

17
28'

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X DE
LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD
DE MEXICO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Q U I M I C O
P R E S E N T A :
BEATRIZ GOMEZ LOOH

México, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

	PAGINA
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	
1.1.- INTRODUCCION	1
1.2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO	8
1.3.- CONTEXTO INTERDISCIPLINARIO	9
CAPITULO 2. OBTENCION Y PREPARACION DE MUESTRAS	
2.1.- ORIGEN Y EXTRACCION DE MUESTRAS	10
2.2.- METODO PARA LA ELIMINACION DE OXIDOS DE FIERRO LIBRES, CARBONATOS Y MATERIA OR- GANICA EN ARCILLAS.	11
2.3.- METODO DE SEPARACION Y PREPARACION DE - MUESTRAS DE ARCILLAS PARA ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X.	13
CAPITULO 3. METODOLOGIA DE LA DIFRACCION	
3.1.- FUNDAMENTOS DE LA DIFRACCION DE RAYOS X	18
3.2.- EQUIPO DE DIFRACCION DE RAYOS X	20

CAPITULO 4.	ANALISIS E IDENTIFICACION DE LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO POR DIFRACCION DE RAYOS X.	24
4.1.-	PROCEDIMIENTO.	
CAPITULO 5.	RESULTADOS	
5.1.-	RESULTADOS	26
5.2.-	DISCUSION	52
CAPITULO 6.	RESUMEN	62
CAPITULO 7.	CONCLUSIONES	63
	BIBLIOGRAFIA	67

CAPITULO I. ANTECEDENTES

I.1.- INTRODUCCION.

El subsuelo de la Ciudad de México ha despertado gran interés desde --- principios de siglo, entre investigadores nacionales e internacionales debido a que representa un ejemplo clásico de un subsuelo difícil para su estudio y caracterización, siendo sumamente particular en cuanto a sus propiedades mecánicas.

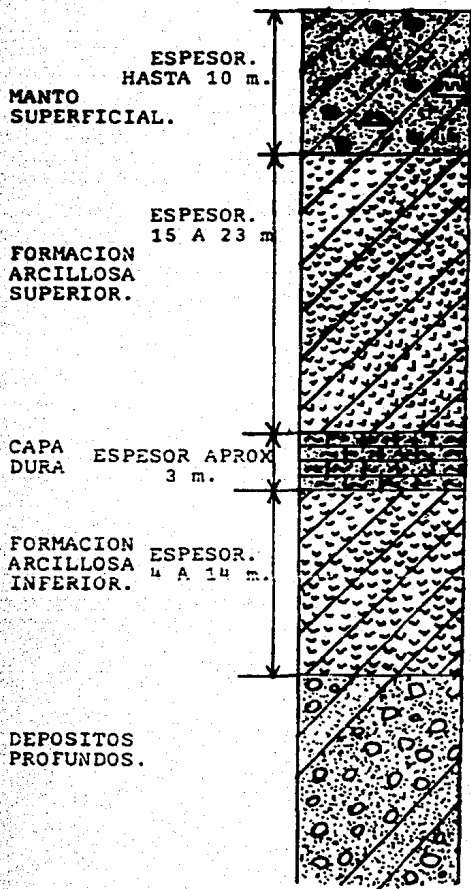
Se ha descrito como muy orgánico, montmorillonítico, tixotrópico, muy quebradizo, con índices de plasticidad muy altos (300%). La característica más distintiva de la arcilla de la Ciudad de México es su compresibilidad extremadamente alta, que aunada al gran asentamiento de edificios y otras estructuras en la ciudad y combinada con las condiciones estratigráficas del subsuelo, propician el continuo hundimiento general de la superficie del suelo, lo cual es demostración notable de esa propiedad. (Ref. 1, pág. 528)

Las características físicoquímicas y las propiedades mecánicas del subsuelo de la Ciudad de México han sido objeto de estudio debido al comportamiento que presenta el mismo en los lugares donde existe un gran asentamiento humano y que coincide generalmente con la construcción acentuada de edificios, grandes estructuras y obras subterráneas. Entre las características del subsuelo, la composición mineral arcillosa es un factor determinante en propiedades mecánicas fundamentales tales como: resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad y expansión. La identificación de la composición de los minerales arcillosos presentes permite tratar de entender y explicar los resultados de pruebas empíricas de interés ingenieril como: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, que rutinariamente son realizadas en suelos con el fin de establecer el tipo de estructura y cimentación necesarias para una construcción dada. Aunados a la composición de los minerales arcillosos, otros factores tales como la composición de minerales no arcillosos, distribución del tamaño de partícula, materia orgánica presente e historia geológica contribuyen en distintas proporciones a modificar las propiedades mencionadas, por lo que no es posible predecirlas únicamente en base a -

la composición mineral, aunque ésta es de relevante importancia.

De acuerdo a Zeevaert (Ref. 1, pág. 528), la cuenca cerrada del Valle de México se formó al final de la época del Preistoceno, estuvo ocupada por un gran lago de baja salinidad, el cual fue llenado durante el Pleistoceno por ceniza volcánica aérea y por materiales erosionados de los suelos y rocas que circundan la cuenca. La arcilla de la Ciudad de México correspondiente a la formación Tacubaya, se extiende desde una profundidad de aproximadamente 7 m. a 37 m., data del Preistoceno Tardío. Este subsuelo se originó a partir de ceniza volcánica fina y otros materiales piroclásticos que fueron transportados por aire y agua dentro del Lago así como a partir de microorganismos que florecieron allí.

De manera general, el corte estratigráfico del subsuelo de la Ciudad de México se describe, como puede verse en la figura 1.1 y se clasifica en: Manto Superficial, Formación Arcillosa Superior, Formación Arcillosa Inferior y Depósitos Profundos. (Ref. 2 pág. 22).



DEPOSITOS ARENO-ARCILLOSOS O LIMOSOS.
ABUNDANCIA DE RESTOS ARQUEOLOGICOS Y ORGANISMOS FOSILES

ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD, DE VARIADOS COLORES, Y CONSISTENCIA BLANDA A MEDIA.

CENIZA VOLCANICA DE TAMANO ULTRAFINO.

ABUNDANCIA DE ORGANISMOS -- FOSILES.

SUELOS LIMO-ARENOSOS COMPACTOS, CEMENTADOS CON CaCO_3

ARCILLA VOLCANICA SEMEJANTE A LA DE LA FORMACION ARCILLOSA SUPERIOR PERO MAS COMPACTA Y RESISTENTE.

DEPOSITOS DE ARENA CON GRAVA SEPARADOS POR ESTRATOS DE LIMO O ARCILLA ARENOSA.



GRAVA



ARCILLA



RESTOS ARQ.



LIMO



CENIZAS VOLCANICAS



CARBONATO DE CALCIO



ARENA



FOSILES

FIG. 1.1. DESCRIPCION DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO (1978).

Con respecto a los estudios realizados en el subsuelo de la Ciudad, -- uno de los más completos que han sido publicados hasta la fecha, es el titulado "El Subsuelo de la Ciudad de México" (Ref. 2), en este estudio se determinaron las características físicoquímicas del subsuelo y sus propiedades mecánicas. Sin embargo, los propios autores opinan que algunos de los resultados obtenidos no fueron concluyentes debido a la complejidad de los materiales estudiados y a la falta de resolución en los equipos. A pesar de esto fue utilizado como guía para investigaciones posteriores como las realizadas por Reséndiz (Ref. 3), Girault (Ref. 4), Mesri (Ref. 1), Coria y De Pablo (Ref. 5).

Algunos de los autores mencionados concluyen sus resultados por análisis de una o un número no representativo de muestras, confiando en una supuesta homogeneidad del material. Los resultados de estos estudios muestran desacuerdos y/o contradicciones en relación a la identificación de los minerales que forman el subsuelo, dichas contradicciones pueden observarse en la siguiente recopilación de resultados publicados referentes a la composición de la arcilla del subsuelo de la Ciudad de México (Ref. 1, págs. 528 - 538), (Ref. 2, págs. 54 a 72) (Ref. 5, págs. 33 a 37), que se resumen en la tabla No. 1.

TABLA No. 1

MATERIA ORGANICA

- 5-10% (Zeevaert, L. 1949, 1953, 1957).
- 1-7% (Marzal, R.J.; Mazari, Y.M. 1959).
- 8-10% (Leonards, G.A.; Girault, P. 1961).
- 4% (Lo, K. Y. 1962).
- 5-10% (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).

CARBONATO DE CALCIO COMO
CALCITA

- Se reporta la presencia de carbonato de calcio (Zeevaert, L. 1949, 1953, -- 1957).
- 3-21% (Marzal, R.J.; Mazari, Y.M. -- 1959).
- Se reporta la existencia de pequeñas cantidades de calcita (Leonards, G.A. y Girault, P. 1961).
- 10% (Lo, K.Y. 1962).
- 5-10% Encontrado en la fracción de tamaño de partícula mayor que $2\mu\text{m}$. No identifica CaCO_3 en la fracción menor que $2\mu\text{m}$. (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).
- 2-10% (Coria, S.E. y De Pablo, L. 1976).

MATERIAL FINO AMORFO

- Vidrio y ceniza volcánica (Zeevaert, L. 1949, 1953, 1957).
- Diatomeas (Marzal, R.J.; Mazari, Y.M. 1959).
- Existe principalmente presencia de materiales amorfos, algunos de ellos se identifican como diatomeas y el resto consiste probablemente de geles silicoaluminosos o material volcánico parcialmente intemperizado (Lo, K.Y. 1962).
- Fragmentos de ópalo fino pertenecientes a diatomeas (Mesri, G.; Rokhsar, A. Bohor, B.F. 1975).
- Diatomeas lacustres (Coria, S.E.; De Pablo, L. 1976).

MATERIAL ARCILLOSO

- 20% de Montmorillonita de sodio con alto contenido de magnesio, se encuentra en deficiente grado de cristalización (Zeevaert, L. 1949).
- Arcilla de mineralogfa montmorillonfca o bentonfca (Casagrande, A. y Wilson, S.D. 1951; Skempton, A.W. y Northey, R.D. 1952; Skempton, A.W. - 1953; Moum, J. y Rosenqvist, I.T. 1961)
- Existe material arcilloso no como montmorillonita, sino como illita (Marsal, R.J. y Mazarf, Y.M. 1959).
- Cantidad desconocida de montmorillonita de sodio y potasio (Lo, K.Y. 1962).
- No existe material arcilloso cristalino, es amorfo y clasificado como alofa no (Leonards, G.A. y Girault, P. 1961; Girault, P. 1964).
- 10% de esmectita inter laminada con complejos de hidróxido de aluminio, fierro y posiblemente magnesio (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).
- Material montmorillonfco criptocristalino, arcilla criptocristalina, hidromica (Coria, S.E., y De Pablo, L. - 1976).

MINERALES PESADOS

- Cristobalita (4.04 Å), cuarzo (3.35 Å), calcita (3.03 Å) identificados en muestras totales. Hornblenda basáltica, tremolita, feldespato cálcico (plagioclasa) en ocurrencia ocasional, cristales de epidota, no hay presencia de cuarzo identificados en la fracción gruesa del suelo (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).
- Bajos contenidos de calcita y plagioclasas ocasionalmente asociados a escaza cristobalita y cuarzo fueron identificados como parte de los componentes no arcillosos (Coria, S.E. y De Pablo, L. 1976).

OXIDOS DE FIERRO

- 6-10% (Marzal, R.J. y Mazari, Y.M. - - 1959).
- 3.35% en la fracción menor de 2 μ m y -- 2.40% en la fracción mayor de 2 μ m (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).
- 2.24-17% (Coria, S.E. y De Pablo, L. - 1976).

OXIDO DE MAGNESIO

- 6% (Marzal, R.J.; Mazari, Y.M. 1959).
- 7.89% en partículas menores a 2 μ m (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).
- 15.5% (Coria, S.E. y De Pablo, L. - - 1976).

MATERIAL FOSILIZADO

- Ostrácodos Cypris y Diatomeas Cossinudiscus en gran abundancia (Marzal, R.J. Mazari, Y.M. 1959).
- 5-10% de oolitos calcáreos y 55-65% de microfósiles silicosos principalmente diatomeas (Mesri, G.; Rokhsar, A.; Bohor, B.F. 1975).
- Presencia de diatomeas lacustres (Coria, S.E. y De Pablo, L. 1976).

TABLA No. 1 RESULTADOS SOBRE LA COMPOSICION DE LA ARCILLA DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Dadas las discrepancias anteriormente observadas, se estimó necesario - hacer una reconsideración de los datos conocidos hasta la fecha (1976), y efectuar un estudio para contribuir a definir la naturaleza de los minerales arcillosos que forman los estratos de los primeros 32 m. del subsuelo, y permitir lograr un mejor entendimiento del comportamiento micromecánico del suelo, dado el creciente interés en éste, debido a que existe una proliferación cada día mayor de obras de construcción con necesidades de cimentación cada vez más críticas en relación a su volumen y comportamiento frente a los sismos.

1.2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO.

Como se ha mencionado en la introducción, los resultados de anteriores

Investigaciones reflejan desacuerdos importantes respecto a la identificación de los minerales arcillosos presentes en el subsuelo de la Ciudad de México, por lo que el objetivo de este trabajo fue realizar un estudio de la formación arcillosa superior con el propósito de contribuir a la identificación de los minerales que forman los estratos de los primeros 32 m. de profundidad del subsuelo, los cuales provienen de una ubicación diferente con respecto a las muestras de otros estudios; esta ubicación corresponde a la confluencia de la Av. Juárez y el Paseo de la Reforma, zona no expuesta a alteración mecánica excesiva.

El estudio fue iniciado por el Dr. Ricardo Peralta y Fabi, investigador en micromecánica de suelos, del Instituto de Ingeniería de la U N A M. El estudio global comprende el análisis de muestras por microscopía electrónica, dispersión de energía de rayos x, estudios paleoecológicos y difracción de rayos x.

