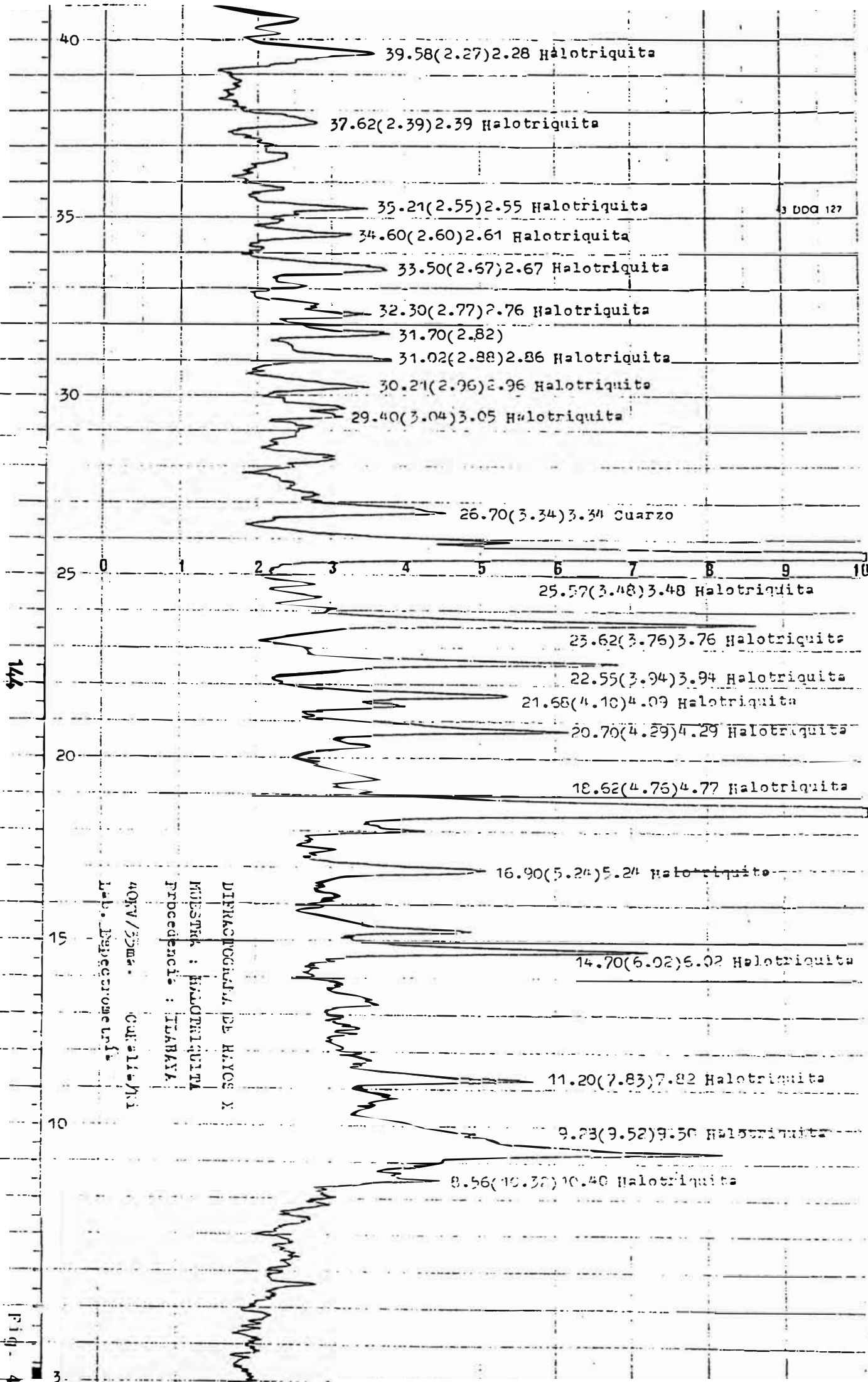
MUESTRA	FASES COMPONENTES EN ORDEN DE MAYOR A MENOR ABUNDANCIA
M-1 (Chejaya-Puquio)	Cuarzo, pirofilita, clorita y montmorillonita.
M-3 (Puquio)	Pirofilita, cuarzo, caolinita y montmorillonita (Difractograma en Fig. 42)
M-4 (Sur Puquio)	Cuarzo, illita, pirolifilita y muscovita.
M-5 (Colpar)	Cuarzo, Caolinita, illita, pirofilita, yeso
Cristal amarillo (Lacalaca - Puquio)	Halotriquita (Difractograma en Fig. 43)
Cristal amarillo - verdoso (Lacalaca - Puquio)	Halotriquita, cuarzo, pirofilita y montmorillonita
Muestra Blanquecina (Colpar)	Alunógeno, halotriquita y yeso (Difractograma en Fig. 44)
Muestra amarillenta (Puquio-Yarapampa)	Yeso, cuarzo, montmorillonita, caolinita, pirofilita e illita.



