

LOS HIDRÓXIDOS DE ALUMINIO
EN LOS SUELOS DE CHIAPAS

Lisandro CASTELLANOS

Mario MEDINA V.

*Nicolás AGUILERA **

Colaboradores

Angel RODRÍGUEZ

Dario RENAN PÉREZ P.

* Investigadores en el Instituto de Geología.

CONTENIDO

RESUMEN	91
INTRODUCCIÓN	92
SITUACIÓN	93
Trabajo preliminar de gabinete	94
Trabajos de campo en la primera salida	98
Trabajos de la segunda salida	101
Geología	101
Suelos	101
Origen	101
Trabajos de laboratorio	104
Conclusiones	119

RESUMEN

La investigación tuvo por objeto localizar zonas con suelos conteniendo hidróxidos de aluminio solubles en álcalis y susceptibles de explotación para la obtención de alúmina. Con base a criterios edafo-geológicos se determinó hacer la investigación en el Estado de Chiapas.

Los trabajos se efectuaron en dos etapas: en la primera se hizo un muestreo recorriendo el Estado como lo indica el mapa guía (figura 1); en la segunda etapa el trabajo se efectuó en la zona de Oxchuc que fue la que se encontró más favorable según los datos obtenidos en la primera etapa. Esta zona contiene calizas del Cretácico no diferenciado, limitando al sur por una falla y en contacto con Paleoceno y Eoceno. Los suelos son lateríticos. La exploración de Oxchuc se hizo en forma intensiva en una zona y en forma extensiva en diferentes direcciones, buscando rumbos hacia donde pudiera crecer el contenido de alúmina soluble.

El cuanteo de la alúmina en el laboratorio se hizo sobre el extracto alcalino obtenido por digestión a presión ambiente y ebullición a dicha presión. El análisis de las muestras indica la existencia de hidróxidos de aluminio y la difracción de rayos X nos dice que se trata de gibbsite.

Se concluye que existen materiales conteniendo alúmina soluble en álcalis de posible explotación y se recomienda proseguir los estudios de la zona.

ABSTRACT

The object of this research was to locate areas where the soil contains alkaline soluble aluminum hydroxide which would yield alumina.

Using edafo-geologic criteria, it was decided to carry out research in the State of Chiapas. The work was done in two steps: first, samples were taken throughout the State as shown on the accompanying map (figure 1); second, efforts were concentrated in the Oxchuc area, as the general sampling showed it to be the most favorable. This area has cretaceous non-differentiated shales, which are bordered to the south by a fault and which come in contact with paleocenic and eocenic formations. The soils in this region are lateritic.

Part of Oxchuc was explored intensively, the rest was explored extensively, in order to find directions in which the concentration of soluble alumina increased.

The quantification of alumina in the laboratory was done by extracting alkaline obtained by digestion and by boiling. Laboratory analysis of the samples indicate the existence of aluminum hydroxide and X ray diffraction indicates the presence of gibbsite.

Our conclusion is that there are soils with soluble alumina which possibly can be exploited. We recommend that further studies be done in this area.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado de una exploración que se hizo en el Estado de Chiapas durante los meses de mayo de 1970 y julio de 1971, con el fin de localizar materiales edáficos cuyo contenido de alúmina soluble en álcalis fuera adecuado para su explotación.

Los motivos fundamentales que se tuvieron para hacer esta investigación fueron:

a) El evidente crecimiento industrial del país que lo convierte cada vez más en un importante consumidor de aluminio como lo indica el anuario de 1970 (Anuario Estadístico), según el cual se importaron 4 300 toneladas de aluminio en diferentes prestaciones. Para el año de 1971 las importaciones fueron de 5 100 toneladas.

b) El hecho de que ya existe una planta metalúrgica de aluminio que consume alúmina importada como materia prima y que en el año de 1969 produjo 32 183 toneladas de aluminio.

c) La contribución que se puede aportar al conocimiento de los recursos naturales del país.

Para las investigaciones efectuadas se tomaron como base criterios edafo-geológicos, ya que desde un principio se determinó hacer la búsqueda en suelos tropicales que son los reconocidos como generadores de óxidos de aluminio solubles en álcalis (suelos lateríticos y lateritas); buscando además que las rocas madres de los suelos fueran de tipo sedimentario principalmente calizas, ya que en otros sitios del mundo así se han localizado. Al mismo tiempo se tomaron en cuenta condiciones climatológicas y de relieve actuales para poder localizar regiones con probabilidades de contener el tipo de suelos con los minerales buscados. Se cree que la forma como se llevó a cabo el trabajo permitió aprovechar al máximo las posibilidades económicas y de tiempo disponibles y a la vez hizo posible la localización de una zona favorable para la prospección de los materiales buscados, la que, con una exploración intensiva tiene probabilidades de transformarse en un yacimiento económicamente explotable.