El análisis por difracción de rayos x de las 163 muestras recolectadas en el sondeo descrito anteriormente constituyó el motivo para la realización de esta tesis.

1.3.- CONTEXTO INTERDISCIPLINARIO.

Es necesario señalar que el cabal aprovechamiento de esta información será hecho por investigadores en mecánica y micromecánica de suelos, apoyados como se ha mencionado, en estudios paralelos realizados por microscopía electrónica como ayuda a la investigación mineralógica, dispersión de energía de rayos x para la determinación de la composición elemental y estudios paleoecológicos, todos ellos orientados a explicar tanto el proceso de formación del subsuelo del valle de México como el comportamiento futuro del mismo.

CAPITULO 2. OBTENCION Y PREPARACION DE MUESTRAS.

2.1 ORIGEN Y EXTRACCION DE MUESTRAS.

Las muestras para análisis por difracción de rayos x, provienen, como se ha mencionado, de la formación arcillosa superior del Valle de México.

Para situar en un contexto el origen de las muestras, se menciona una breve reseña de los eventos que dieron origen a los depósitos lacustres. La cuenca del Valle de México, como la conocemos hoy en día, está limitada: al Poniente, por la Sierra de las Cruces; al Oriente, por la Sierra Nevada; al Norte, por la Sierra de Guadalupe y hacia el Sur, por la más reciente de éstas, la Sierra de Chichinautzin. Esta última, separó hace aproximadamente - 500,000 a 700,000 años, el actual Valle de México del Valle de Cuernavaca.

Al ser formada una cuenca, la mayoría de los ríos, así como los depósitos volcánicos aéreos y las polvaredas de las zonas semiáridas circundantes van llenando rápidamente la parte más baja del valle; de esta forma nació la cuenca del Valle de México.

Con el fin de obtener muestras que sean lo más representativas posible para realizar estudios del subsuelo, se han desarrollado una serie de técnicas cuyo principal objetivo es la recuperación de una columna o núcleo de suelo que conserve sus propiedades originales. Para estos efectos, se utilizan tubos de 10 cm. de diámetro, que se hincan bajo presión contra los estratos blandos, o en su defecto, se introducen tubos similares pero con puntas serradas con aplicación de rotación para cortar y recuperar los estratos más duros. Al extraer el tubo se procede a sellarlo de inmediato con cera y trasladarlo al laboratorio con periodos que no rebasen los tres días - incluyendo su extracción. Los muestreadores, fueron cortados en tres secciones cilíndricas en las partes que se esperaban libres de interfases con base en la información estratigráfica del cono. La extracción se realizó por medio de un pistón desplazado a velocidad constante e inmediatamente se procedió a su seccionamiento longitudinal (Fig. 2.1), y a su preparación para los diferentes propósitos.

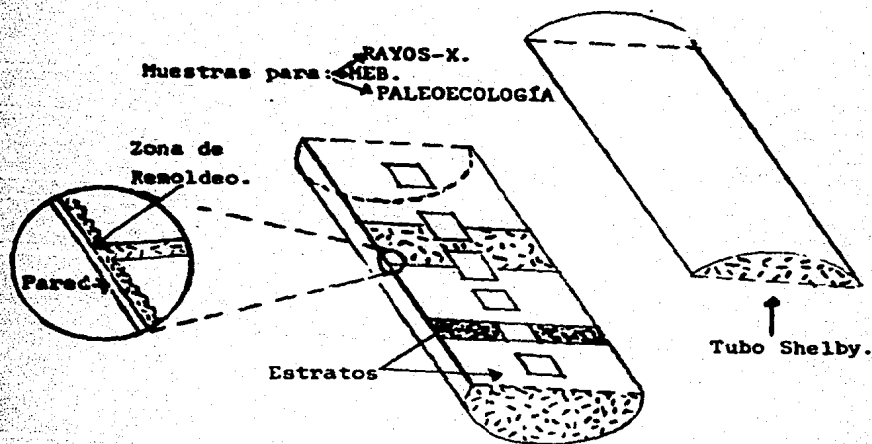


FIGURA 2.1 CORTE LONGITUDINAL DEL TUBO MUESTREADOR.

2.2.- METODO DE ELIMINACION DE OXIDOS DE FIERRO LIBRE, CARBONATOS Y MATERIA ORGANICA EN ARCILLAS.

La eliminación de óxidos de hierro amorfos o cristalinos, de carbonatos de metales alcalinotérreos y de materia orgánica en minerales arcillosos, es necesaria debido a que, en el caso de estar presentes óxidos de hierro, dificultan la interpretación de resultados en el análisis por difracción de rayos x porque pueden enmascarar los patrones de difracción propios de las arcillas y, asociados con la materia orgánica, actuar como cementantes e impedir la dispersión y segregación de estos minerales.

A partir de 1922 se han desarrollado una gran cantidad de métodos para eliminar óxidos de hierro, pero han presentado diferentes problemas; algunos de ellos provocan la destrucción de la estructura cristalina de los ma-

teriales arcillosos (Refs. 6, 7, 8, 9), otros provocan ya sea la deposición de fierro en el medio, causando una disolución incompleta (Refs. 6, 8) o -- una reducción ineficiente de óxidos y la posible pérdida mecánica del material (Ref. 8), en algunos más la eliminación lenta e incompleta de impurezas y la destrucción de arcillas ricas en fierro como vermiculita y nontroita (Refs. 8, 11) o inclusive provocan contaminación del material por precipitación de sulfuro de fierro (Ref. 10).

Con respecto a la eliminación de carbonatos, Gallardo, L. (Ref. 12, -- pág.33), propuso un método que disuelve completamente suelos carbonatados finamente divididos empleando una solución buffer de $\text{NaOOCCH}_3/\text{HOOCCH}_3$ a un pH de 5, el cual se considera más conveniente que una acidificación a un pH de 3.5 con HCl diluido, debido a que no provoca destrucción de los minerales arcillosos. De acuerdo con Alexiades y Jackson (Ref. 13 pág. 37) la destrucción de materia orgánica se efectúa por oxidación de ésta con H_2O_2 al 30% a temperatura y en un medio ligeramente ácido NaOOCCH_3 de pH=5).

Las arcillas del subsuelo de la Ciudad de México, además de mostrar en sus difractogramas escasa claridad, en general presentan un alto contenido de óxido de fierro, carbonatos y materia orgánica (Cap. 1, págs. 4, 5) por lo que para llevar a cabo la eliminación de éstos y posteriormente el análisis por difracción de rayos x de las arcillas, se empleó el método propuesto por Alexiades y Jackson (Ref. 13, pág. 37) con algunas modificaciones en su procedimiento. A continuación se describen los pasos seguidos y se presenta un esquema del mismo en la figura 2.3.

a) Se suspendió la fracción con $\phi < 38\mu\text{m}$, separada del total del suelo, en 20 ml de una solución de ácido acético-acetato de sodio de pH 5 durante 24 hrs, con el fin de disolver los óxidos de fierro y los carbonatos que recubren las partículas de arcilla.

b) Se eliminan los productos de reacción mediante 4 lavados con agua - destilada por centrifugado a 4000 rpm durante 10 min. cada uno.

c) Se oxida la materia orgánica a CO_2 y H_2O con 10 ml. de H_2O_2 al 30%

en medio ligeramente ácido empleando 3 gotas de $\text{NaO}_2\text{CH}_3/\text{HOOCCH}_3$ de $\text{pH}=5$ a una temperatura de $70-80^\circ\text{C}$ durante 3 horas para efectuar la completa destrucción de cualquier materia orgánica residual como organismo o complejo orgánico-minerales.

d) Se efectúan 5 lavados con agua destilada por centrifugado a 4000 rpm durante 15 minutos cada uno, con el fin de obtener un pH cercano al neutro después del último lavado, para evitar la cristalización de productos de reacción. El material así tratado estará en condiciones adecuadas para ser dispersado y segregado en sus diferentes tamaños de partícula.

2.3.- METODO DE SEPARACION Y PREPARACION DE MUESTRAS DE ARCILLAS PARA ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X.

La intensidad de difracción de una especie mineral particular, se ve afectada por factores como el tamaño de partícula y la cristalinidad del material, además de la concentración de éste.

Las partículas de ciertas especies minerales que tienen mayor dimensión, producen intensidades de difracción más débiles que las obtenidas por partículas más finas; debido a esto, el análisis de las fracciones con diferente tamaño de partícula es más correcto.

La separación de las fracciones arcillosas para análisis por difracción de rayos x debe hacerse empleando pequeñas cantidades de suelo, esta separación está basada en: 1) tamizado del material a través de una malla con tamaño de abertura específico; 2) sedimentación de partículas en columna de acuerdo a la Ley de Stokes y; 3) sedimentación de partículas de diámetro y peso específico definidos, de acuerdo a la Ley de Stokes.

En la tabla No. 1, se presentan los tiempos de asentamiento para diferentes temperaturas (Ref. 12, pág. 114), los cuales se tomaron como base para hacer la separación de las arcillas del subsuelo de la Ciudad de México.

TABLA No. 1 TIEMPO REQUERIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA LA SEDIMENTACION DE PARTICULAS DE SUELO POR GRAVEDAD, PARA UNA DENSIDAD DE 2.65 Y UNA PROFUNDIDAD DE SUSPENSION DE 5 CM.

DIAMETRO DE PARTICULA. MICROMETROS	TIEMPO REQUERIDO PARA LA SEDIMENTACION DE PARTICULAS A PARTIR DE UNA SUSPENSION, PARA UNA TEMPERATURA DE:											
	20°C			25°C			30°C			35°C		
	HR.	MIN.	SEG.	HR.	MIN.	SEG.	HR.	MIN.	SEG.	HR.	MIN.	SEG.
50	-	-	22	-	-	20	-	-	15	-	-	15
20	-	2	20	-	2	5	-	1	50	-	1	40
5	-	37	30	-	33	20	-	29	10	-	25	50
2	3	50	0	3	30	0	3	3	-	2	28	-

A continuación se muestran en la tabla 2 los tiempos requeridos para la sedimentación de partículas con diámetro ϕ en el intervalo de 0.2 μ m a 5 μ m, empleando diferentes velocidades de centrifugación y temperaturas (Ref. 12, pág. 128).

TABLA No. 2 TIEMPO REQUERIDO PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE CENTRIFUGACION Y TEMPERATURAS PARA EFECTUAR LA SEDIMENTACION DE PARTICULAS*

DIAMETRO LIMITANTE DE LA PARTICULA MICROMETROS	PESO ESPECIFICO DE LAS PARTICULAS SEDIMENTADAS.	VELOCIDAD DE CENTRIFUGACION RPM	TIEMPO DE CENTRIFUGACION REQUERIDO PARA UNA TEMPERATURA DE:			
			20°C	25°C	30°C	35°C
			MIN.	MIN.	MIN.	MIN.
5	2.65	300	3.3	2.9	2.6	2.4
2	2.65	750	3.3	2.9	2.6	2.4
0.2	2.50	2400	35.4	31.4	28.3	25.4

- * Se empleó una centrifuga internacional No. 2 con cabeza No. 240, tubos de 100 ml., profundidad de la suspensión de 10 cm., 1 cm. de sedimento y --- 9 cm. de profundidad neta de caída.

El método empleado para separar las fracciones con $\phi < 38 \mu\text{m}$, arcilla total con $\phi < 2 \mu\text{m}$, arcilla gruesa ($0.2 \mu\text{m} < \phi < 2 \mu\text{m}$) y arcilla media ($0.08 \mu\text{m} < \phi < 0.2 \mu\text{m}$), en las muestras del subsuelo de la Ciudad de México (Fig. 2.3) está basado en los datos reportados en las tablas 1 y 2 y en el método sugerido por Jackson, Whittig y Pennington (Ref. 14, págs. 77 a 79), y es descrito en la siguiente forma:

1) 5 g de muestra se disgregaron en 500 ml de agua destilada mediante agitación mecánica a 90 rpm durante 30 min. y se tamizaron en húmedo a través de una malla 400 ($\phi = 38 \mu\text{m}$).

2) La fracción con $\phi > 38 \mu\text{m}$ se separó, se llevó a sequedad y se guardó. La fracción con $\phi < 38 \mu\text{m}$ se trató en dos formas:

a) Se suspendió el material en columna, el volumen de 500 ml. de agua destilada durante 24 hr. con el objeto de separar la fracción con $\phi < 2 \mu\text{m}$ y analizarla por difracción de rayos x.

b) Cuando el material no permanecía suspendido el tiempo mencionado en el inciso a), o el análisis por difracción mostraba la necesidad de aplicar el tratamiento de eliminación de óxidos de fierro, carbonatos y materia orgánica se empleaba el método descrito en el capítulo 2, inciso 2.2, para posteriormente sedimentar en columna durante 24 hrs. y separar la fracción de arcilla total con $\phi < 2 \mu\text{m}$.

3) La fracción de arcilla gruesa se separó centrifugando el material con $\phi < 2 \mu\text{m}$ durante 30 min. a 2400 rpm, el sedimento contenía la fracción mencionada y el decantado la fracción de arcilla con $\phi < 0.2 \mu\text{m}$ (Fig. 2.3).

4) Posteriormente para separar la fracción arcillosa media, se centri

fugó a 40,000 rpm empleando una supercentrifuga, el sedimento contenía la fracción de arcilla media y el efluente de arcilla fina (Ref. 12, pág. 111) (Fig. 2.3).

5) Las fracciones de arcilla total con $\theta < 2 \mu\text{m}$ y arcilla gruesa se suspendieron en un volumen de 2 a 5 ml. de agua destilada dependiendo de la concentración de la suspensión, y la fracción de arcilla media en 2 ml. para preparar 3 montajes de agregados orientados por muestra.

El montaje de agregados orientados da como resultado un aumento de la intensidad de difracción de los espaciamientos basales (001) de las especies difractantes; esto permite la detección de materiales que se encuentran en pequeñas cantidades y que pueden ser enmascarados por los más cristalinos.