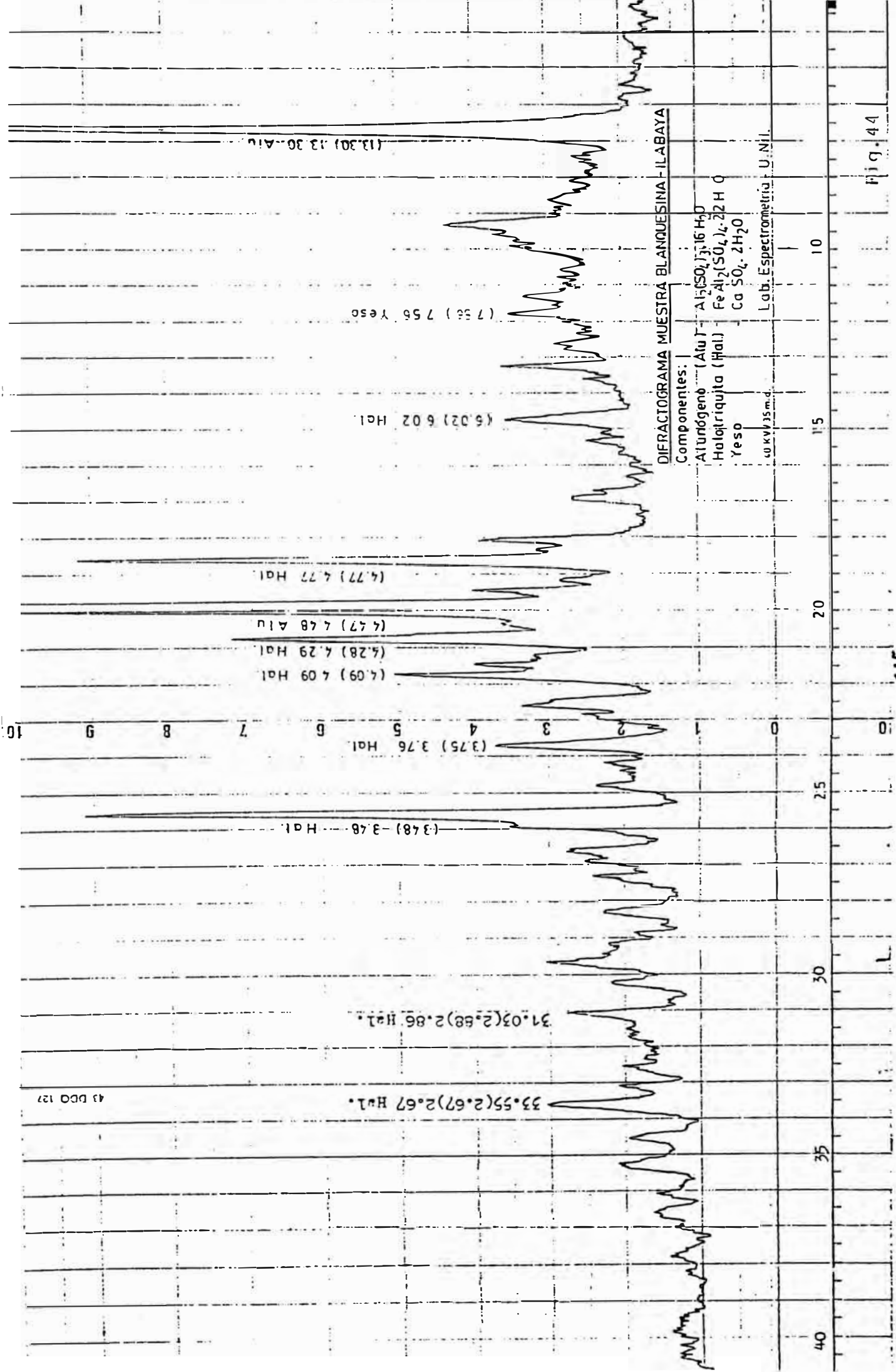
40KV/25µA
 CuKα1/λ1.1
 JAO. Espectrometría
 DIFRACTOGRAMA DE RAYOS X
 Muestra : N-5
 procedencia : Hlabaya