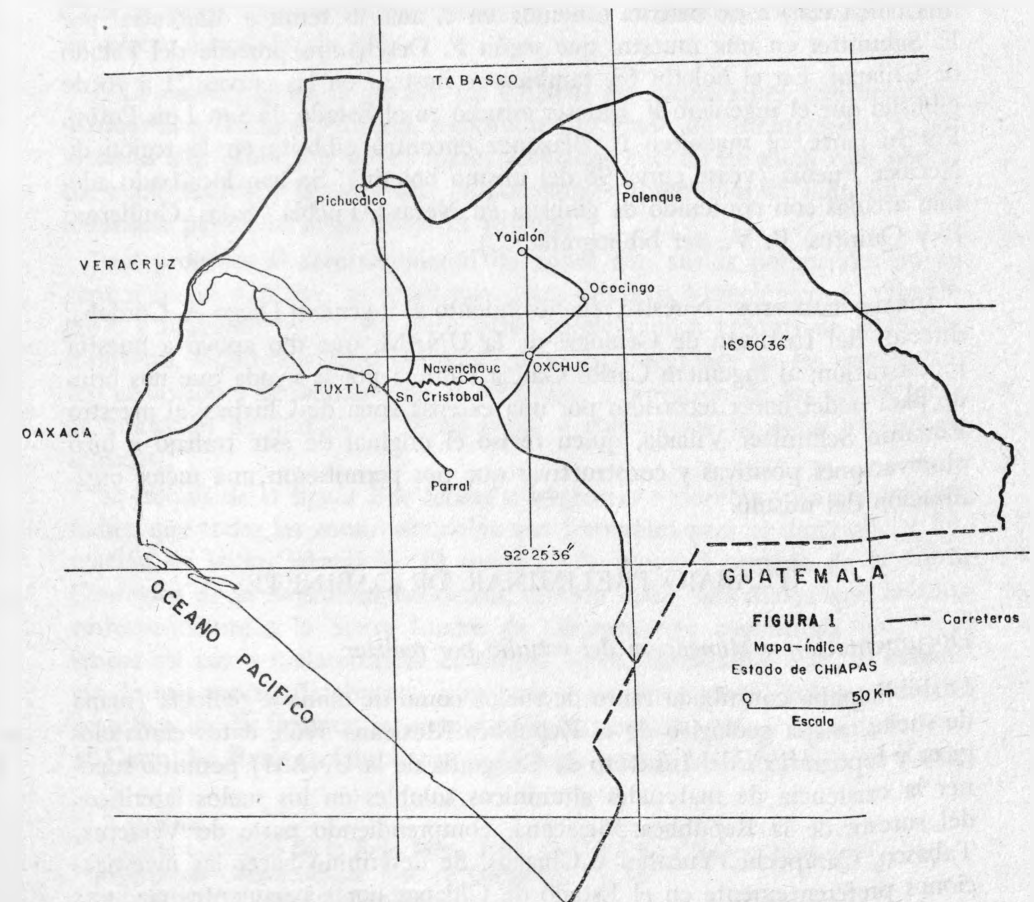
Se piensa que existen otras regiones del país con condiciones edafológicas y climáticas semejantes en las que puede hacerse una investigación utilizando los mismos criterios.

SITUACIÓN

El mapa índice de la figura 1 señala las diferentes rutas que se siguieron en la búsqueda, así como las coordenadas de Oxchuc que resultó ser la zona favorable.

Las rutas de acceso para llegar a la zona de la investigación son:

1. La carretera Panamericana que partiendo de México llega a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del Estado con una distancia de 1 080 km. Esta misma carretera se sigue 90 km más adelante pasando por la ciudad



de San Cristóbal las Casas hasta llegar al cruce con la carretera que va a Yajalón.

2. Carretera que va: Huixtán, Oxchuc, Ococingo y Yajalón. Camino de terracería transitable en todo tiempo. Aproximadamente a 50 km del cruce se encuentra Oxchuc.

ANTECEDENTES: En el país se han hecho búsquedas para localizar bauxita, con cuyo nombre se designa la roca rica en hidróxidos de aluminio de origen natural y que es la mena por excelencia, corrientemente ésta debe contener alrededor de 50% de Al_2O_3 , un 5% SiO_2 , 20% de Fe_2O_3 y 20% de agua. En el boletín 63 del Instituto de Geología de la UNAM, se reporta una curva clásica de bauxita obtenida en el análisis térmico diferencial por E. Schmitter en una muestra que según F. Deschamps procede del Estado de Chiapas. En el boletín 63, también se ilustran en las curvas 71 a 76 de gibbsita que el ingeniero F. Mooser estudió en el Estado de San Luis Potosí. Por su parte, el ingeniero L. Blázquez encontró gibbsita en la región de Necaxa, Puebla (véase curva 98 del mismo boletín). Se han localizado además arcillas con contenido de gibbsita en Necaxa, Puebla (Salas, Guillermo P. y Quintus, B. V., ver bibliografía...).

AGRADECIMIENTOS: Nuestro reconocimiento al ingeniero Diego A. Córdoba, director del Instituto de Geología de la UNAM, que dio apoyo a nuestra investigación; al ingeniero Carlos García Herrera por la ayuda que nos brindó para poder hacer recorridos por una extensa zona de Chiapas; al maestro Eduardo Schmitter Villada, quien revisó el original de este trabajo e hizo observaciones positivas y constructivas que nos permitieron una mejor organización del mismo.

TRABAJO PRELIMINAR DE GABINETE

Documentación y planeación del estudio por realizar

La bibliografía consultada tanto de suelos como de clima y geología (mapa de suelos, mapa geológico de la República Mexicana 1968; datos climatológicos y topográficos del Instituto de Geografía de la UNAM) permitió suponer la existencia de materiales aluminicos solubles en los suelos lateríticos del sureste de la República Mexicana, comprendiendo parte de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Chiapas. Se determinó hacer las investigaciones preferentemente en el Estado de Chiapas por las siguientes razones:

1. En la Península de Yucatán, por lo general, los suelos son muy someros, lo que indica que no se han desarrollado ni evolucionado suficientemente para llegar a constituir suelos con algún contenido aprovechable de hidróxidos de aluminio, por lo cual se consideró poco probable (aunque no imposible) localizar alguna zona favorable.