El montaje de agregados orientados permite examinar más críticamente la variación en los espaciamientos basales por lo que se pueden detectar más fácilmente pequeñas diferencias.

La preparación del montaje de agregados orientados de las fracciones arcillosas separadas, se hizo depositando el material suspendido en agua destilada sobre un portaobjetos de vidrio de 3.8 cm. x 2.6 cm. y, dejando reposar sin movimiento alguno por un tiempo promedio de 20 hrs. a temperatura ambiente hasta que el agua se evapora y se obtiene una película delgada y plana de material arcilloso (Ref. 15, pág. 111). La muestra resultante se coloca en el portamuestras del equipo de rayos x para obtener su patrón de difracción.

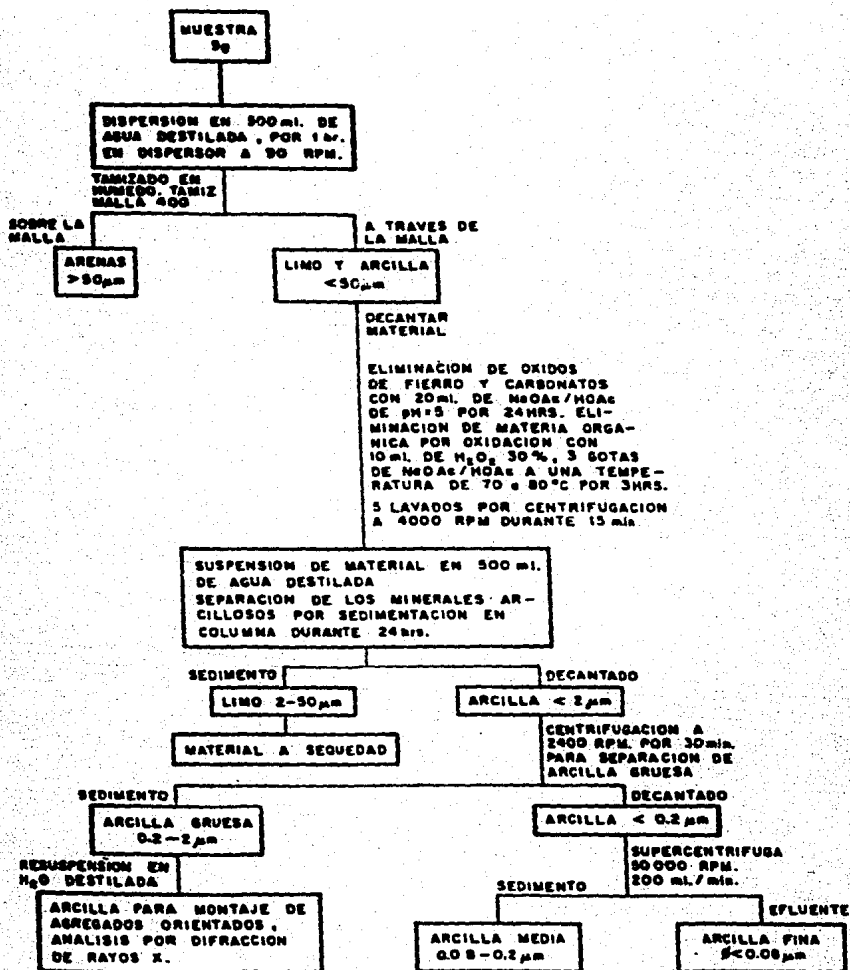


FIG. 2.3 METODO DE SEGREGACION, ELIMINACION DE OXIDOS DE FIERRO, CARBONATOS Y MATERIA ORGANICA EN ARCILLAS.

CAPITULO 3. METODOLOGIA DE LA DIFRACCION.

3.1- FUNDAMENTOS DE LA DIFRACCION DE LOS RAYOS X.

Los rayos x forman una parte del espectro electromagnético, localizados entre las longitudes de onda de 10^{-5} y 100 \AA aproximadamente. En la difracción de rayos x la región espectral de interés es la de 0.5 \AA a 2.5 \AA .

El fenómeno de difracción de rayos x se relaciona principalmente con el carácter ondulatorio de la radiación electromagnética. La difracción se presenta cuando interacciona un frente de onda monocromático en la red cristalina, los átomos de ésta dispersan la radiación en direcciones aleatorias; sin embargo, existen direcciones características en las que la radiación -- dispersada incurre en interferencia constructiva, es decir, que la intensidad de los rayos x es particularmente alta en esas direcciones denominadas Direcciones de Difracción y especificadas por el ángulo de difracción θ .

Para comprender cómo la difracción de rayos x permite conocer las distancias interplanares en la estructura cristalina es necesario considerar una serie de factores geométricos, considerados por W.L. Bragg al determinar las condiciones necesarias para que la difracción de rayos x pueda llevarse a cabo y exponerlas en la ecuación que lleva su nombre (ec. 3.1). En los siguientes párrafos se muestran las condiciones requeridas para que pueda presentarse el fenómeno de difracción.

Considérese un haz de rayos x monocromático y paralelo de longitud de onda λ que incide sobre los planos cristalográficos A, B y C de un cristal con un ángulo de incidencia θ (Fig. 3.1). La diferencia en longitud de onda de las trayectorias recorridas por los rayos 1-1' y 2-2' es el segmento MLN . Se da lugar a interferencia constructiva (difracción) solamente entre aquellos rayos para los cuales su diferencia en trayectoria es igual a cierto múltiplo entero n de la longitud de onda del haz incidente.

Las siguientes relaciones ilustran la construcción geométrica a partir

de la cual se deduce la Ley de Bragg (Fig. 3.1):

$$\text{seno } \theta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{M L}{L K}$$

Despejando el cateto opuesto se tiene:

$$M L = L K \text{ sen } \theta$$

y como

$$M L = L N, \text{ además } L K = d$$

Entonces, para que se produzca la difracción se debe tener que:

$$n \lambda = M L N = 2 M L$$

si

$$M L = L K \text{ sen } \theta = d \text{ sen } \theta$$

entonces

$$2 M L = 2 d \text{ sen } \theta$$

por lo tanto, se debe tener que:

$$n \lambda = 2 d \text{ sen } \theta \quad (\text{Ley de Bragg} \quad \dots(3.1))$$

que representa la condición para que la difracción pueda producirse.

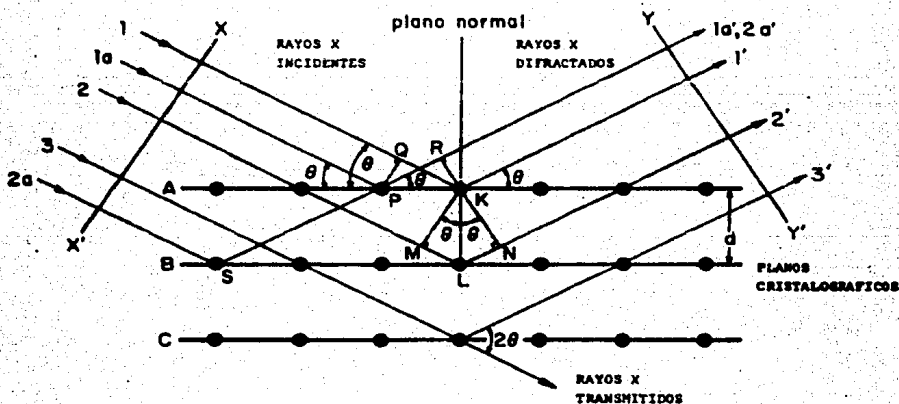


FIGURA 3.1 DIFRACCION DE RAYOS X POR UNA FAMILIA DE PLANOS DE DISTANCIA INTERPLANAR d .

3.2. EQUIPO DE DIFRACCION DE RAYOS X.

Experimentalmente la ecuación de Bragg puede utilizarse en las dos formas siguientes:

- 1) Utilizando rayos x de longitud de onda conocida y midiendo el ángulo de difracción θ ; esto permite determinar la distancia interplanar d de la familia de planos cristalográficos responsable de esa difracción, es decir, obtener un análisis estructural puesto que en una formación cristalina existen diferentes familias de planos cristalográficos que son característicos para cada compuesto específico.
- 2) En forma alternativa se puede utilizar un cristal con planos cristalográficos cuya distancia interplanar d es conocida, medir θ y determinar la longitud de onda de la radiación emitida; esto es, la espectroscopía por rayos x.

El primero de los casos anteriormente mencionados produjo el diseño de un equipo llamado difractómetro, en el cual, utilizando rayos x monocromáticos de longitud de onda λ se puede, por medios mecánicos, variar el ángulo de incidencia θ y detectar las señales que corresponden a los rayos x difractados en los ángulos de difracción correspondientes θ ; esto permite efectuar el cálculo de la distancia interplanar d al despejarla de la ecuación de Bragg.

Las principales partes de un difractómetro de rayos x pueden observarse en la figura 3.2 y se describen en seguida:

Una muestra de polvo C, montada, formando una superficie plana, está soportada sobre un sujetador H, el cual puede ser girado. La fuente de rayos x es S, la línea focal se sitúa sobre el blanco T del tubo de rayos x.

Los rayos x divergen desde la fuente y son difractados por la muestra, para formar un haz convergente, enfocado por la rejilla F (rejilla de recepción), para pasar al detector G. A y B son rejillas que dirigen y coliman -

los haces incidente y difractado.

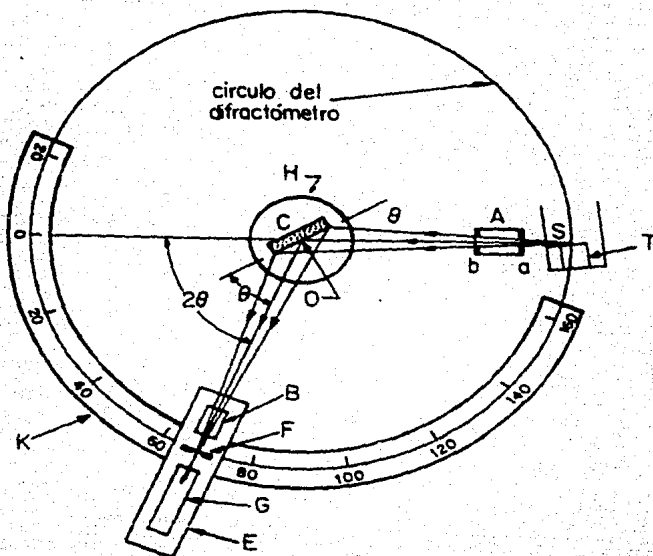


FIGURA 3.2 GEOMETRIA DEL DIFRACTOMETRO DE RAYOS X.

El detector está colocado en el soporte E, el cual puede ser girado de manera que su posición angular 2θ se lea sobre la escala graduada K.

Los soportes E y H están mecánicamente acoplados para que un giro del contador de un número de grados $2x$, automáticamente se acompañe del giro de la muestra de un número de grados x . Este acoplamiento asegura que los ángulos de incidencia sobre, y difracción desde la muestra sean siempre igual el uno al otro, e igual a $1/2$ del ángulo total de difracción 2θ ; arreglo necesario para conservar las condiciones de enfoque. El detector se gira a

una velocidad constante alrededor del eje del difractómetro.

La señal de los rayos x difractados, captados por el detector E, es enviada a un registrador (no mostrado en la figura 3.2), en el cual se puede graficar la intensidad de los haces difractados contra el ángulo 2θ en un papel escalado el cual se desliza a velocidad constante.

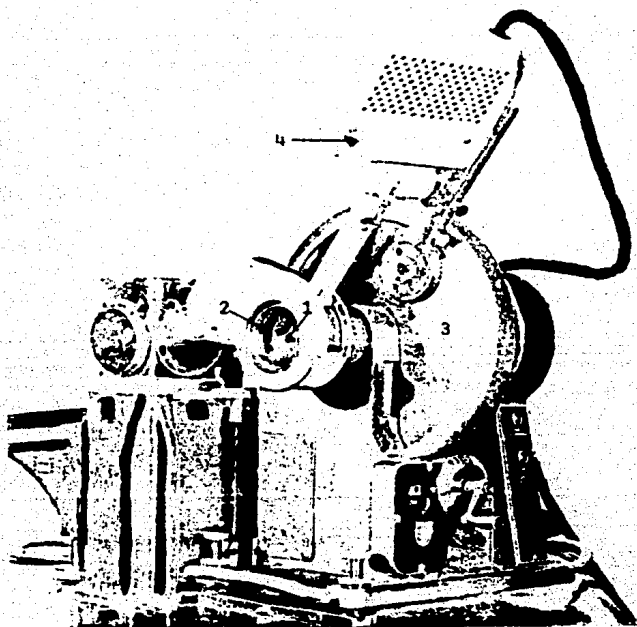


FIGURA 3.3 DIFRACTOMETRO DE RAYOS X.

En la figura 3.3 se muestra la fotografía de un difractor de rayos x con círculo goniométrico vertical. Se puede observar con claridad el sitio en donde debe ser colocada la muestra (1), la abertura a través de la cual se hace incidir el haz de rayos x sobre la muestra (2), el círculo del goniómetro (3) y el detector (4).

En el caso de muestras de polvo los cristales a analizar se montan en posición aleatoria, es decir, sin una orientación establecida, de tal forma que al girar la muestra ciertos planos cristalográficos resultan alineados en la posición de difracción, por lo que con la variación del ángulo de incidencia los distintos cristales, en el polvo, producirán intensidades de difracción en ángulos de Bragg característicos de su geometría atómica.

CAPITULO 4. ANALISIS E IDENTIFICACION DE LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X.

Los patrones de difracción de rayos x de minerales arcillosos presentan, en montajes orientados, los planos basales (001); en montajes no orientados se obtienen los planos (hkl). Los planos basales exhiben periodicidades normales al plano a lo largo del eje c de la celda unitaria; esta dimensión puede variar con la humedad, deshidratación, glicolación, cationes en posición interlamilar, tratamiento ácido, etc.