111111

43 DDO 127



ДИФРАКЦИОННАЯ ДИАГРАММА
 ПРИБОРА : КАЛОТРИКИТА
 ПРОБЕ : ИЛАНКА
 40KV/25ma. CUI-11-711
 L-b. Despectromer 11.1



43 DCO 127

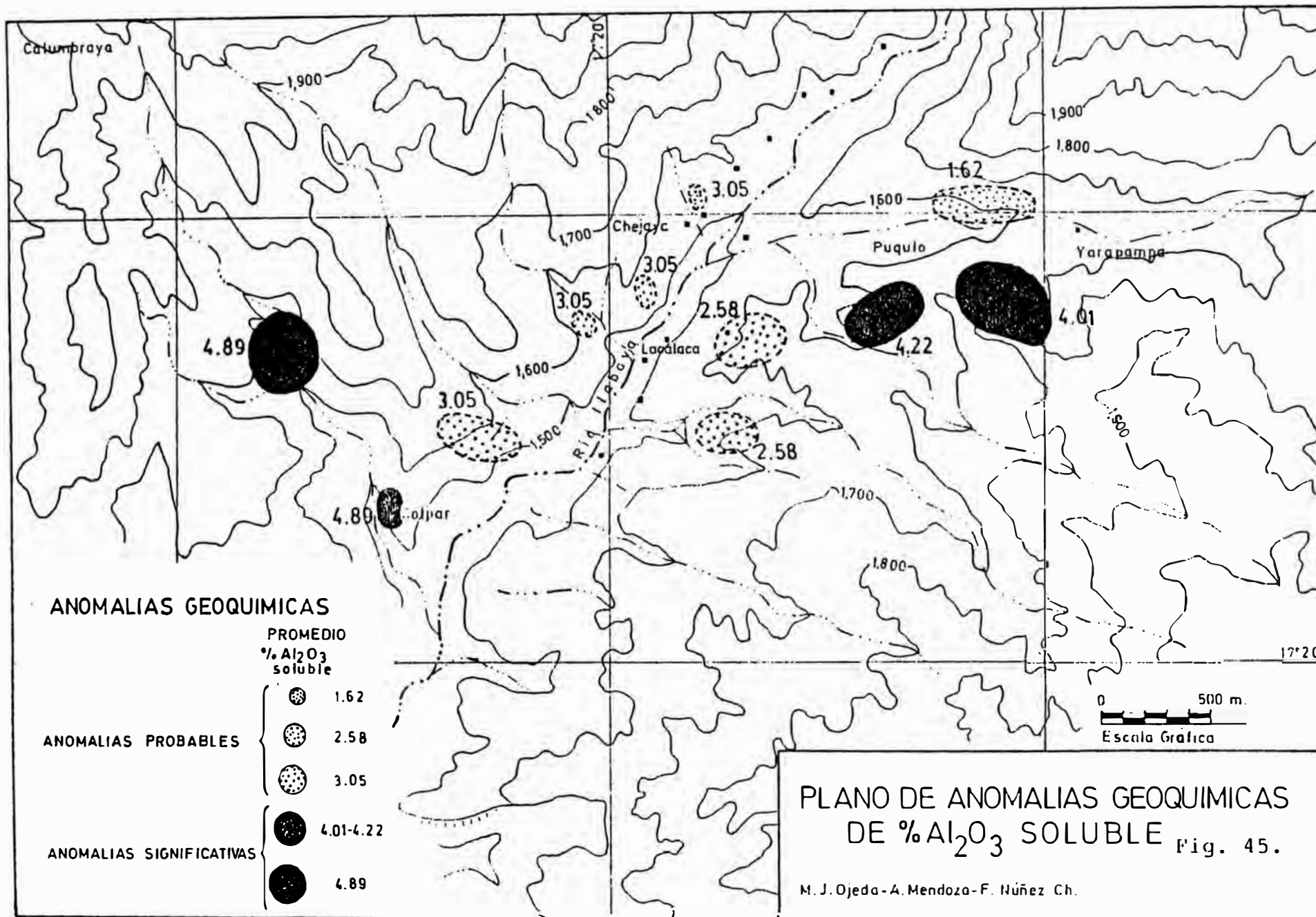
4.4.4. ZONAMIENTO HIDROTHERMAL

En el área se observa un proceso de zonamiento hidrotermal donde la zona de ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA está constituida por pirofilita, caolinita y cuarzo; LA ALTERACIÓN SERICÍTICA compuesta por muscovita y la ARGÍLICA por montmorillonita, clorita, halotriquita, alunógeno, illita y yeso.