2. El Estado de Tabasco parece contar con zonas favorables para la prospección de hidróxidos de aluminio, dadas sus condiciones climáticas; sin embargo, por tratarse de suelos formados por aluvión, éstos han recibido aportes considerables de arena de sílice, lo cual los hace poco favorables para la búsqueda de aquellos hidróxidos. Muestreos hechos posteriormente en las zonas de Teapa, Tacotalpa, Villahermosa, Macuspana y Palenque, Chiapas, confirmaron altos contenidos de sílice en los suelos y escasa alúmina soluble (alrededor de 1%).

3. La existencia en el Estado de Chiapas de formaciones sedimentarias marinas con fuerte carsticidad, indicando alto grado de intemperismo y por lo tanto alta evolución en los suelos formados encima de ellas, que podría dar como resultado la existencia de porcentajes apreciables de hidróxidos de aluminio, pudiendo llegar hasta la bauxita.

Para proceder al reconocimiento de zonas con suelos potenciales en su contenido de alúmina, se recabaron datos edáficos,¹ geológicos,² climáticos³ y topográficos.⁴ Con estos datos se elaboraron croquis de isotermas e isoyetas, eligiéndose para el muestreo aquellas regiones en las que coexisten condiciones favorables para el desarrollo y evolución de los suelos hacia la formación de hidróxidos de aluminio y eliminación de sílice (suelos lateríticos).

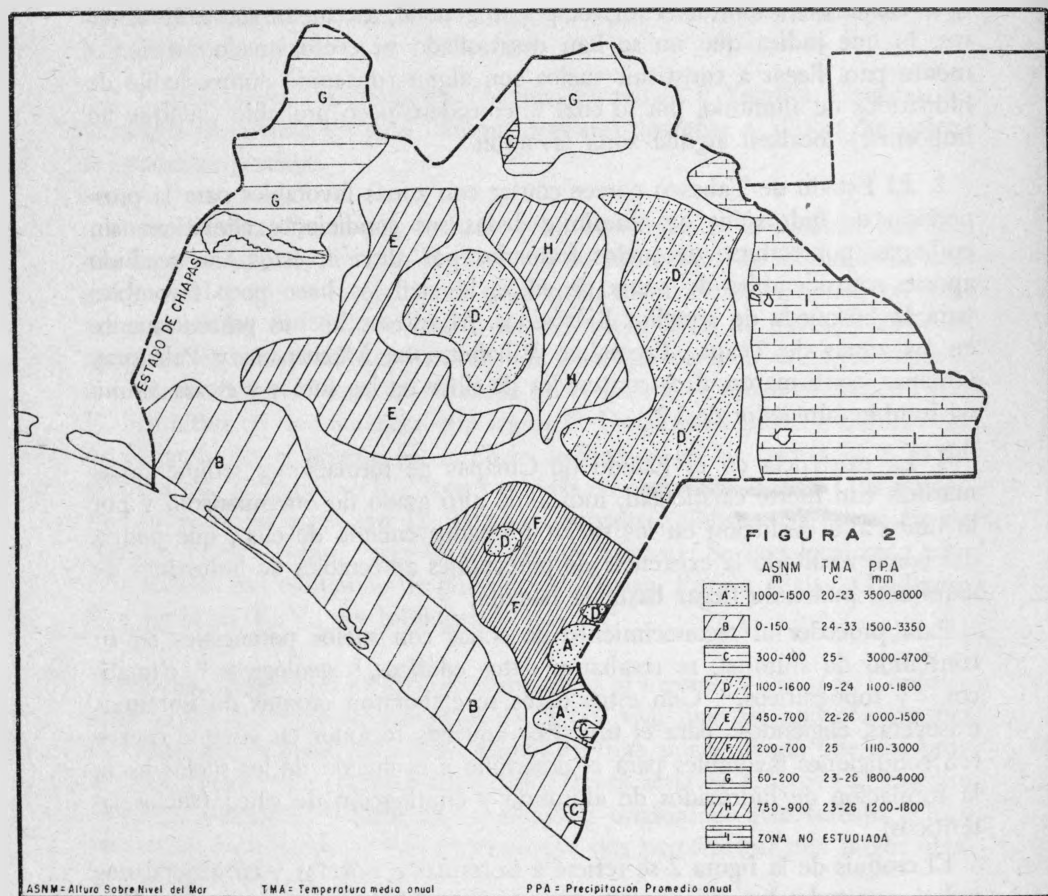
El croquis de la figura 2 se refiere a isotermas e isoyetas y en general nos indica que todas las zonas ashuradas son favorables para el desarrollo y formación de suelos lateríticos. El mapa de la figura 3 tomado de la *Carta Geológica de la República Mexicana*, edición 1968, nos indica que la zona correspondiente a la Sierra Madre de Chiapas está constituida por rocas ígneas así como metamórficas de origen ígneo, aunando a esto, la existencia de una topografía abrupta, hizo pensar en pocas probabilidades de éxito en esta zona. Se tomaron en cuenta además, pequeñas zonas volcánicas como el Cerro del Baúl en Cintalapa, el Chichón cerca de Pichucalco, el Zonte-

¹ Aguilera.

² *Carta Geológica de la Rep. Mex.*, 1968. Geología de Chiapas, Mullerried.