En la identificación de un mineral arcilloso los ángulos de difracción 2θ registrados en el difractograma se transforman en distancias interplanares d , en Angstroms, por medio de tablas. Estas distancias y las intensidades de difracción calculadas a partir del difractograma, se comparan con las reportadas en los patrones para minerales estándar registrados en tarjetas compiladas por la American Society for Testing Materials y el Joint Committee on Powder Diffraction Standards

4.1 PROCEDIMIENTO.

Existen ciertas pruebas sugeridas para la completa identificación de minerales. Los principales tratamientos auxiliares para ésta son la glicolación y el tratamiento térmico. El tratamiento con etilenglicol provoca diferente expansión en la dimensión del parámetro c para cada mineral con ésta propiedad; y el calentamiento produce una contracción en esta dimensión, también en distinta forma para cada especie. Los efectos de estas pruebas pueden medirse en los difractogramas comparando los valores de distancia interplanar obtenidos para los montajes originales y los desplazamientos provocados en los difractogramas de las mismas muestras, pero ya tratadas.

El procedimiento empleado para la identificación de las arcillas del subsuelo es el siguiente:

- a) Las muestras totales fueron ligeramente disgregadas en un mortero de

ágata y montadas en un portamuestras de aluminio para exponerlas a los rayos x.

b) Se tomaron difractogramas de las muestras de agregados orientados de las fracciones arcillosas separadas.

c) Los montajes de agregados se solvataron introduciéndolos en un --- cristalizador conteniendo etilenglicol, colocado en una estufa a 60°C durante 24 hrs. de acuerdo con Brunton, G. (Ref. 16 pág. 125), tiempo suficiente para provocar la expansión de la red cristalina, lo cual produce un nuevo - espaciamiento interplanar. Deben ser solvatadas las mismas muestras analizadas en (b), con el objeto de comparar los patrones de difracción obtenidos para este montaje.

d) Se colocó un segundo montaje de agregados para cada fracción sobre una placa plana de acero inoxidable, la cual se introdujo en una mufla a -- 550°C durante 90 min. (Ref. 17, págs. 50-51). Concluido el tratamiento térmico, la muestra se colocó en un desecador para alcanzar el equilibrio con la temperatura ambiente, y continuar con el registro de su patrón de difracción.

El análisis de las muestras se efectuó en un difractómetro Philips modelo 1050/25 de registro continuo, utilizando las siguientes condiciones -- instrumentales:

Potencia : 20mA-40kV

Sensibilidad: 2×10^2 -8-0, 2×10^2 -8-1/4, 2×10^2 -8-1/2

Velocidad de Barrido: 2°-20/min.

Velocidad de la Carta: 1200 mm./hr.

Intervalo Angular: de 20=2° a 20=80°

CAPITULO 5. RESULTADOS

5.1 RESULTADOS

En el siguiente cuadro (5.1) se muestran los resultados del análisis - por Difracción de Rayos X de las arcillas del subsuelo de la Ciudad de Méxi - co, provenientes de muestras representativas seleccionadas de un total de - 163 que fueron analizadas. Las fracciones analizadas, con diferente tamaño de partícula se identifican en la siguiente forma:

A = Muestra total de suelo

B = Fracciones con $\phi < 38 \mu\text{m}$ y $\phi < 2 \mu\text{m}$

C = Fracción con $0.2 \mu\text{m} < \phi < 2 \mu\text{m}$

D = Fracción con $0.08 \mu\text{m} < \phi < 0.2 \mu\text{m}$

En los casos donde A no se menciona, significa que no existe análisis de la muestra total.

CUADRO 5.1 RESULTADOS DEL ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X DE LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)	MINERALES NO ARCILLOSOS	FRACCION	MINERALES ARCILLOSOS	FRACCION	FIGURA
1-1-B	4.17-4.50	Plagioclasa, Calcita, - probablemente Cristobalita, Dolomita, Plagioclasa, probablemente -- Cristobalita, Dolomita.	A B	Montmorillonita, probablemente Caolinita y/o Clerita.	B	1
1-4-B	4.50-5.00	Calcita, Plagioclasa, - probablemente Cristobalita, probablemente Dolomita, probablemente - Cuarzo- α , Hornblenda.	A			2
2-1-A	5.00-5.13	Cristobalita, Calcita - Plagioclasa, Cuarzo - α	A	Material de tipo Montmorillonítico pobremente cristalizado -- que difracta en el intervalo de 12.352 Å a 17.312 Å, Caolinita.	B	

2-2-A	5.25-5.50	<p>Calcita, Plagioclasa, - Cristobalita, Cuarzo-α, Anfibol.</p> <p>Plagioclasa, Cristobali ta, probablemente Cuar- zo, Anfibol.</p>	A	Montmorillonita	B
2-2-C	5.25-5.50	<p>Calcita, Plagioclasa, - Cristobalita, Cuarzo-α, probablemente Dolomita, Anfibol (probablemente Glaucofano).</p>	A		
2-3	5.50-5.75	<p>Calcita, Plagioclasa, - probablemente Cristoba- lita, Cuarzo-α.</p> <p>Calcita, Plagioclasa, - Cuarzo-α.</p>	A	<p>Montmorillonita, - Illita pobremente cristalizada.</p>	B
			B		

5-1-B	7.25-7.50	Calcita, Plagioclasa, - Cristobalita, Cuarzo- α Calcita, Plagioclasa, - Cristobalita, Cuarzo- α , Anfibol.	A B	Material de tipo Montmorillonítico pobremente cristalizado -- que difracta en el intervalo de 11.182 $\overset{\circ}{\text{Å}}$ - 12.800 $\overset{\circ}{\text{Å}}$, Mica con bajo grado de cristalización.	B
6-1-A	8.75-9.00	Calcita, Plagioclasa, - Cuarzo α , Cristobalita, Hornblenda.	B	Montmorillonita.	B
6-2-D	9.00-9.25	Plagioclasa, probablemente Cristobalita, probablemente Hornblenda, probablemente Cuarzo- α .	B		
7-1	9.60-9.75	Plagioclasa, Cuarzo- α , Cristobalita, Hornblenda.	B	Montmorillonita.	B

7-2	9.75-10.00	Plagioclasa, Cristobalita, Cuarzo- α , Hornblenda.	B	Montmorillonita, <u>Mi</u> ca (probablemente - illita).	B
7-3-B	10.00-10.25	Calcita, Plagioclasa, probablemente Cuarzo- α	B	Montmorillonita <u>po</u> bablemente <u>cr</u> ystalizada.	B
8-2-B	10.00-10.75	Plagioclasa, Cristobalita, probablemente Cuarzo- α , probablemente Hornblenda.	B	Montmorillonita, -- probablemente illita.	B
10-3-B	11.90-12.20	Plagioclasa, Cristobalita, Calcita.	B	Montmorillonita, -- illita.	B, D.
11-3	12.65-12.90	Plagioclasa, Cristobalita, Cuarzo- α , probablemente - Calcita.	B	illita, Montmorillo <u>n</u> ita.	B

12-1A	13.20-13.45	Plagioclasa, Calcita, -- Cristobalita, Cuarzo α . Probablemente Anfibol.	A B	Montmorillonita.	B
12-1-B-B	13.20-13.45	Calcita, Plagioclasa, -- Cuarzo- α .	B	Material de tipo Montmorillonítico - pobrem <u>e</u> cristali z <u>a</u> do que difracta - de 12.42-16.05 Å, - Mineral de tipo Cao lin <u>t</u> ico que difrac ta en el intervalo de 6.72-7.68 Å, pro bablemente Mica.	B
14-3	15.00-15.45	Calcita, Cristobalita, - Plagioclasa, Cuarzo- α . Calcita, Cristobalita, - Plagioclasa, probab <u>l</u> emen te Cuarzo- α . Probablemente Calcita y Cristobalita.	A B, C. D	Montmorillonita.	B, C, D.

15-3	15.95-16.20	Calcita, Cristobalita, --	A	Material de tipo Mont	B, D.
		Plagioclasa, Cuarzo --		morillonítico pobre--	
		Calcita, Cristobalita, --	B	mente cristalizado --	
		Plagioclasa.		que difracta en el in	
				tervalo de 12.43-22.63	
				A. material de tipo -	
				probablemente Caoliní	
				tico o Clorítico que	
				difracta de 6.96-7.75	
				Å.	
				A.	
16-1	16.20-16.45	Calcita, Plagioclasa, --	A	Montmorillonita, pro-	B
		Cristobalita, probable--		blemente Caolinita.	
		mente Dolomita.		B	
		Plagioclasa.	B	Montmorillonita, pro-	D
				blemente Caolinita,	
				probablemente Mica.	
16-2-B	16.42-16.70	Calcita, Plagioclasa, --	A	Material de tipo Mont	B
		Cristobalita.		morillonítico pobre--	
				mente cristalizado --	

18-1-C	18.45-18.70	Calcita, Plagioclasa, -- Cuarzo- α , Cristobalita.		que difracta en el intervalo de 14.71 Å - 22.07 Å.	
18-3-B	18.95-19.20	Cristobalita, Plagioclasa, Calcita. Probablemente Anfíbol, - Plagioclasa.	A B	Montmorillonita, probablemente Illita.	B
20-2	20.20-20.60	Calcita, Cuarzo- α , Plagioclasa, probablemente Cristobalita. Calcita, Cuarzo- α .	A B	Material de tipo Montmorillonítico pobremente cristalizado que difracta de 15.49Å- 21.019Å.	B
21-1-A	20.70-20.95	Calcita, Plagioclasa, -- Cristobalita, Cuarzo- α Calcita, Plagioclasa, --	A B	Montmorillonita, Caolinita y/o Clorita, probablemente Mica.	B

		Cristobalita. Probablemente Cristobalita, así como Cuarzo- α , Plagioclasa también.	C	Montmorillonita, Caolinita y/o Clorita.	C
21-2-A	20.95-21.20	Calcita, Plagioclasa, Cuarzo- α , probablemente Cristobalita. Calcita, Plagioclasa, probablemente Cristobalita.	A B	Material de tipo Montmorillonítico pobremente cristalizado que difracta de 16.054-17.66Å, probablemente Caolinita y/o Clorita.	B
22-2	21.20-21.50	Calcita, Plagioclasa, Cristobalita, Anfibol, (probablemente Actinolita o Glaucofano), Cuarzo- α . Calcita, Plagioclasa, Cristobalita, Anfibol, probablemente Cuarzo- α .	A B	Material de tipo Montmorillonítico pobremente cristalizado que difracta de 14.017 - --- 21.019Å, Mica (probablemente Illita) de pobre cristalinidad.	B
26-2-B	24.45-24.70	Plagioclasa, Cuarzo- α , --	A, B	Illita.	A

		Cristobalita.		Montmorillonita, -- Illita.	B
26-3-A	24.70-25.05	Plagioclasa, Calcita, -- Cristobalita. Plagioclasa, Cristobalita, probablemente Horn-- blenda.	A B	Material de tipo --- Montmorillonítico po bremente cristaliza- do que difracta en - el intervalo de ---- 13.586A-16.054A.	B
29-3	27.05-27.30	Calcita, Plagioclasa, -- Cristobalita, Hornblenda.	B	Montmorillonita, Mi- ca (probablemente -- Illita).	B
31-2	27.85-28.10	Plagioclasa, Calcita, -- Cuarzo- α , Cristobalita, Dolomita. Plagioclasa, Calcita, -- Cristobalita.	A B	Material amorfo, pro bablemente Montmori- llonita.	B

32-3	28.85-29.10	Calcita, Plagioclasa, -- Cuarzo - α , Cristobalita. Plagioclasa, Cristobalita.	A	Material de tipo -- Montmorillonítico - pobremente cristali- zado, que difracta en el intervalo de 15.094-20.064Å.	B
34-3	30.45-30.70	Calcita, Plagioclasa, -- Cuarzo - α , Cristobalita. Calcita, Plagioclasa, -- probablemente Cuarzo - α , Cristobalita.	A	Montmorillonita, - Illita.	B
35-1-B	30.45-30.70	Calcita, Plagioclasa, -- Cuarzo - α , Cristobalita.	A, B	Montmorillonita.	B
35-1-C	30-45-30.70	Plagioclasa, Anfíbol, -- (Hornblenda), Calcita, - Cuarzo - α , probablemente Cristobalita, probable- mente Dolomita.	A	Montmorillonita.	B

		Plagioclasa, Anfíbol, -- (Hornblenda), Calcita, -- Cuarzo- α , probablemente Cristobalita.	B		
36-2-D	31.47-31.67	Plagioclasa, Cuarzo- α , Anfíbol (Hornblenda), -- probablemente <u>Cristobali</u> <u>ta</u> . Plagioclasa, Anfíbol.	A B	Montmorillonita, -- Illita con <u>crystal</u> <u>nidad media</u> .	B
37-C	31.90-32.32	Plagioclasa, Cuarzo- α , Calcita, probablemente -- Cristobalita, Anfíbol --- (Hornblenda). Plagioclasa, Cuarzo- α , - Calcita, probablemente -- Cristobalita.	A B	Material de tipo -- Montmorillonítico, pobremente <u>crystal</u> <u>izado que difracta</u> - en un intervalo de 14.717A-19.193A, -- Illita pobremente - <u>crystalizada, proba</u> <u>blemente Caolinita</u> y/o Clorita.	B

En el siguiente cuadro (5.2), se muestran las especies identificadas - en las muestras totales y en cada fracción proveniente del segregamiento de éstas. Puede observarse que los minerales arcillosos, son separados en la - fracción de arcilla media de minerales a los que están asociados, cuya natu- raleza no es arcillosa.