4.4.5. ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS DE Al_2O_3 SOLUBLE

Anomalías probables comprendidas entre 1.62 y 2.05% de Al_2O_3 se distribuyen en ambas márgenes del río Ilabaya, caracterizándose por estar asociado a minerales de fuerte alteración hidrotermal como pirofilita, caolinita, cuarzo, y en menor proporción montmorillonita con ocurrencia esporádica de halotriquita.

Las anomalías significativas corresponden a valores entre 4.01 a 4.89 % Al_2O_3 las cuales contiene halotriquita y alunógeno diseminados ocurriendo este último como eflorescencia blanquecina (Colpar); tal como se observa en el plano de anomalías de la Fig. 45.



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES RESPECTO A ASPECTOS GEOQUÍMICOS

- En los diagramas de estructura de las arcillas hay que tener presente los tamaños iónicos; el O^{2-} y OH^{-1} tienen radios casi similares de 1.32 Å, ya que el tamaño del protón en el OH^{-1} es despreciable. Estos aniones grandes estarían casi en contacto rodeando a los cationes pequeños, solamente cuatro alrededor del Si^{+4} (0.42 Å) y seis alrededor del Al^{+3} (0.51 Å).

- Las capas unitarias sucesivas que forman las estructuras de las arcillas son apiladas una sobre otra. Diferencias en la geometría de apilamiento genera arcillas con propiedades diferentes; así tenemos que los minerales de arcilla hidrotermal dickita y nacrita tiene la misma estructura de dos hojas como la caolinita, pero difieren en la posición de una capa respecto a la próxima.

- Capas sucesivas son mas fácilmente separadas y expandidas en la estructura de la montmorillonita que en la estructura de la caolinita;

debido al hecho que capas adyacentes en la caolinita tiene iones O^{-2} y $(OH)^{-1}$ de mayor atracción, que entre los iones O^{-2} de capas adyacentes en la montmorillonita. Esta diferencia es frecuentemente expresada indicando que la caolinita es una estructura asimétrica (gibbsita-sílice, gibbsita-sílice...) y la montmorillonita es una estructura simétrica (sílice-gibbsita-sílice, sílice-gibbsita-sílice...).

Existe débil correspondencia entre composición química y propiedades; así tenemos que dos arcillas con proporciones similares de elementos pueden mostrar una gran diferencia en plasticidad y en capacidad de intercambio iónico lo cual es debido a consideraciones estructurales.

- La montmorillonita nunca tiene la fórmula ideal $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ por la extensiva sustitución atómica.

La sustitución común en la hoja tetraedral es del Si^{+4} por el Al^{+3} hasta aproximadamente 15%. En las hojas octaedrales una gran variedad de sustitución del Al^{+3} es posible, variando de muy pequeña hasta 100%; y las sustituciones mas comunes son por Mg^{+2} , Fe^{+3} , y raros Zn^{+2} , Ni^{+2} , Li^+ , Cr^{+3}

La sustitución del Si^{+4} por Al^{+3} y del Al^{+3} por el Mg^{+2} deja una deficiencia de carga positiva en las capas de la montmorillonita; pudiendo ser compensada por reemplazamiento del OH^{-1} por O^{-2} , por introducción de un exceso de cationes en la capa octaedral (Al^{+3} en la estructura ideal llena solamente 2/3 de las posiciones disponibles), y por absorción de cationes sobre la superficie de capas individuales. Alguna de las formas de compensación es siempre acompañada por el último método, de manera que una característica constante de la montmorillonita es la presencia de abundantes iones absorbidos. Estos iones son débilmente ligados a la estructura, siendo reemplazables por otros.

- Podemos observar que en algunos casos formando parte de los ensambles de arcillas preferentemente expansivas se encuentran algunas zeolitas que se caracterizan porque contienen agua de cristalización y fuerte intercambio de iones; siendo generalmente silicatos de aluminio, calcio, sodio, hidratados.