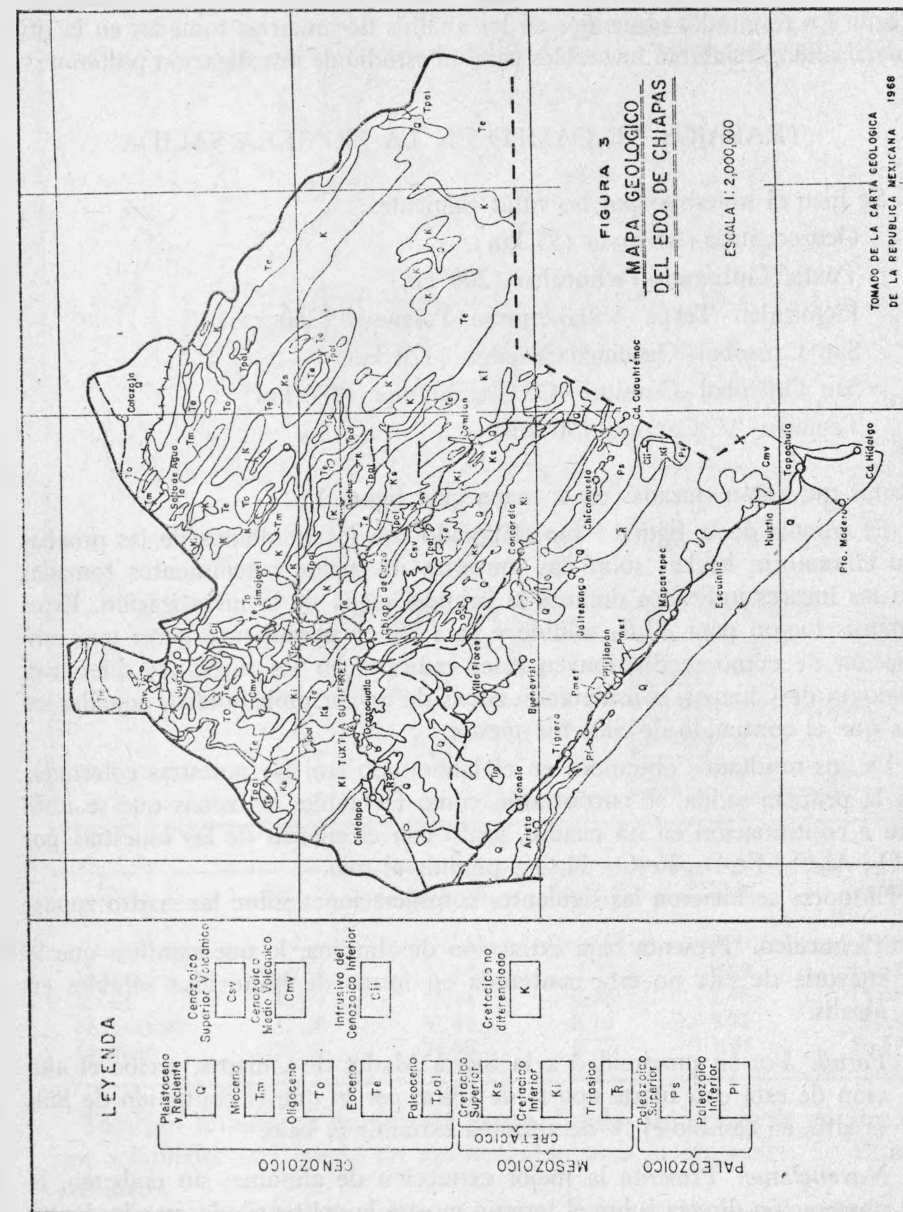
³ Registros Climatológicos. Inst. de Geografía. UNAM.

⁴ Secretaría Recursos Hidráulicos.



huitz cerca de San Cristóbal y el Tacaná al norte de Tapachula; los suelos de estas regiones han sufrido contaminaciones recientes, lo cual queda de manifiesto por el residuo arenoso de los suelos, rico en minerales ferromagnesianos; estas regiones tienen escasa probabilidad para la existencia de los materiales deseados.

Se planeó efectuar dos salidas: la primera haciendo un recorrido general por las rutas de acceso apropiadas a las zonas consideradas como más probables y aprovechando la oportunidad para tomar muestras, levantar perfiles a proximidad de suelos puestos al descubierto por cortes de carreteras, o bien utilizando perforadoras de mano en los sitios en que no hubieran tales cor-



tes. La segunda salida se planeó para recorrer exclusivamente las zonas que, según los resultados obtenidos en los análisis de muestras tomadas en la primera salida, resultarán favorables para un estudio de investigación posterior.

TRABAJOS DE CAMPO EN LA PRIMERA SALIDA

Se hizo el muestreo por las rutas siguientes:

- Ocozocoautla - Malpaso (55 km)
- Tuxtla Gutiérrez - Pichucalco (200 km)
- Pichucalco - Teapa - Villahermosa - Palenque (260 km)
- San Cristóbal - Ococingo - Yajalón (120 km)
- San Cristóbal - Comitán - C. Cuauhtémoc (170 km)
- Teopisca - V. Caranza (50 km)