CUADRO 5.2 ESPECIES IDENTIFICADAS EN LAS MUESTRAS TOTALES Y EN LAS FRACCIO- NES SEPARADAS CON DIFERENTE TAMARO DE PARTICULA, PROVENIENTES - DE LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

MUESTRAS TOTALES	FRACCIONES CON $\phi < 38\mu\text{m}$ Y $\phi < 2\mu\text{m}$	FRACCION CON $0.2\mu\text{m} < \phi < 2\mu\text{m}$	FRACCION CON $0.08\mu\text{m} < \phi < 0.2\mu\text{m}$
Material Arcilloso pobremente crista- lizado.	Montmorillonita, Mica, Illita,	Montmorillonita pobremente cris- talizada.	Montmorillonita Probablemente - Caolinita y/o -
Illita.	Caolinita y/o	Calcita.	Clorita defi --
Calcita.	Clorita y	Plagioclasa.	cientemente ---
Dolomita.	Material Arcilloso	Probablemente -	cristalizados.
Plagioclasa.	de tipo probablemente	Cuarzo - α .	
Cuarzo - α .	caolinitico pobremen-	Cristobalita. -	
Cristobalita.	te cristalizados.	Probablemente -	
Hornblenda.	Calcita.	Caolinita y/o -	
	Dolomita.	Clorita deficien-	
	Plagioclasa.	temente crista-	
	Cuarzo - α .	lizada.	
	Cristobalita.		
	Hornblenda.		

FIGURAS .

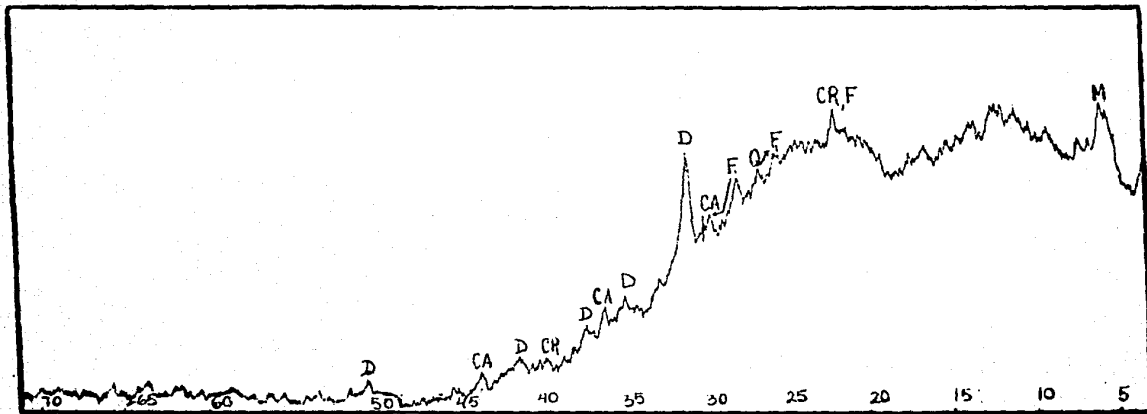


FIGURA 1.- DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA 1-1-B(4.17-4.50 m), EN LA CUAL SE IDENTIFICA MONTMORILLONITA, CRISTOBALITA, FELDESPATO, CUARZO Y DOLOMITA COMO UNO DE LOS MINERALES NO REPORTADOS ANTE RIORMENTE. EL TAMARO DE PARTICULA DEL MATERIAL CORRESPONDE A $\phi < 38 \mu\text{m}$.

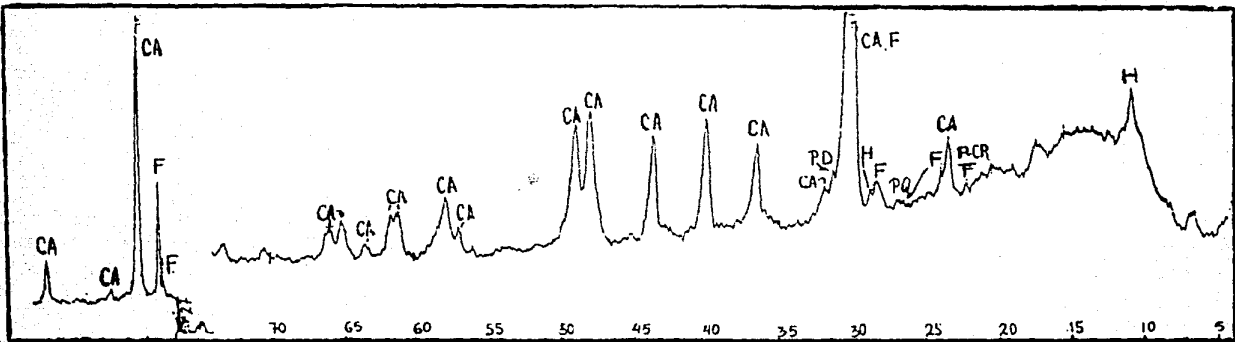


FIGURA 2.- DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA 1-4-B (MUESTRA TOTAL), UBICADA A UNA PROFUNDIDAD DE 4.50 m.-5.00 m., DONDE SE IDENTIFICA CALCITA COMO COMPONENTE EN MAYOR ABUNDANCIA.

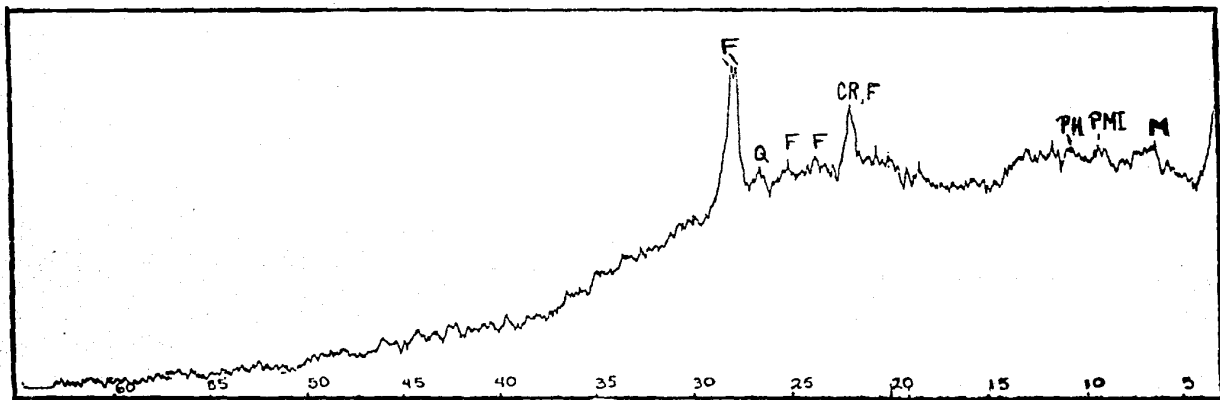


FIGURA 3.- DIFRACTOGRAMA DE LA FRACCION CON $\phi < 38 \mu\text{m}$ DE LA MUESTRA 8-2-B(10.50 m. - 10.75 m. DE PROFUNDIDAD) EN LA CUAL SE REGISTRAN SEÑALES DE DIFRACCION DE RAYOS X, EN EL INTERVALO DE 2 A $20^{\circ}2\theta$ QUE MUESTRAN LA PRESENCIA DE MATERIAL ARCILLOSO Y MATERIAL IGNEO CON DEFICIENTE CRISTALINIDAD.

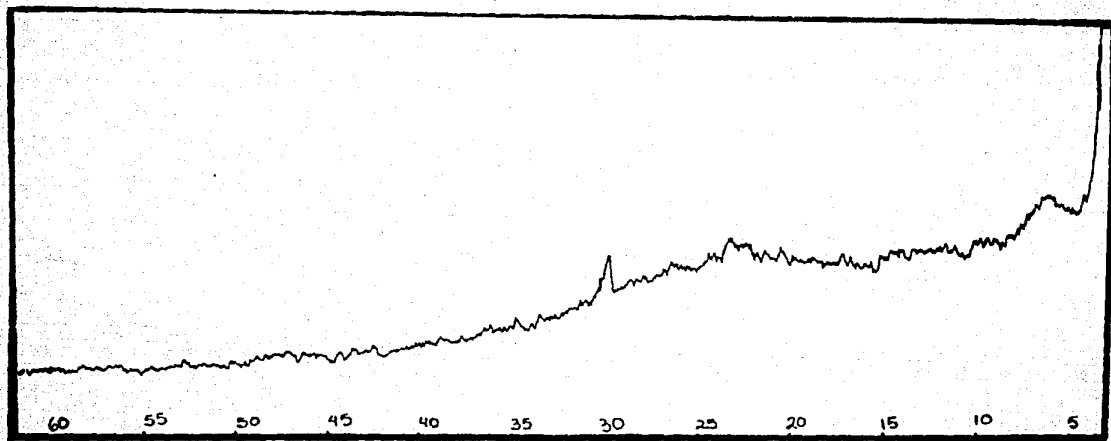


FIGURA 4.- MATERIAL POBREMENTE CRISTALIZADO, DE DIFÍCIL IDENTIFICACION POR DIFRACCION DE RAYOS X; CORRESPONDE A LA FRACCION CON $\phi < 2 \mu\text{m}$ DE LA MUESTRA 19-2(19.45 m. a 19.70 m. DE PROFUNDIDAD)

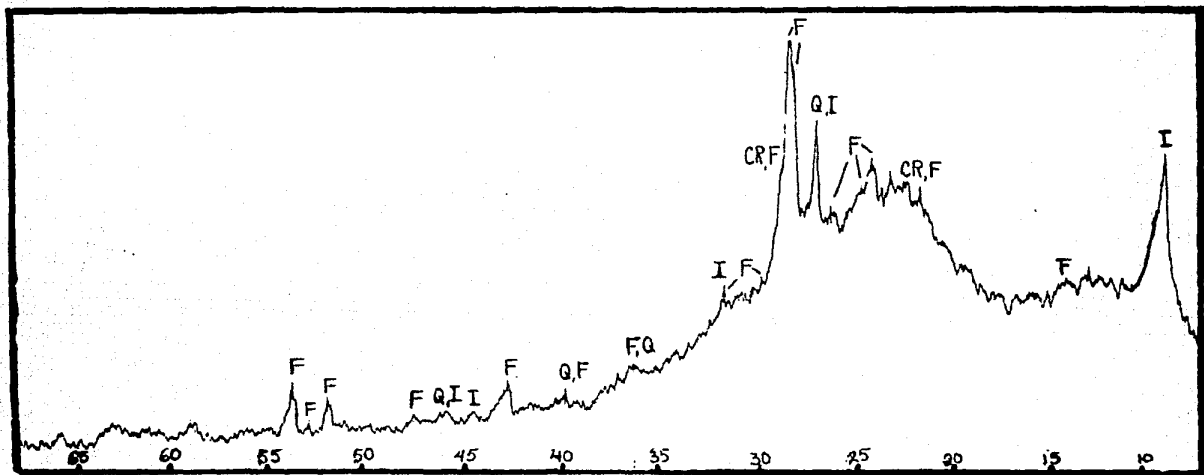


FIGURA 5.- ILLITA IDENTIFICADA EN LA MUESTRA 26-2-B(24.45 m. a 24.70 m. DE PROFUNDIDAD), NO SE ENCUENTRA CALCITA.

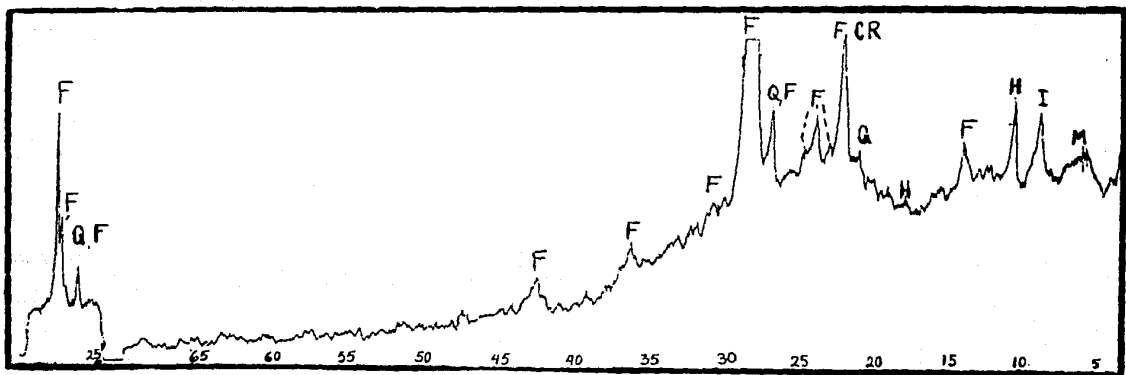


FIGURA 6.- DIFRACTOGRAMA DE LA FRACCION CON $\phi < 38 \mu\text{m}$, CORRESPONDIENTE A LA MUESTRA 36-2-D (31.47 m. a 31.67 m. DE PROFUNDIDAD) EN EL CUAL SE IDENTIFICAN PLAGIOCLASA EN ALTO GRADO DE CRISTALIZACION COMO COMPONENTE PRINCIPAL, CRISTOBALITA, CUARZO- α , HORNBLENDA, ILLITA EN GRADO DE -- CRISTALIZACION MEDIO Y MONTMORILLONITA.