- Arcillas de cualquier tipo que son transportadas al océano, tienden a flocular al entrar en contacto con los electrolitos del agua de mar, yendo a formar parte de los sedimentos.

- De las curvas de reacción para el sistema $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ podemos notar que cuando aumenta el cociente molar de NaCl/HCl tiende a generarse montmorillonita lo cual tiene relación con su ocurrencia en cuencas marinas.
- Durante el metamorfismo progresivo, si existen iones K^+ en los fluidos, la arcilla caolinita por efecto de la presión y temperatura tiende a formar muscovita y luego reconstruir el feldespato de potasio.
- Se observa la ocurrencia de arcillas interestratificadas en suelos a partir de la transformación de la clorita generando interestratificados de clorita-montmorillonita. Algo similar ocurren con el sistema illita-montmorillonita.
- Los ensambles de alteración hidrotermal muestran minerales de arcillas controlados por los fluidos, temperatura y presión.

5.2. CONCLUSIONES RESPECTO A YACIMIENTOS DE ARCILLAS

- El marco geológico general del País, nos permite inferir la ocurrencia de variedad de yacimientos de arcillas, que necesitan ser explorados para ubicarlos; por lo que el método de difracción de rayos X es fundamental para su clasificación.
- Los yacimientos de arcillas en el País, se distribuyen principalmente entre el Cuaternario y triásico, perteneciendo esporádicamente algunos al Paleozoico. Las del Cuaternario pertenecen a yacimientos que contiene mezclas de minerales de arcillas, impurificadas por silicatos, óxidos, carbonatos. Las del Terciario, Cretácico, Jurásico y Triásico llegan a forma yacimientos económicos caracterizados por un tipo característico de arcilla; tal como los que ocurren en la Formación Chira, Formación Paracas, Formación Goyllarisquizca, Formación Farrat, Formación Chicama donde se emplazan intercalados con otras rocas sedimentarias.
- Las arcillas Cretácicas que ocurren en el Perú, principalmente se emplazan en la formación Goyllarisquizca siendo en su mayoría arcilla

refractaria, constituida por caolinita, cuarzo y materia orgánica; encontrándose intercalada con lentes de carbón bituminoso y areniscas.

- La ocurrencia de arcillas caoliniticas del País de tipo residual han sido generadas por actividad hidrotermal e intemperismo posterior sobre rocas volcánicas (andesita) ó intrusivas (granito, granodiorita) del Cretáceo y Terciario ocurriendo como bolsonadas distribuidos en forma errática e irregular donde el mineral predominante es la caolinita acompañado de minerales de alteración hidrotermal y de material granular como cuarzo, feldespatos, etc. tal es el caso de los yacimientos de caolín de Parco en Huaraz e Isabel en Nazca.

- Los yacimientos mas importantes de arcillas bentoniticas ocurren en cuencas Terciarias del litoral marino, emplazadas en los Departamentos de Piura e Ica; donde el mineral de arcilla principal es la montmorillonita, beidellita, además de vermiculita, zeolitas, sales, cuarzo, feldespatos, etc; en proporciones menores en algunos casos.

5.3. CONCLUSIONES RESPECTO A APLICACIONES MULTIDISCIPLINARIAS

- De la distribución de arcillas en los suelos pueden determinarse la eficiencia de intercambio de iones que ocurren en los suelos; esto es, la eficiencia en la retención de nutrientes de importancia en agricultura.
- La presencia de illita en pozos de petróleo nos permite evaluar su comportamiento frente a las aguas de invasión producidas durante la perforación.
- Los datos experimentales obtenidos acerca del balance de intercambio de cationes y aniones en arcillas generalmente expandibles nos permite establecer arcillas con activación natural o prever su eficiencia durante su activación artificial para uso en la purificación de productos industriales.
- Aunque las bentonitas son requeridas en pequeñas cantidades en algunos cuerpos cerámicos para controlar su plasticidad, sin embargo son utilizadas en mayor proporción para fines no cerámicos.

- Los difractogramas de rayos X nos permiten establecer claramente las transformaciones de fases que sufren las arcillas cuando son sometidas a alta temperatura. Tal es el caso de la formación de mullita a 1200 oC necesario para su uso en aislantes eléctricos
- Los proyectos que implican la construcción de represas, canales, túneles, carreteras, aeropuertos, y edificaciones para vivienda necesitan de la tipificación de las arcillas que ocurren en los suelos o rocas en que se construyen a fin de optimizar el uso y estabilidad de los concretos.