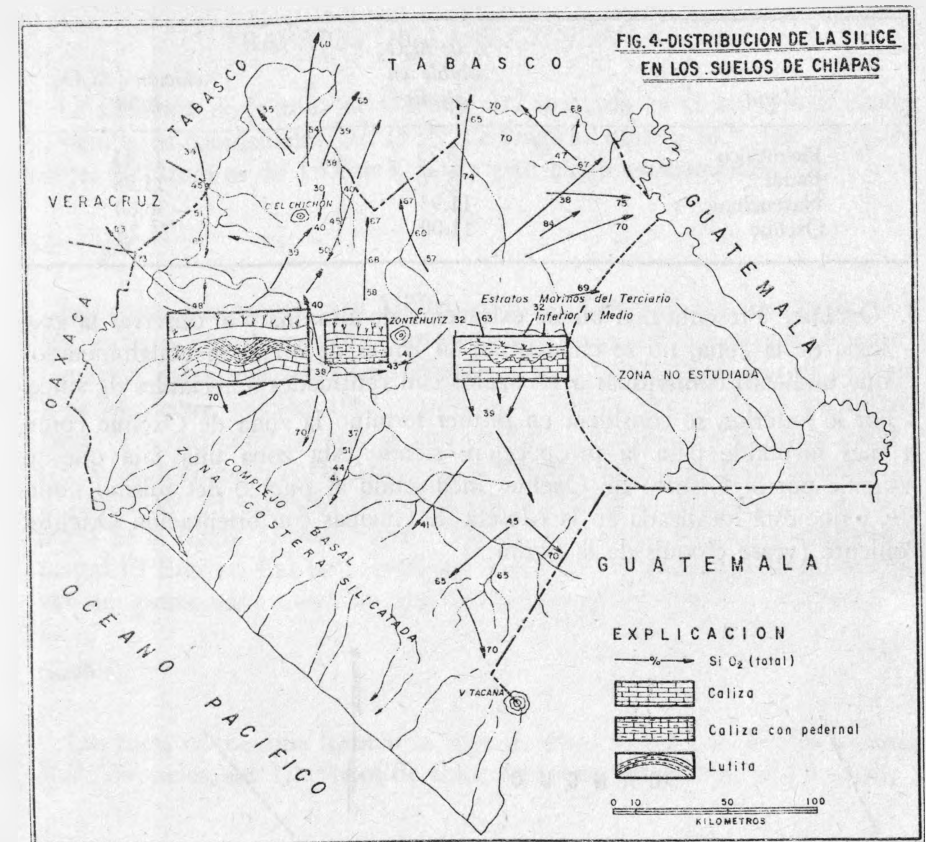
Rutas que están trazadas en el mapa guía figura 1.

El croquis de la figura 4 fue elaborado con los resultados de las pruebas de laboratorio hechas sobre las muestras de suelos y sedimentos tomadas en los lugares indicados durante la primera etapa de la investigación. Estos análisis fueron para Al_2O_3 soluble y para SiO_2 y permitieron hacer una estimación de cómo se distribuyen estos radicales en los suelos de diferentes regiones de Chiapas, considerando zonas de mayor probabilidad, aquellas en las que el contenido de SiO_2 fue menor.

De los resultados obtenidos en el laboratorio con las muestras colectadas en la primera salida, se encontraron como favorables las zonas que se indican a continuación en un cuadro, junto con el análisis de las muestras por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , H_2O y pérdida al rojo.

Entonces se hicieron las siguientes consideraciones sobre las cuatro zonas:

1. *Pichucalco*. Presenta baja extracción de alúmina, lo que significa que la mayoría de ella no está contenida en forma de hidróxidos solubles en álcalis.
2. *Parral*. Por su proximidad a la Sierra Madre de Chiapas, recibe el aluvión de ésta con fuerte aporte de sílice, por lo que el contenido de SiO_2 es alto, en cambio el % de alúmina extraíble es bajo.
3. *Navenchauc*. Presenta la mejor extracción de alúmina; sin embargo, la observación directa sobre el terreno mostró la existencia de grandes lentes de arena y caliche y una topografía abrupta.



Zona	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	H_2O %	Pérdida al rojo %
Pichucalco	29.09	30.15	2.27	9.68	14.22
Parral	38.83	33.14	9.58	2.40	14.01
Navenchauc	41.20	32.42	8.14	3.31	14.23
Oxchuc	32.18	34.06	9.27	5.24	16.47

También se hicieron pruebas de extracción de Al_2O_3 soluble en álcalis ya que solamente ésta puede ser aprovechable para la obtención de aluminio metálico.

Los resultados para las mismas muestras fueron: (los métodos se explican más adelante).

Zona	% de Al_2O_3 soluble en álcalis	Relación a Al_2O_3 total
Pichucalco	3.75	12.43
Parral	3.70	11.38
Navenchauc	11.93	36.80
Oxchuc	11.00	32.20

4. *Oxchuc*. Presenta una buena extracción de alúmina y al observar la geología de la zona, no se encuentran ni lentes de arena ni conglomerados que pudieran contaminar a los suelos con cantidades apreciables de sílice. Por lo anterior, se considera en primer término la zona de Oxchuc como la más favorable para la prospección; siendo esta zona una faja que se extiende por el Distrito de Oxchuc incluyendo al pueblo del mismo nombre, y que está localizada en la Meseta de Chiapas con orientación Oriente-Poniente (véase croquis de la figura 5).

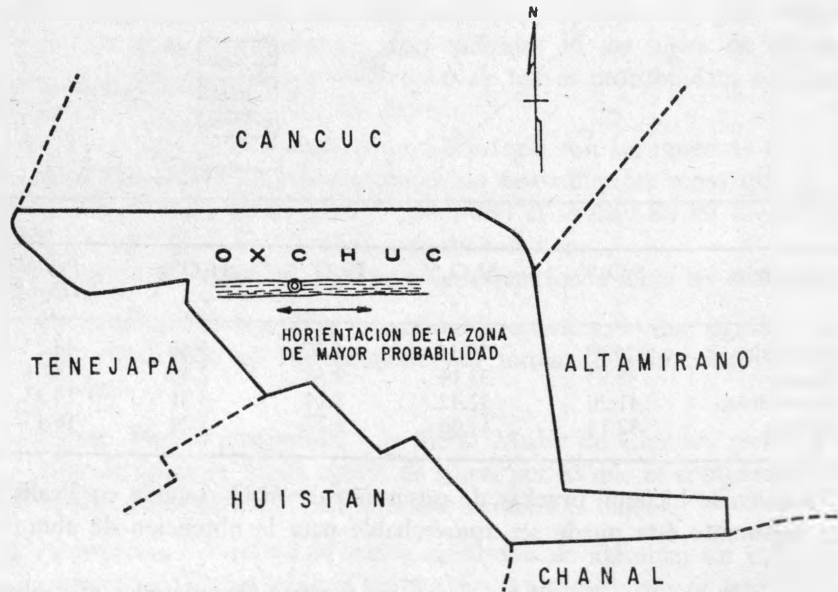


FIGURA 5

TRABAJOS DE LA SEGUNDA SALIDA

La situación de la zona de Oxchuc está indicada en el mapa índice núm. 2, siendo sus coordenadas: 92°25'36" de longitud oeste y 16°51'36" de latitud norte. Su altura es de 1900 m.s. n.m.; y su clima es templado.