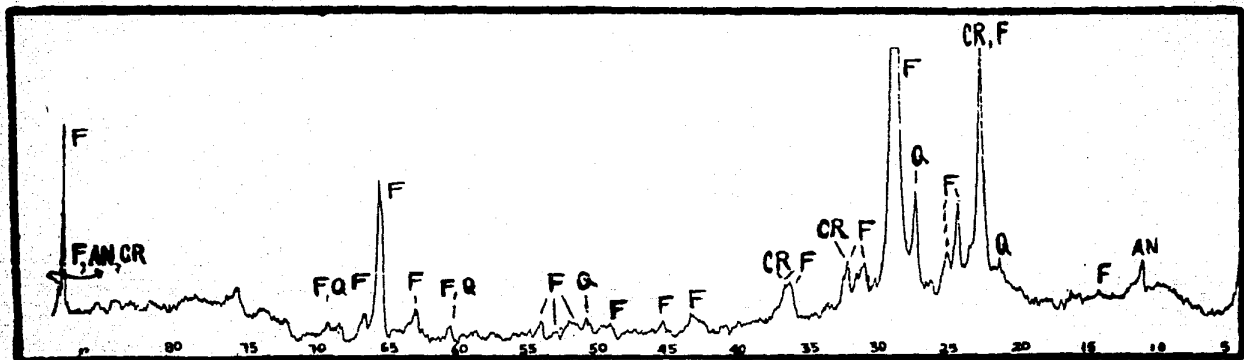
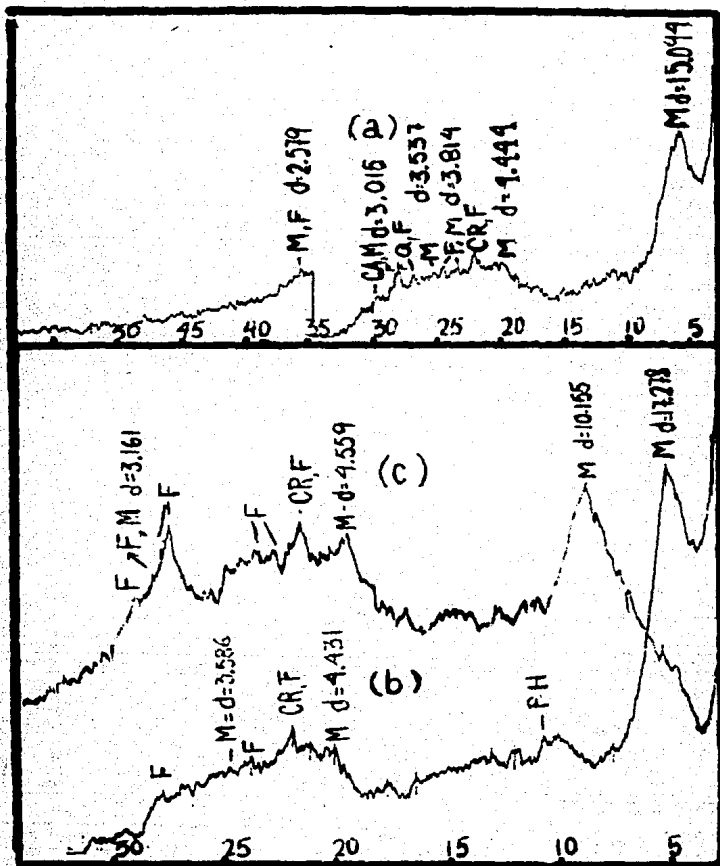


FIGURA 7.- DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA TOTAL CON NUMERO 37-C (31.90 m. a 32.32 m. DE PROFUNDIDAD), EL CUAL MUESTRA LA EXISTENCIA DE PLAGIOCLASA COMO COMPONENTE MINERAL MAS ABUNDANTE, ASOCIADO A CRISTOBALITA, CALCITA, CUARZO- α Y HORNBLENDA.

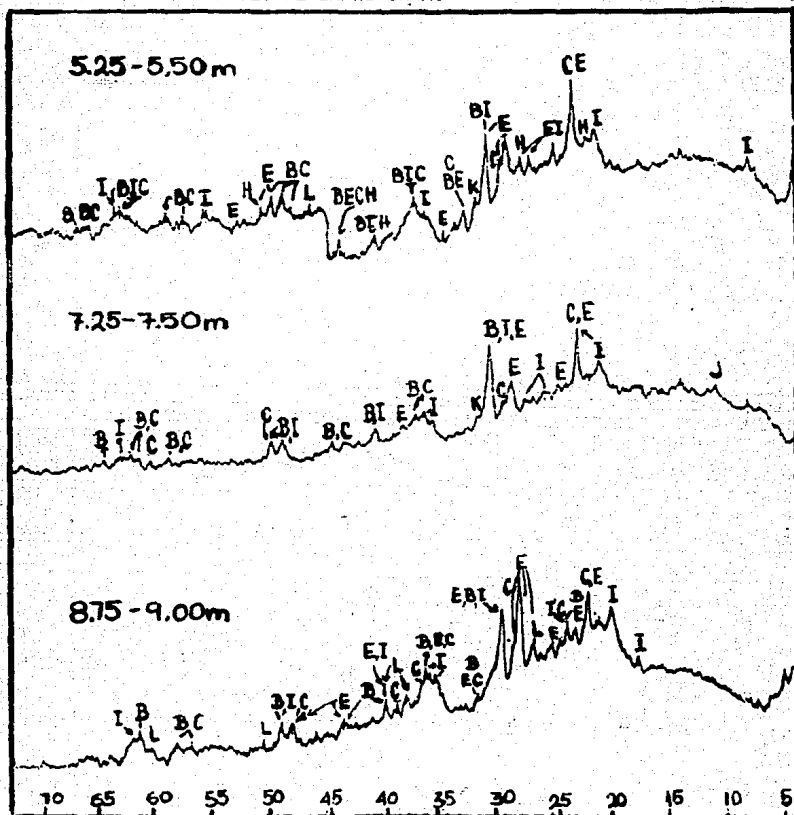


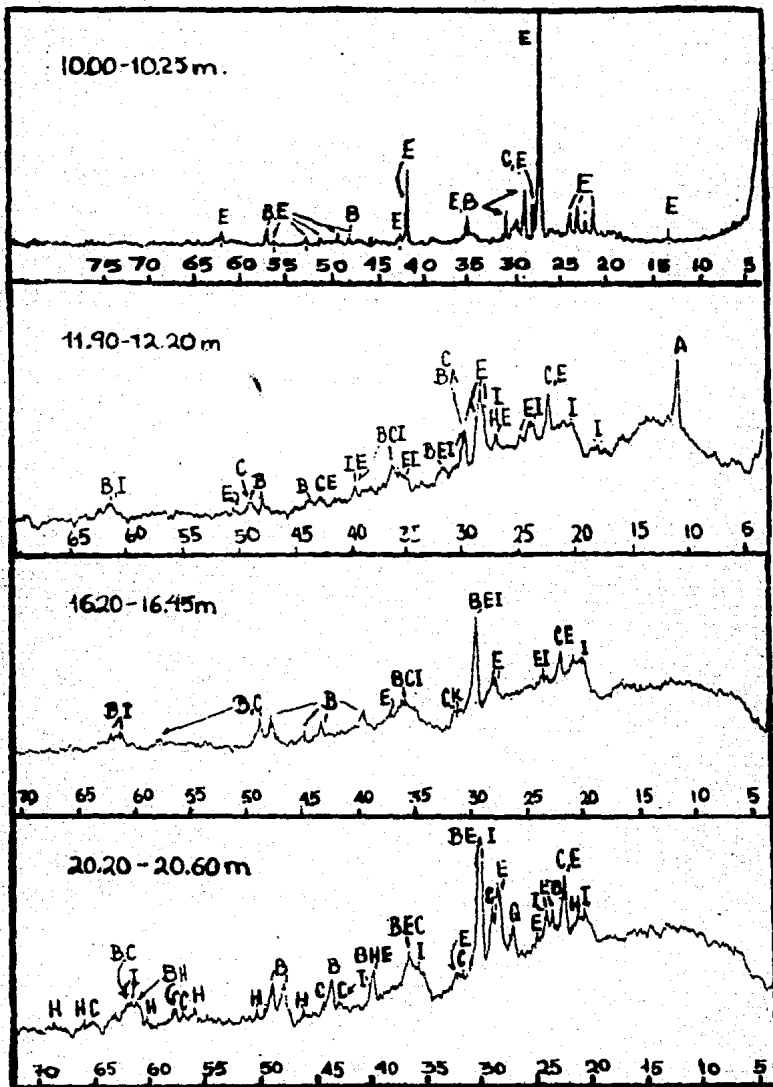
SIGNIFICADO DE LAS CLAVES

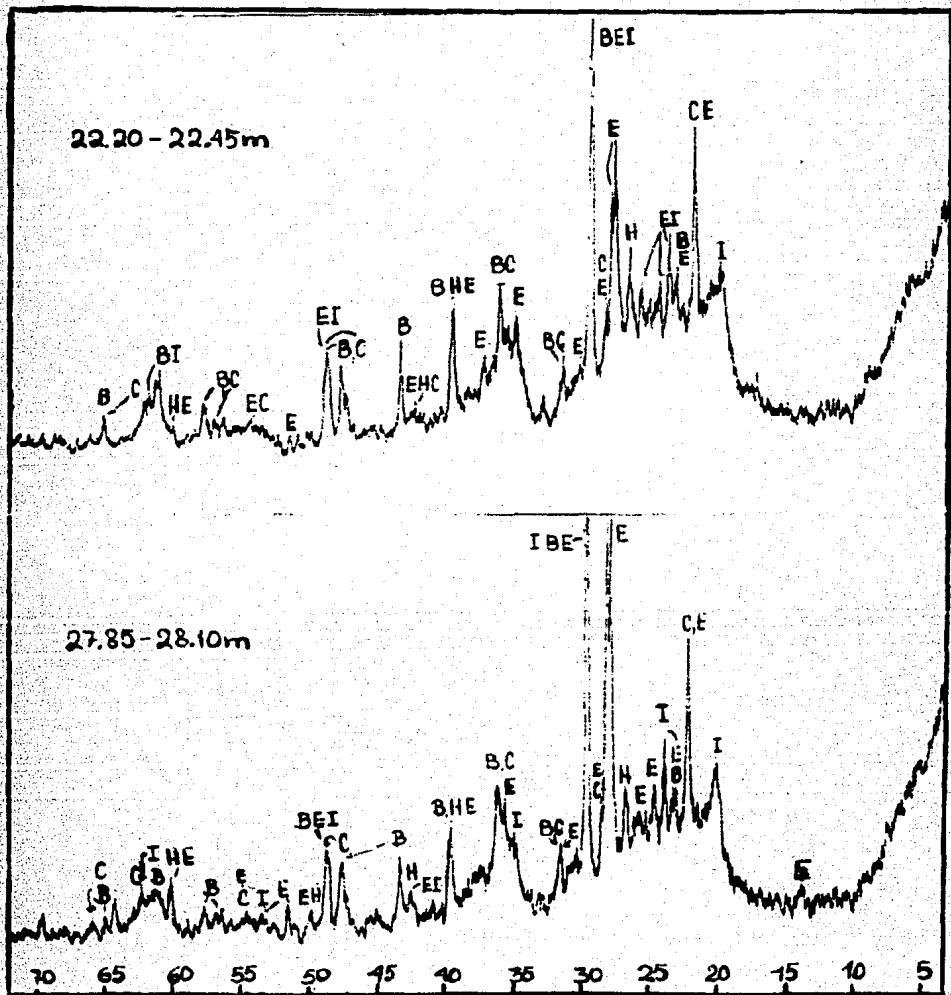
- | | | |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| AN = ANFIBOL | Q = COARZO ALFA | P-CR = PROBABLEMENTE CRISTOBALITA |
| CA = CALCITA | P-MI = PROBABLEMENTE MICA | |
| CR = CRISTOBALITA | M = MONTMORILLONITA | |
| D = DOLOMITA | P-H = PROBABLEMENTE HORNBLENDA | |
| F = FELDESPATO | P-AN = PROBABLEMENTE ANFIBOL | |
| H = HORNBLENDA | P-D = PROBABLEMENTE DOLOMITA | |
| I = ILLITA | P-Q = PROBABLEMENTE CUARZO α | |

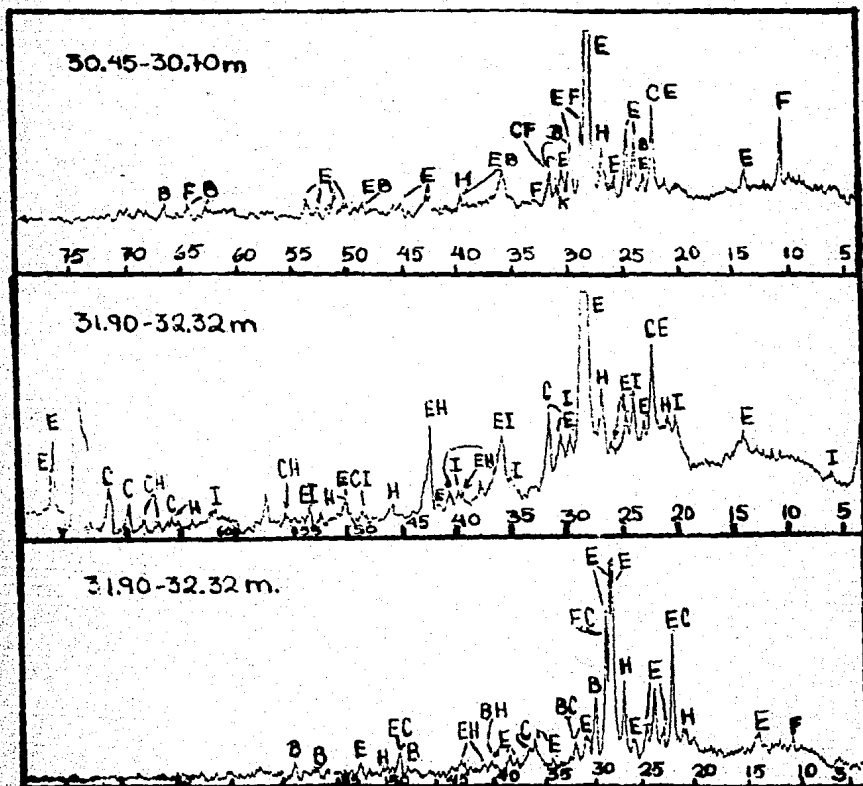
En la figura 8 se observan los difractogramas (a), (b) y (c) de la fracción con $\phi < 38 \mu\text{m}$ de la muestra 1-2 (4.50 - 4.75 m. de profundidad); en (a) se observa un valor de $d=15.094 \text{ \AA}$ para la reflexión basal (001) correspondiente a Montmorillonita; la gráfica (b) pertenece al tratamiento de ésta con Etilenglicol donde se observa el incremento de espaciado basal (001) de 15.094 \AA a 17.278 \AA ; en (c) se muestra el decremento de (001) a 10.155 \AA para la Montmorillonita provocado por el tratamiento de la muestra a -- 550°C .