5.4. RECOMENDACIONES

- Realizar una revisión sistemática de nuestros yacimientos de arcillas orientados a definir la ocurrencia de arcillas diferentes a la caolinita y montomorillonita; tales como la beidellita, saponita, vermiculita, sepiolita, etc. de gran importancia tecnológica.
- Investigar las relaciones geoquímicas entre las arcillas y las zeolitas; ya que las segundas contienen agua como parte de su estructura y una gran capacidad de intercambio iónico.

BIBLIOGRAFÍA

BROWN, G., 1982, The X-ray identification and crystal structures of clays minerals. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 515 pag.

DE LA PUENTE, A.C., 1973. Estudio fisicoquímico de arcillas cerámicas del Bajo Ampurdan. Universidad de Barcelona, Facultad de Ciencias, Tesis Doctoral no publicada, 130 p.

GRIM, R.E., 1968. Clay Mineralogy. Second Edition McGraw-Hill Book Co. 596 p.

HEMLEY, J.J., MONTOYA, J.W., MARINENKO, J.W. AND LUCE, R.W., 1980. Equilibria in the system $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ and some general implications for alteration/mineralization processes. Economic Geology, Vol.75, pp. 210-228

HEMLEY, J.J., AND JONES, W.R., 1964, Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. Economic Geology, Vol. 59, pp. 538-569.

HENLEY, R.W., TRUESDELL, A.H. AND BARTON, P.B. Jr., 1984. Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems Review in Economic Geology, Vol. 1, 268 p.

INVENTARIO NACIONAL DE SUSTANCIAS NO METÁLICAS., 1982. Instituto geológico minero y metalúrgico, Dirección General de geología, Lima-Perú, 3 volúmenes, 390 p.

KERR, P.F., 1937. Attapulugus Clay. American Mineralogist, Vol. 22, No. 5, pp. 535-550.

KLUG, H.P., and ALEXANDER, L.E., 1976, X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. Second edition, Wiley-Interscience, 966 pag.

XUBACKI, w. Y FERNANDEZ, G.C. 1984. Comportamiento de las arcillas frente al agua de invasión. Instituto de Investigaciones Petroleras, Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela, 8 p.

LOPEZ, F., MARTIN, J.L., 1973. Mineralogía de las arcillas de la facies Wealdense Española.I. Antecedentes, métodos y materiales. Instituto de Investigaciones Geológicas "Lucas Mallada", Madrid, p. 389-396.

MACKENZIE, R.C., 1957. The differential thermal investigation of clays. Mineralogical Society (Clay minerals group), London, 456 p.

NEWTON, J., 1960. Clay its composition, properties, and uses. Idaho Bureau of mines and geology. Information circular No. 5, 35 p.

ROSS, Cl. S., and Hendricks S.B., 1945. Minerals of the montmorillonita group, their origin and relation to soils and clays. United States Department of the Interior, Geological Survey, Professional Paper 205-B. P. 23-79.

SAWHNEY, B.L., 1982. Interstratification in layer silicates. The Connecticut Agricultural Experiment Station, New Haven, Connecticut, 26 p.

ANEXO 1

RELACIÓN DE YACIMIENTOS DE ARCILLAS ACTIVOS DEL PERÚ

YAC. : Yacimiento

EST. : Estratigrafía

Los números entre paréntesis indican su posición en el plano de distribución de yacimientos de arcilla activos en el Perú.

DPTO. TUMBES:

DENUNCIO	DISTRITO	PROVINCIA	YAC.	EST.
(1)"Santa Teresita No.4"	Zorritos	Contr. Villar	Be	To

DPTO. PIURA:

(2) "Vichalay"	Vichayal	Paita	Be	Tpe
(3) "Cerro Blanco"	San Felipe de Vichayal	Paita	Be	Tpe
(4) "Cerro Mocho"	Amotape	Paita	Be	Tpe
(5) "Mi Perú"	Piura	Piura	Ar	Tmp
(6) "San Martín No. 3"	Chulucanas	Morropón	Ar	Q-c

DPTO. LAMBAYEQUE

(7) "Santa Filomena"	Chiclayo	Chiclayo	Ar	Q-c
----------------------	----------	----------	----	-----

DPTO. LA LIBERTAD

(8) "Don Fili"	Laredo	Trujillo	Ar	Km-vs
(9) "Yolanda"	Salpo	Otuzco	Ar	T-v
(10) "Yeni"	Poroto	Trujillo	Ca	Js