Geología

Los datos que proporciona Müllerried en su Geología del Estado de Chiapas, indican que la zona está formada por rocas del Mesozoico superior y Terciario; datos más recientes indicados por la *Carta Geológica de la República Mexicana*, edición 1968, muestran una zona de Cretácico no diferenciado (K) que coincide con la faja citada; esta zona está limitada hacia el sur, probablemente entre Huixtán y Oxchuc por una falla inferida con rumbo E-W en contacto con Paleoceno (T Pal) y Eoceno (T e) véase mapa de la figura 3, posiblemente Formación Soyaló y conglomerado continental El Bosque. Las rocas predominantes son calizas marinas, no se observan conglomerados como los que se encuentran en Huixtán (Eoceno).

Suelos

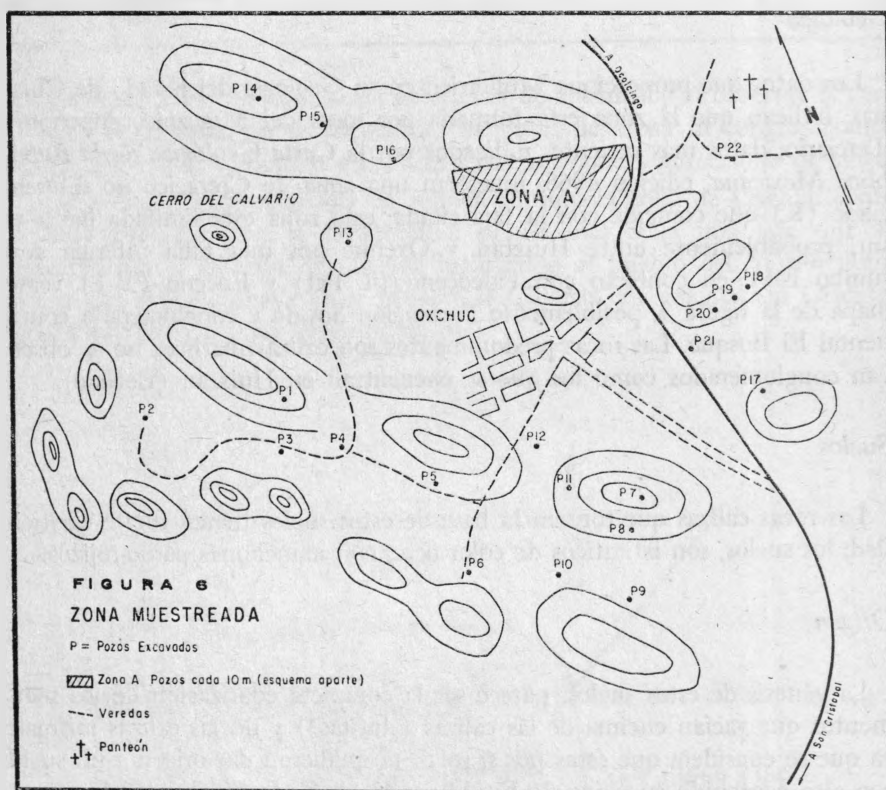
Las rocas calizas que forman la base de estos suelos tienen fuerte carsticidad; los suelos, son lateríticos de color ocre, con manchones pardo-rojizos.

Origen

La génesis de estos suelos, parece ser la completa edafización de los sedimentos que yacían encima de las calizas (¿lutitas?) y no las calizas mismas, ya que se considera que éstas por sí solas, no pudieron dar origen a un suelo con alto contenido en óxido de Fe, Mn y Al (I. G. L. Sinclair). El espesor de los suelos de la zona, es variable, siendo mayor en las dolinas. Los sondeos hechos durante la exploración, registraron lugares con espesores mayores de 4 m. Se encuentran en estos suelos concreciones y nódulos de manganeso (¿pirolusita?), así como delgadas capas de minerales de fierro (goethita) característicos de un proceso de laterización.