FIGURA 9.- PERFIL DEL SONDEO DE LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO CORRESPONDIENTE A UNA PROFUNDIDAD DE 5.25 A 32.32 M. EN LA CONFLUENCIA DE LA AVENIDA JUAREZ Y EL PASEO DE LA REFORMA.









SIGNIFICADO DE LAS CLAVES

A : Anfibol	E : Feldespato	I : Material Arcilloso
B : Calcita	F : Hornblenda	J : Probablemente Anfibol
C : Cristobalita	G : Illita	K : Probablemente Dolomita
D : Dolomita	H : Cuarzo-alfa	L : Probablemente Cuarzo- α

5.2 DISCUSION.

Los patrones de difracción obtenidos al analizar muestras totales enmascaradas, en la mayoría de los casos, a las especies existentes en la fracción arcillosa. Debido a esto, se separaron las fracciones con $\phi < 38 \mu\text{m}$ y $\phi < 2 \mu\text{m}$; así como en casos que lo ameritaban, se separaron específicamente fracciones con ϕ en los intervalos de $0.2 \mu\text{m} < \phi < 2 \mu\text{m}$ y $0.08 \mu\text{m} < \phi < 0.2 \mu\text{m}$.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EN LAS FRACCIONES CON $\phi < 38 \mu\text{m}$ Y $\phi < 2 \mu\text{m}$.

Se identificó material arcilloso que corresponde principalmente, y casi siempre, a Montmorillonita con deficiente cristalización, de espaciamiento interplanar dado en el intervalo de 14.0 \AA a 15.491 \AA que expande a $16.503\text{-}17.658 \text{ \AA}$ por solvatación con etilenglicol y muestra contracción a $9.40\text{-}10.155 \text{ \AA}$ al ser tratada a 550°C de acuerdo a los criterios por identificación de Carroll (Ref. 17, págs. 50-53); Johns, Grim y Bradley (Ref. 18, pág 242); Bradley (Ref. 19, págs. 705-706); Mineral Powder Diffraction File (Ref. 20) y Srodon (Ref. 21, pág. 420), y a los resultados observados en las pruebas con Etilenglicol y a 550°C . (Fig. 9).

Por otra parte, se observó en los difractogramas de algunas muestras una meseta con valores de distancia interplanar dados en el intervalo de 11.182 \AA a 22.630 \AA , cuyo comportamiento, en relación a los tratamientos a que fueron sometidos los especímenes, con el fin de purificar y separar la arcilla del material accesorio, dio lugar a los siguientes resultados:

a) La meseta de 11.182 \AA a 22.630 \AA , después del tratamiento químico, es inalterable, es decir, se registra un difractograma similar al original.

b) Dicha meseta, después del tratamiento químico, varía a un perfil bien definido cuyo máximo se encuentra en valores cercanos a 14.90 \AA como promedio, el cual se comporta como una Montmorillonita "tipo" en los tratamientos de identificación subsiguientes.

Se puede atribuir este doble comportamiento de la meseta a que posiblemente en el caso (b), haya existido una completa eliminación de óxidos de fierro, carbonatos y materia orgánica, lo cual mejoró el registro del patrón de la Montmorillonita ya existente, no siendo así el caso (a).

También se considera la posibilidad de que en el caso (a) se tenga un material de tipo montmorillonítico de pobre cristalización que continúa -- presentando la meseta, aunque con ligera modificación, y con un comportamiento similar en los tratamientos subsecuentes al de una montmorillonita estándar.

El tipo de meseta presentado en el caso (b) se localiza en forma discontinua a profundidades de 18.95 a 19.20 m., 19.95 a 20.60 m., 20.70 a --- 21.20 m., 23.75 a 24.20 m., 25.05 a 25.30 m., 25.55 a 25.80 m., 27.05 a --- 27.55 m., 30.45 a 30.70 m., 31.47 a 31.76 m., 31.90 a 32.32 m. De esto puede considerarse la existencia de carbonatos, óxidos de fierro y materia orgánica en estos estratos.

Con respecto a muestras no tratadas químicamente, se identifica en -- muestras de 4.17 a 4.50 m., 5.00 a 5.13 m., 5.25 a 5.75 m., 6.00 a 6.50 m., 11.90 a 12.20 m., 12.65 a 12.90 m., 13.20 a 13.45 m, 15.00 a 15.45 m, 15.70 a 15.95 m., 15.95 a 16.70 m., 18.45 a 18.70 m., 21.50 a 21.55 m., 22.45 a - 22.70 m., 24.20 a 25.05 m., 31.90 a 32.32 m. Una Montmorillonita con perfil bien definido, pobremente cristalizada y de espaciamiento interplanar aproximado a 15.094 Å; este perfil varía en algunos casos a: 12.617 Å, 13.48 Å, 13.586 Å, 13.798 Å, 15.824 Å, 16.054 Å ó 16.351 Å.

Para esta Montmorillonita no fue necesario emplear el método de eliminación de impurezas, por considerar, al observar su patrón de difracción, - que la probable presencia de dichas especies en baja concentración, no altera el patrón de la misma.

Se identifica Mica, así como Mica en deficiente grado de cristalización, la cual probablemente se encuentre como Illita. Existen estratos en -

los cuales se observan señales que probablemente correspondan con material micáceo (Cuadro 5.1). La presencia de Illita a profundidad variable con deficiente y mediana cristalización se manifiesta en los difractogramas de -- las muestras reportadas también en el cuadro. Se considera probable su existencia en especímenes donde se observan señales de difracción de baja intensidad para la Illita.

En un número reducido de muestras se determina la presencia de un material sin diferenciar como tipo caolinitico o clorítico debido a la baja intensidad de sus señales y/o al traslape de algunas de ellas. Existe un mineral de tipo probablemente caolinitico en las muestras provenientes de --- 5.00 a 5.13 m., 13.20 a 13.45 m. y 18.95 a 19.20 m. de profundidad.

Con respecto a minerales no arcillosos se obtuvieron los siguientes resultados:

A) Se identifica Carbonato de Calcio en su variedad de Calcita y -- Carbonato de Calcio y Magnesio como Dolomita (Cuadro 5.1, Fig. 1); dicho mineral no había sido identificado en los estudios por difracción de rayos x que anteceden a éste.

B) Se confirmó la presencia de Plagioclasa a lo largo del pozo (Cuadro 5.1); no fue posible identificar si ésta corresponde al tipo sódico o - sódico-cálcico, debido a la baja intensidad y escasa resolución observada en sus máximos de difracción.

C) Los difractogramas muestran la existencia de dos formas de Oxido de Silicio, una como Cristobalita en su forma de baja temperatura y otra correspondiente a Cuarzo - α ; se observan en fracciones tratadas y no tratadas químicamente; en algunos estratos su presencia es solo probable (Cuadro 5.1).

D) Se advierte la presencia frecuente de anfibolas bajo su forma de Hornblenda; una de las señales de difracción de rayos x característica para anfibolas se obtiene en el caso de las muestras del subsuelo de la Ciudad -

de México en un intervalo 2θ donde existe alto ruido de fondo, lo cual dificulta su identificación; otras se traslapan con máximos para Feldespatos y Calcita, pero, sin embargo, con suficiente resolución para identificar dicha anfíbola.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EN LA FRACCION CON $0.2\ \mu\text{m} < \phi < 2\ \mu\text{m}$.

La metodología para concentrar los minerales del subsuelo dentro de un límite de tamaño bien definido ha sido bien establecida.

La tendencia de los coloides específicos a concentrarse dentro de un tamaño definido significa la oposición o resistencia a la meteorización y a la intensidad de la misma, tal es el caso de los miembros del grupo de la Montmorillonita, que tiende a persistir en grandes cantidades en las fracciones finas de arcilla. La susceptibilidad de los minerales al intemperismo, tal como sucede en los feldespatos y micas da como resultado su extinción antes de alcanzar dimensiones de arcilla fina.

En la fracción con $0.2\ \mu\text{m} < \phi < 2\ \mu\text{m}$ se ha identificado material arcilloso que corresponde con Montmorillonita pobremente cristalizada con espaciamentos interplanares de 14.968 y 15.683 Å; que sufre reacciones de solvatación con etilenglicol y expansión interplanar a 16.659 Å y contracción a 10 Å por efecto de tratamiento térmico a 550°C, en forma similar a una Montmorillonita patrón.

Se observan señales de difracción con baja intensidad que corresponden a Carbonato de Calcio en forma de Calcita, mineral que está presente en muy bajas concentraciones.

Se identifica también un miembro de la serie de los feldespatos como la Plagioclasa, cuyo tipo no es posible reconocer como sódico o sódico-cálcico, ya que la intensidad y resolución de sus máximos de difracción es muy baja. La ocurrencia de este mineral en esta fracción es muy escasa.

Se reconoce el patrón para la Cristobalita en su forma de baja temperatura a pesar de su reducido tamaño de partícula, aparece en muestras no tratadas químicamente.

Es probable, en muy escasa concentración, la presencia de Cuarzo- α en esta fracción, de estarlo, se traslapa con Montmorillonita.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS EN LA FRACCION CON $0.08 \mu\text{m} < \phi < 0.2 \mu\text{m}$.

La segregación de las muestras a un tamaño de partícula de $0.08 \mu\text{m} < \phi < 0.2 \mu\text{m}$ permitió identificar un mineral de tipo montmorillonítico pobremente cristalizado con un perfil de reflexiones con espaciamentos interplanares de 15.198 \AA de mayor intensidad, 16.290 \AA que expande con etilenglicol a 18.587 \AA y 20.772 \AA el cual expande a 25.963 \AA en el caso de la muestra 15-3 extraída de 15.95 m. a 16.20 m. ; de 16.882 \AA con expansión a 19.193 \AA y 21.019 \AA para la muestra 14-3 localizada entre los 15.00 m. y 15.45 m.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE LAS MUESTRAS TOTALES.

El análisis de polvos reveló una mezcla de fases con diferente concentración, donde la fase mejor cristalizada es casi siempre Calcita y aparentemente la que se encuentra en mayor cantidad.

En la mayoría de los casos no se observa en los difractogramas de las muestras totales la señal de los planos basales, la cual contribuye a definir la naturaleza del material arcilloso presente, debido a esto; es importante separarlo y montarlo en forma de agregados orientados para efectuar tratamientos en éste y obtener información complementaria necesaria para finalizar la identificación.

Se identifica Carbonato de Calcio en su variedad de Calcita (Cuadro - 5.1), el máximo de difracción corresponde, en la mayor parte de los casos,

con un espaciamento interplanar de 3.005 Å a 3.055 Å.

La Dolomita (Carbonato doble de Calcio y Magnesio) se encontró en la muestra total ubicada entre los 4.17 y 4.50 m. de profundidad. En la bibliografía consultada ningún autor reporta haberla identificado anteriormente. Se considera como probable en las muestras de 4.50 a 5.00 m.; 5.25 a 5.50 m. 10.00 a 10.25 m.; 16.20 a 16.45 m.; 23.30 a 23.45 m.; 27.85 a 28.10 m.; --- 30.45 a 30.70 m.; 31.90 a 32.32 m. La presencia de Dolomita parece ser ocasional, la forma del carbonato de calcio predominante es la Calcita, aunque se verificó la ausencia y presencia de sus polimorfos.

Se confirma la presencia de Plagioclasa a lo largo del pozo (Cuadro - 5.1), no es posible identificar si el tipo existente corresponde a plagioclasa sódica o sódico-cálcica debido a la escasa resolución observada en sus máximos de difracción y a la mínima diferencia en los valores de distancia interplanar más significativos para cada tipo. En las muestras con profundidad de 30.45 a 30.70 m.; 31.47 a 31.67 m.; 31.90 a 32.32 m. se identifica plagioclasa con alta cristalinidad en estado casi puro, es decir, asociada a bajas concentraciones de Cristobalita, Cuarzo, Calcita y material arcilloso.

Se ha encontrado Cristobalita en su forma de baja temperatura, se observa también un máximo de difracción para Cuarzo - que se traslapa con la señal de 3.33 Å de Montmorillonita; las reflexiones de menor intensidad para Cuarzo se encuentran también traslapadas.

La Hornblenda (Cuadro 5.1), especie clasificada en el grupo de las anfíbolos, fue identificada en baja concentración. Existe la probabilidad de que se encuentren Glaucofano o Actinolita, miembros del mismo grupo, considerando que las señales de difracción para anfíbolos se observan en el caso de las muestras del subsuelo de la Ciudad de México en un intervalo de alto ruido de fondo y donde existe traslape con máximos de difracción para Feldespatos y Calcita.

Cabe mencionar que en la muestra total de 24.45 a 24.70 m. se identifi

có illita con cristalinidad media.

La cristalinidad de los minerales que forman el subsuelo de la Ciudad es diferente; considerando muestras totales, la Calcita existe en la mayor parte de éstas con cristalinidad más alta, seguida por Plagioclasa, Cristobalita, Cuarzo, Anfíbol y Material Arcilloso.

TABLA 5.4 COMPARACION DE RESULTADOS SOBRE LA COMPOSICION MINERALOGICA DE LAS ARCILLAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO OBTENIDA HASTA 1979 Y LA REPORTADA EN ESTE TRABAJO.