(11) "Guillermo II"	Virú	Trujillo	Ca	Km-vs
(12) "Fortuna No. I"	Sta.Cruz	Stgo. De Chuco	Ca	T-v
(13) "La Turqueza"	Huamachuco	Huamachuco	Ar	Ki
(14) "Renne y Betty"	Huamachuco	Huamachuco	Ar	Ki
(15) "La Burbujita J.P.M"	Huamachuco	Huamachuco	Ar	Ki
(16) "Collasgón"	Curgos	Huamachuco	Ar	Ki
(17) "Alborada"	Curgos	Huamachuco	Ar	Ki
(18) "San Martín de Porres No. 1"	Cachicadán	Stgo. De Chuco	Ar	Ki

DPTO. CAJAMARCA

(19) "San Carlos"	Conchán	Chota	Ar	Tims
(20) "Cerro Noroeste"	Tembladera	Contumaza	Ar	Q-c
(21) "El Sol No 2"	Cajamarca	Cajamarca	Ar	Tms-vs
(22) "San Franc. de Cerillo"	Baños del Inca	Cajamarca	Ar	Q-c
(23) "Recuperación"	Baños del Inca	Cajamarca	Ar	Q-c
(24) "Caravista"	Baños del Inca	Cajamarca	Ar	Q-c
(25) "Asilo de Ancianos"	Baños del Inca	Cajamarca	Ar	Q-c
(26) "Don Bosco"	Baños del Inca	Cajamarca	Ar	Q-c
(27) "El Paraje"	Namora	Cajamarca	Ar	Q-c
(28) "El Algarrobal"	San Benito- Cascas	Contumaza	Ar	Js
(29) "Santa Elena No. 7"	Cascas	Contumaza	Ar	Js
(30) "Santa Agustina"	Cascas	Contumaza	Ar	Js
(31) "Cascas (Calvayuque)"	San Benito- Cascas	Contumaza	Ar	Js
(32) "El Vecino Diez"	Cascas	Contumaza	Ar	Js
(33) "Ochape Unico"	Cascas	Contumaza	Ar	Js
(34) "La Concepción"	Cascas	Contumaza	Ar	Js
(35) "Ochape No. 2"	Cascas	Contumaza	Ar	Js

DPTO. ANCASH

(36) "Yuracoto"	Caraz	Huaylas	Ar	TsQ-vs
(37) "Tarugo C.M."	Caraz	Huaylas	Ar	TsQ-vs

(38) "Arcilla Acopalpa"	Acopampa	Carhuaz	Ar	Q-c
(39) "El Buen Amigo"	Restauración	Huaraz	Ar	Q-c
(40) "El Milagro de Nicrupampa"	Independencia.	Huaraz	Ar	Q-c
(41) "Huarco"	Bolognesi		Ar	T-v
(42) "Ladrillera Fortaleza"	Benavides	Casma	Ar	Kr ts -vs
(43) "El Ferrol 21"	Pariahuanca	Carhuaz	Ca	Q-c

DPTO. PASCO

(44) "Callihuara"	Ninicaca	Co. De Pasco	Ca	Q-c
(45) "Repsa"	Santa Ana de Tusi	Daniel A. Carrión.	Ar	KTi-c

DPTO. LIMA

(46) "Trucha"	Tupe	Yauyos	Ar	Tim-vs
(47) "San Bartolo y Otros"	San Bartolo	Lima	Ar	Ki
(48) "Felisa y Heroína"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Q-c
(49) "El Respiro 1-2"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Q-c
(50) "Yacim. de Huachipa"	Lurigancho	Lima	Ar	KTi-To
(51) "Dora Una"	Lurigancho	Lima	Ar	KTi-To
(52) "Natalia La Negra"	Carabayllo	Lima	Ar	Q-c
(53) "Micaela Villegas"	Carabayllo	Lima	Ar	Q-c
(54) "Salvadora de Carabayllo y Otros"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Q-c
(55) "Don Pepe y Otros"	Lurigancho	Lima	Ar	KTi-To
(56) "Mery"	Lurigancho	Lima	Ar	KTi-To
(57) "Giovanna Luz"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Q-c
(58) "Guiamar"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Q-c
(59) "Encantadora de Carabayllo"	Carabayllo	Lima	Ar	Q-c
(60) "Princesa-Vasconia-Otros"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Kr ts -vs
(61) "Vanguardia"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Kr ts -vs
(62) "Fabio"	Carabayllo	Lima	Ar	Q-c
(63) "El Naranjito"	Carabayllo	Lima	Ar	Q-c
(64) "Vasconia"	Pte. Piedra	Lima	Ar	Q-c
(65) "Antonio No. 1"	Huaral	Huaral	Ar	Q-c
(66) "San Martín y Otros"	Supe	Chancay	Ar	Kr ts -vs
(67) "Don Dario"	Pirca	Canta	Ar	Kr ts -vs
(68) "Ruth Mercedes"	San Mateo	Huaro-chiri	Ar	T-v