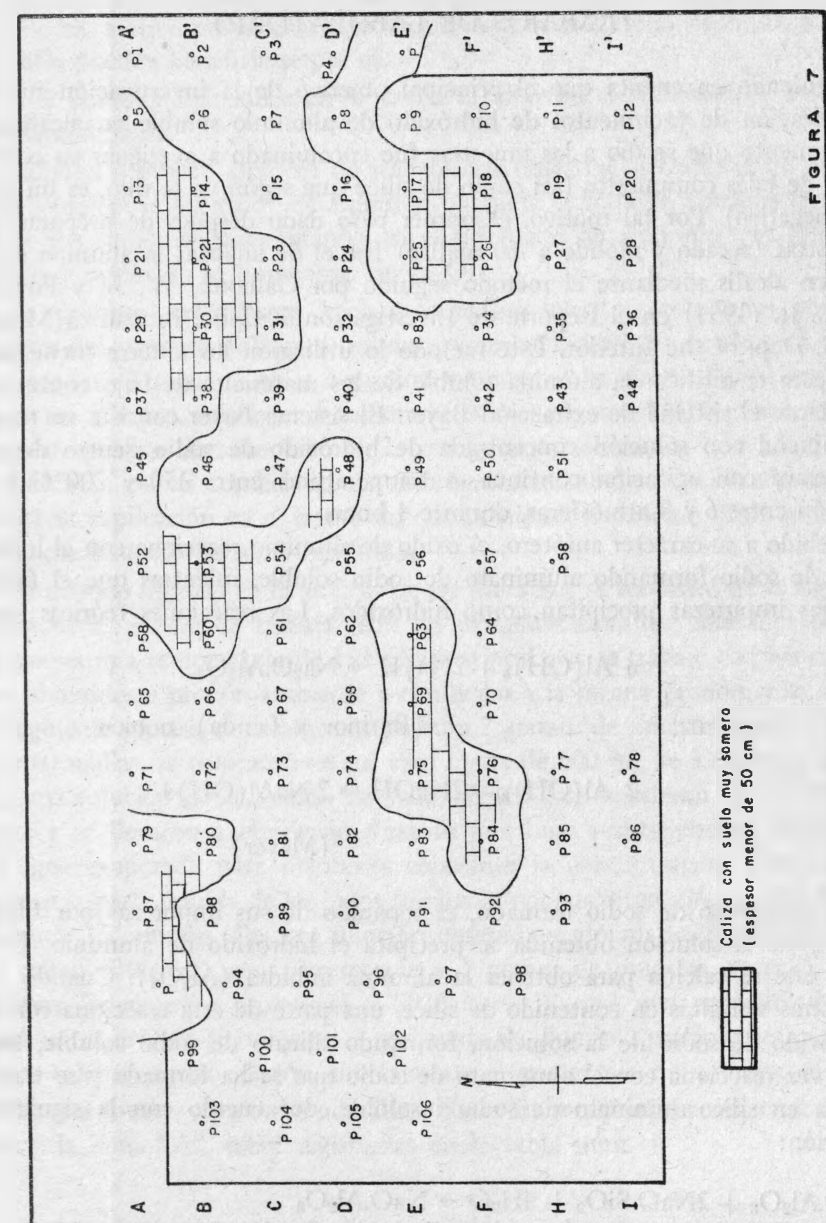
En la segunda salida, la exploración de la zona de Oxchuc comprendió una fase intensiva y otra extensiva. La fase intensiva consistió en hacer una red de muestreo con intervalos de 10 m entre pozo y pozo en la zona donde

se localizó la primera muestra con contenido apreciable de alúmina; a esta zona se le nombró Zona "A" y está indicada en la figura 6 mediante una cuadrícula. La fase extensiva consistió en explorar en un radio aproximado de 2.5 km haciendo pozos en los lugares donde el suelo presentaba mayor espesor.



La exploración intensiva de la Zona "A" (figura 7) se hizo excavando pozos con perforadora de mano (Auger); se tomaron muestras de cada pozo y se limitó la excavación hasta 4 m de profundidad. Los resultados del trabajo hecho con estas muestras, están expresados en la tabla núm. 1.

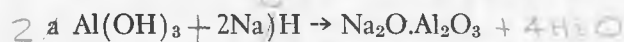
La explotación extensiva se hizo mediante la perforación de 22 pozos tomando 50 muestras como lo indica la figura 6. Los pozos se designaron: P1, P2, P3... P22. Los resultados están registrados en la tabla núm. 2.



TRABAJOS DE LABORATORIO

Teniendo en cuenta que el principal objetivo de la investigación fue la localización de yacimientos de hidróxido de aluminio soluble en álcalis, el tratamiento que se dio a las muestras fue encaminado a averiguar su contenido de tales compuestos (así como de sílice que según ya se dijo, es un factor negativo). Por tal motivo, el primer paso dado después de preparar las muestras (secado y molido a -60 mallas) fue el de analizar la alúmina soluble en álcalis mediante el método seguido por Calhoun, W. A. y Powell, H. E. Jr. (1954) en el Reporte de Investigación 5042 del Bureau of Mines, U. S. Dep. of the Interior. Este método lo utilizaron los autores mencionados para cuantificar la alúmina soluble de los materiales de bajo contenido mediante el sistema de extracción Bayer. El sistema Bayer consiste en tratar el mineral con solución concentrada de hidróxido de sodio dentro de un autoclave con agitación continua, a temperaturas entre 150 y 200°C y a presión entre 6 y 8 atmósferas, durante 4 horas.

Debido a su carácter anfótero, el óxido de aluminio reacciona con el hidróxido de sodio formando aluminato de sodio soluble, mientras que el fierro y otras impurezas precipitan como hidróxidos. Las reacciones teóricas son:

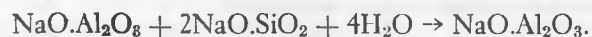


(Barinov y Landa) o bien



(Mayer)

El aluminato de sodio formado, es separado de sus impurezas por filtración y de la solución obtenida se precipita el hidróxido de aluminio. Después éste se calcina para obtener la alúmina anhidra (Al_2O_3). Cuando las muestras son altas en contenido de sílice, una parte de ésta reacciona con el hidróxido de sodio de la solución, formando silicato de sodio soluble; éste a su vez reacciona con el aluminato de sodio que se ha formado y se transforma en silico-aluminato de sodio insoluble, de acuerdo con la siguiente reacción:



Esta reacción se favorece a la presión y temperatura de trabajo en el sistema Bayer, motivo por el cual sólo menas de alto contenido de Al_2O_3 y bajo de SiO_2 pueden beneficiarse por él.