	RESULTADOS	RESULTADOS PRESENTADO	RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTE ESTUDIO
Materia Orgánica.	1-10%	10%	
CaCO ₃ como Calcita.	2-21%	10%	CaCO ₃ como Calcita en muestras totales a profundidades de 4 a 32 m. Se encuentra en la mayoría de las muestras.
Material Fino Amorfo.	Vidrio y Ceniza Volcánica, ópalo, diatomeas.	Formado por diatomeas.	Se encuentra la presencia de material amorfo en un gran número de muestras.
Material Arcilloso.	20% de Montmorillonita de Sodio. Arcilla Montmorillonítica ó Bentonítica. Arcilla no como Montmorillonita,	Presumiblemente Montmorillonita.	Montmorillonita bien cristalizada encontrada en escaso número de estratos. Montmorillonita en general pobremente cristalizada, identificada en fracción con $\emptyset < 38 \mu\text{m}$, $\emptyset < 2 \mu\text{m}$, $0.2 \mu\text{m} < \emptyset < 2 \mu\text{m}$ y $0.08 \mu\text{m} < \emptyset < 0.2 \mu\text{m}$.

RESULTADOS

sino como Illita.
Montmorillonita de Na y K.

No existe material arcilloso cristalino, es amorfo y se clasifica como alofano.

10% de esmectita - interlaminada con complejos de hidróxido de aluminio, fierro y posiblemente magnesio.

Material montmorillonítico criptocristalino, arcilla criptocristalina, hidromica.

RESULTADOS PROMEDIO

RESULTADOS EN ESTE ESTUDIO

Caolinita y/o Clorita encontrada en fracciones con $\phi < 38 \mu\text{m}$, $\phi < 2 \mu\text{m}$ y probablemente existente en fracciones con $0.2 \mu\text{m} < \phi < 2 \mu\text{m}$ y $0.08 \mu\text{m} < \phi < 0.2 \mu\text{m}$.

Illita identificada tanto en muestras totales como en las fracciones con $\phi < 38 \mu\text{m}$ y $\phi < 2 \mu\text{m}$.

RESULTADOS

Minerales
Accesorios.

Cristobalita, cuarzo, Calcita en --- muestras totales. Hornblenda basáltica. Tremolita, Plagioclasa en ocurrencia ocasional, epidota, no cuarzo identificados en la fracción gruesa del suelo.

Bajos contenidos de Calcita y Plagioclasas ocasionalmente asociadas a escasa Cristobalita y Cuarzo.

RESULTADOS PROMEDIO

Los mismos que en la columna de resultados.

RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTE ESTUDIO

Calcita, Plagioclasa, Cristobalita en muestras totales y en fracciones con $\emptyset < 38 \mu\text{m}$, $\emptyset < 2 \mu\text{m}$ y $0.2 \mu\text{m} < \emptyset < 2 \mu\text{m}$.

Cuarzo $-\alpha$ en muestras totales y fracciones con $\emptyset < 38 \mu\text{m}$ y $\emptyset < 2 \mu\text{m}$, es probable en $0.2 \mu\text{m} < \emptyset < 2 \mu\text{m}$.

Hornblenda en muestras totales y en fracciones con $\emptyset < 38 \mu\text{m}$ y $\emptyset < 2 \mu\text{m}$.

Dolomita en muestras totales y en la fracción con $\emptyset < 38 \mu\text{m}$ se observa en ocurrencia ocasional.

CAPITULO 6. RESUMEN

La escasamente conocida constitución mineralógica de las arcillas del subsuelo de la Ciudad de México, además de sus propiedades físicas y mecánicas muy poco comunes (compresibilidad, índice de plasticidad, tixotropía y contenido en agua muy altos), ha conducido, a partir de mediados de siglo, a realizar estudios tanto en el ámbito nacional como internacional -- con el objeto de evaluarlos.

El trabajo presentado, contribuye a aclarar algunos de los polémicos resultados reportados en los estudios que lo antecedieron con respecto a la composición mineralógica de las arcillas del subsuelo, además de proponer algunos resultados no dados anteriormente.

Respecto al análisis de muestras, hace hincapié en la necesidad de separar la fracción arcillosa de la fracción gruesa del suelo y en la posibilidad, en muchos casos necesaria, de poder emplear los métodos de eliminación de impurezas y de fraccionamiento en arcillas, lo cual no había sido considerado en anteriores trabajos. La necesidad de emplear estos métodos se deriva de la importancia de lograr una identificación correcta de la naturaleza del material.

El estudio comprendió la identificación por difracción de rayos x, de un número total de 163 estratos provenientes de un pozo de 36 m. ubicado en la confluencia de la Av. Juárez y el Paseo de la Reforma, zona no expuesta a alteración mecánica excesiva.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas del análisis por difracción de rayos x de las arcillas del subsuelo de la ciudad, son las siguientes:

Se confirma la existencia de Montmorillonita de mediana a alta cristalización identificada posteriormente a la separación de la fracción arcillosa efectuada, de la muestra total.

Se identifica Montmorillonita, generalmente con deficiente cristalización, como mineral más abundante en las fracciones de arcilla total con $\phi < 2 \mu\text{m}$, arcilla gruesa y arcilla media.

Se identifica material micáceo además de material que corresponde con Illita en deficiente y mediana cristalización.

Se identifica un mineral tipo caolínítico y/o clorítico, así como otro de tipo caolínítico, los cuales no se habían reportado anteriormente.

Los minerales no arcillosos encontrados son:

Dolomita, especie que por primera vez se identifica en estratos del subsuelo de la Ciudad de México.

Carbonato de calcio en su variedad de Calcita; se confirmó la ausencia de solución sólida.

Plagioclasa sódica o sódico-cálcica.

Oxidos de silicio como Cuarzo- α y Cristobalita en su forma de baja temperatura.

Anfibolas bajo su forma de Hornblenda, especie ya anteriormente identificada por medio de rayos x.

Se identificó Montmorillonita como mineral más abundante en cada fracción resultante del fraccionamiento de la arcilla, pero minerales como -- Caolinita y/o Clorita, Illita y Mica fueron identificados principalmente - en las fracciones con $\phi < 38 \mu\text{m}$ y $\phi < 2 \mu\text{m}$, lo cual significa que la mayor - parte de los minerales arcillosos están concentrados en éstas.

Se considera necesario, por lo menos, efectuar la separación de las - fracciones de arcilla con $\phi < 2 \mu\text{m}$ y $0.2 \mu\text{m} < \phi < 2 \mu\text{m}$ de la muestra total de suelo, debido a que dicha separación permite eliminar minerales no arcillo - sos que enmascaran señales de difracción propias de las arcillas.

El fraccionamiento y posteriormente el montaje de agregados orienta -- dos permite ubicar los planos basales de dichas arcillas permitiendo efec -- tuar la identificación del material en base a los desplazamientos en los - valores de "d" para estos planos, provocados por los tratamientos térmicos y de glicolación. Por otra parte, la separación de las fracciones de arcilla gruesa y media generan reflexiones con mayor resolución, las cuales -- son más fácilmente identificables.

La mayor parte de las muestras analizadas pueden ser tamizadas a través de malla 400, esto significa que el tamaño de partícula de los minerales existentes está reducido a $\phi < 38 \mu\text{m}$.

Se considera necesario aplicar el método de eliminación de óxidos de fierro, carbonatos y materia orgánica debido a que los valores de "d" posteriores al tratamiento químico se acercan más a los teóricos tanto en --- muestras de mediana, pobre, como muy pobre cristalización.

Del perfil del sondeo del subsuelo de la Ciudad de México mostrado en la figura 9 se puede apreciar la distribución de la composición mineralógi - ca, la variación en la cristalinidad y la abundancia de las especies minerales en muestras totales del subsuelo de la ciudad. En el perfil se obser - va la escasa diferencia en dicha composición a lo largo del sondeo y la ma - yor abundancia y/o mejor formación de Calcita y Feldspatos en los estra -- tos más profundos.

La composición del manto superficial del subsuelo de la ciudad, derivada del corte estratigráfico descrito en 1978 puede verse confirmada por los resultados obtenidos por difracción en los que la identificación de -- Cristobalita, Plagioclasa en altas concentraciones, Cuarzo- α , corroboran la presencia de arenas y, la existencia de Montmorillonita, Illita y la -- probabilidad de encontrar Caolinita; confirman a su vez la presencia de Ma terial Arcilloso.

La identificación de Montmorillonita está también asociada a la pres-- sencia de arcilla de alta compresibilidad observada en la formación arcil-- llosa superior descrita en el mencionado corte estratigráfico.

La presencia de Illita, así como la probable existencia de Caolinita, contribuyen en menor grado a esta propiedad.

A últimas fechas, el estudio del comportamiento de las arcillas expan-- sivas (como la Montmorillonita, considerada entre las más inestables) ha -- cobrado importancia en vista del crecimiento número de obras de construcción en las que es necesario utilizarlas. Estas arcillas son sensibles a los -- cambios de humedad, es decir, tienen susceptibilidad a sufrir un aprecia-- ble cambio de volumen con el correspondiente cambio en la humedad, ya sea durante la construcción o la operación de una estructura. Los estudios del subsuelo como en este caso, confirman la presencia de suelos expansivos -- que sumados al conocimiento de la estratigrafía y propiedades del subsuelo determinadas empíricamente (deformabilidad por carga, resistencia al corte, etc.), determinan soluciones de cimentación.

En cuanto a la importancia práctica del conocimiento de la composi--- ción mineralógica en relación a la estabilización de suelos estriba en que, el conocimiento de esta composición para un suelo fino inestable, permite seleccionar los aditivos más adecuados para efectuar su estabilización.

Sería muy interesante el poder realizar un estudio semejante al des-- crito en este trabajo con el objeto de correlacionar diferentes puntos de la ciudad estudiados desde este punto de vista, ya que permitiría una co--

relación geológica más real aplicable a la posible predicción del comportamiento del subsuelo ya sea bajo cargas de diferente magnitud o por efecto de sismos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Marsal, R.J. y Mazarí, M.
El Subsuelo de la Ciudad de México.
2a. Edición.
Universidad Nacional Autónoma de México
México (1969)
- 2) Peralta y Fabi, R.
Aspectos Microestructurales del Subsuelo de la Ciudad de México
Informe del Proyecto 2549
Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
México (1984)
- 3) Grimé, R.E.
Applied Clay Mineralogy
McGraw-Hill Book Co. Inc.
U.S.A. (1962)
- 4) Jackson, M.L.
Soil Chemical Analysis Advanced Course
Published by the Author
Dept. of Soils, University of Wisconsin
Madison (1965)
- 5) Cullity, B.D.
Elements of X-Ray Diffraction
2nd. Edition
Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
U.S.A. (1978)
- 6) Mineral Powder Diffraction File
Data Book
Compiled by Joint Committee on Powder Diffraction Standards
U.S.A. (1980)

REFERENCIAS

- Ref. 1.- Mesri, G. Rokhsar, A. y Bohor, B.F.-"Composition and Compressibility of typical samples of México City Clay". *Geotechnique* 25/3 527-554 (1975).
- Ref. 2.- Marsal, R.J. y Mazari, M.- "El Subsuelo de la Ciudad de México", 2a. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México, México 1969.
- Ref. 3.- Resendiz, Daniel y Otros.- "Información reciente sobre las características del subsuelo y la práctica de la Ingeniería de Cimentaciones en la Ciudad de México" No. 276 (nov. 1970). Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ref. 4.- Girault, P. "Mineralogía de las Arcillas del Valle de México". *Ingeniería*. Octubre (1964).
- Ref. 5.- Coria, S.E. y De Pablo, L. "Análisis Físicoquímico y Mineralógico de las Arcillas del Valle de México" Escuela Nacional de Ciencias Biológicas" I.P.N. México (1976)
- Ref. 6.- Jeffries, C.D. "A Method of preparing soils for petrographic analysis". *Soil Science*. 52/451-454 (1941)
- Ref. 7.- Dion, H.G. "Iron Oxide removal from clays and its influence on base exchange properties and x ray diffraction patterns of the clays". *Soil Science* 58/411-424 (1944).
- Ref. 8.- Mehra, O.P. & Jackson, M.L. "Iron Oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate". Seventh National Conference on Clays and Clay Minerals. 316-327.
- Ref. 9.- Haldane, A.D. "Determination of free Iron Oxide in soils". *Soil* --

Science 82/483-489 (1956).

- Ref. 10.- Drosdoff, M. & Truog, E. "A Method for removing and determining the free Iron Oxide in soil colloids". Journal of American Society of Agronomy. 27/312-317 (1935).
- Ref. 11.- Mitchell, B.D. & Mackenzie, R.C. "Removal of free Iron Oxide -- from clays". Soil Science 77/173-184 (1954).
- Ref. 12.- Jackson, M.L. "Soil Chemical Analysis" Advanced Course. Published by the author. Dept. of Soils, University of Wisconsin. Madison - (1965).
- Ref. 13.- Alexiades, C.A. & Jackson, M.L. Clays & Clay Minerals Proceedings 14th Conference. "Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. p. 35. Pergamon Press. N.Y. (1966).
- Ref. 14.- Jackson, M.L., Whittig, L.D. & Pennington, R.P. "Segregation procedure for the mineralogical analysis of soils". Proc. Sci. Soc. Amer. 14/77-81 (1950).
- Ref. 15.- Kinter, E.B. & Diamond, S. "A new method for preparation and treatment of oriented-aggregate specimens of soil clays for X-Ray diffraction analysis". Soil Science. 81/111-120 (1956).
- Ref. 16.- Brunton, G. "Vapor pressure glycolation of oriented clay minerals" American Mineralogist. 40/1-2/124-126 (1955).
- Ref. 17.- Carroll, D. "Clay Minerals: A Guide to their X-Ray Identification". Special Paper 126. The Geological Society of America.
- Ref. 18.- Johns, W.D., Grim, R.E. & Bradley, W.F. "Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods". Journal of Sedimentary Petrology. 24/4/242-251 (1954)

- Ref. 19.- Bradley, W.F. "Diagnostic criteria for clay minerals". American Mineralogist. 30/704/703 (1945).
- Ref. 20.- Mineral Powder Diffraction File. Data Book. Compiled by Joint -- Committee on Powder Diffraction Standards. U.S.A. (1980).
- Ref. 21.- Środón, J. "Synthesis of mixed-layer kaolinite/smectite clays --- and clay minerals". 28/6/419-424 (1980).