(69) "Nino Manuelito No. 3"	Chilca	Huaro-chiri	Ar	KTo
(70) "Ampl. Micaela Bastidas"	Matucana	Huaro-chiri	Ar	Kms
(71) "El Crisol y Otros"	Oyón	Cajatambo	Ca	Ki
(72) "Inca No. 19 -Oyón"	Oyon	Cajatambo	Ca	Ki
(73) "Sociedad"	Oyón	Cajatambo	Ca	Ki

DPTO JUNÍN

(74) "Irma y Otra"	Tarma	Tarma	Ar	Pali
(75) "Beta 1-2"	Curicaca	Jauja	Ar	Tr-Jim
(76) "Doña Margarita No. 1"	San Jerónimo	Huancayo	Ar	Pali
(77) "Amelia"	Colca Chongos	Huancayo	Ar	Ki
(78) "Colca Chongos Altos"	Colca Chongos	Huancayo	Ar	Ki
(79) "Chabuca"	Chongos Altos	Huancayo	Ar	Ki
(80) "María Elena"	Chongos Altos	Huancayo	Ar	Ki
(81) "Santa Rosa No. 14"	Chacapampa	Huancayo	Ar	Ki

DPTO HUANCVELICA

(82) "Cahuide"	Acostambo	Tayacaja	Ar	Tr-Jim
(83) "Tierras del Inca y Otros"	Moya	Huancavelica	Ar	Kms
(84) "Adriel"	Conaica	Huancavelica	Ar	Kms
(85) "Atahualpa"	Astobamba	Castrovirreyna	Ca	Q-c
(86) "Atahualpa V"	Santa Ana	Castrovirreyna	Ca	Q-c

DPTO. ICA

(87) "Venturosa"	Pisco	Pisco	Ar	Q-c
(88) "Isabel"	Nazca	Nazca	Ca	Kim-vs
(89) "Isabel"	Nazca	Nazca	Ca	Kim-vs
(90) "Isabel"	Nazca	Nazca	Ca	Kim-vs
(91) "Roxana 777"	Nazca	Nazca	Ca	Kim-vs
(107) "Perpetuo Socorro"	Larán	Chincha	Be	Ti
(108) "Piedras Azules"	Salas	Ica	Be	Tpe
(109) "Marcona Mine Co."	Nazca	Nazca	Be	Tmp
(110) "Bentonita Marcona"	Marcona	Nazca	Be	Tmp

DPTO. AYACUCHO

(92) "Júpiter 21"	Luricocha	Huanta	Ar	Q-c
(93) "King-Kong"	Huanta	Huanta	Ar	Q-c
(94) "Arcilla de Jantajasa"	San Miguel	La Mar	Ar	T-gr
(95) "Arcilla de Tantarnilloc"	Quinua	Huamanga	Ar	Ts-vs
(96) "Santa Sofía"	Pacaycasa	Huanta	Ar	Ts-vs
(97) "Santa Cruz"	Pacaycaysa	Huanta	Ar	Ts-vs
(98) "Arcilla Alpaurcuna"		Cangallo	Ar	Pal-gr

DPTO. CUZCO

(99) "El Danubio"	San Sebast.	Cuzco	Ar	Tim-c
(100) "Lucia"	San Sebasti.	Cuzco	Ar	Q-c

DPTO. AREQUIPA

(101) "Santa Inés 200"	Chiguata	Arequipa	Ar	Q-c
(102) "Santa Inés 300"	Pocsi	Arequipa	Ar	Q-c
(103) "Santa Inés 600"	Pocsi	Arequipa	Ar	Q-c

DPTO. PUNO

(104) "José Francisco"	Puno	Puno	Ar	Q-c
(105) "San Francisco 100"	Puno	Puno	Ar	Q-c
(106) "Pucará"	Pucará	Puno	Ar	Q-c