Si el contenido de sílice en la mena es elevado, el rendimiento baja en forma apreciable.

Calhoun y Powell, después de someter las muestras al tratamiento dicho, a la solución de hidróxido de aluminio obtenida la trataron con una corriente de gas carbónico, precipitando así al carbonato de aluminio que filtrado, lavado y calcinado se transforma en Al_2O_3 .

En pruebas preliminares hechas sobre las muestras colectadas por los autores del presente trabajo, se encontró que los hidróxidos de aluminio contenidos en ellas son solubles a presión y temperatura de ebullición ambientes y no sólo eso, sino que al someterse en autoclave a 150°C y a 6 atmósferas de presión durante 4 horas, la recuperación de Al_2O_3 bajó respecto a la obtenida en las condiciones anteriormente apuntadas. Posiblemente esto tenga su explicación en el hecho de que existiendo suficiente sílice se formó el silicoaluminato de sodio insoluble.

El método seguido en el análisis de las muestras, se modificó de la siguiente manera: en vez de trabajar con los extractos alcalinos obtenidos por el tratamiento a temperatura de 150°C y 6 atmósferas, se trabajó con los extractos obtenidos a presión ambiente y ebullición a la misma presión; y se siguió el siguiente proceso de análisis: se pesaron 2 gramos de muestra seca y pasada por 60 mallas, se colocaron en un vaso Pyrex de 600 ml; se añadieron 50 ml de una solución de hidróxido de sodio al 10%, se cubrieron con vidrio de reloj y se llevaron a ebullición durante una hora restando a intervalos el agua evaporada para mantener constante la concentración. Después se separó la parte líquida de los lodos residuales por centrifugación a 1000 RPM, durante 15 minutos. De esta solución obtenida y aforada a 200 ml, se tomó la mitad (100 ml) que corresponde a 1 gramo de muestra; se pasó a un matraz Erlenmeyer, se calentó a 70°C y se le pasó una corriente de gas carbónico durante 15 minutos; el carbonato de aluminio precipitado, se filtró, lavó, calcinó y pesó, dando directamente el porcentaje de alúmina soluble.

En esa forma se procedió a analizar todas las muestras. Las correspondientes a la Zona "A", están registradas en la tabla núm. 1.

TABLA NÚM. 1

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
1	1	0.50	15.00		
	2	1.00	19.50	1.00	17.25
2	3	0.50	19.50	1.50	18.5
	4	1.50	17.50		
	5	0.50	14.30		
	6	2.00	11.50		
3	7	3.00	15.50	4.00	14.70
	8	4.00	17.50		
4	9	0.50	—		
5	roca	—	—		
6	10 (roca)	0.50	—		
7	11 (roca)	0.50	16.50	0.50	16.6
8	roca	—	—		
	12	0.50	19.50		
	13	1.00	15.50		
9	14	2.00	15.00	4.00	16.3
	15	3.00	18.00		
	16	4.00	13.50		
	17	0.50	22.50		
	18	1.00	19.50		
10	19	2.00	20.50	4.00	21.5
	20	3.00	20.00		
	21	4.00	25.00		
11	22	1.00	17.00		
	23	2.00	11.50	2.00	14.25
12	24	1.00	13.50		
	25	2.00	35.00	3.00	24.25
	26	3.00	—		
13	roca	—	—		
14	roca	—	—		
15	27	0.50	10.00	.50	10.00
16	28	0.50	—		
17	roca	—	—		
18	roca	—	—		
19	29	0.50	18.50	1.00	16.00
	30	1.00	13.50		

(Continúa Tabla Núm. 1)

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
20	31	1.00	14.50		
	32	2.00	22.00	3.00	17.50
	33	3.00	21.00		
21	34	1.00	14.50		
	35	2.00	14.50	3.00	12.3
	36	3.00	11.50		
22	37 (roca)	0.50	15.50	0.50	15.5
23	roca	—	—		
24	38 (roca)	0.50	14.00	0.50	14.0
25	roca	—	—		
26	roca	—	—		
27	39	1.00	22.00	2.00	17.25
	40	2.00	12.50		
28	41	1.00	12.00		
	42	2.00	15.50	3.00	13.3
	43	3.00	12.50		
29	roca	—	—		
30	roca	—	—		
31	roca	—	—		
32	44	0.50	15.00	0.5	15.0
33	45	0.50	15.00	0.5	15.0
	46	0.00	29.50		
	47	1.00	21.20		
34	48	2.00	11.00	4.00	20.5
	49	3.00	—		
	50	4.00	—		
	51	0.00	—		
	52	1.00	16.20		
35	53	2.00	19.50	3.5	15.2
	54	3.00	9.80		
	55	3.50	—		
36	36 roca	0.50	—		
37	57	0.50	16.00	1.5	18.5
	58	1.50	21.00		

(Continúa Tabla Núm. 1)

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
38	roca				
39	59 roca	0.50	14.00	0.5	14.00
40	60	0.50	20.00		
	61	1.00	—	1.00	20.00
41	62	0.50	17.80	0.5	17.8
42	63	0.50	—		
	64	1.00	—	1.00	
43	65 roca	0.50	26.00	0.5	26.0
44	66	0.50	20.00		
	67	1.00	16.00	1.00	18.0
45	roca				
46	68	0.50	22.50	1.50	17.8
	69	1.00	13.00		
47	70	0.50	18.00	0.50	18.0
48	roca				
	71	1.00	22.80		
49	72	2.00	16.00	3.00	18.6
	73	3.00	17.00		
50	74	0.50	11.00	1.00	14.00
	75	1.00	17.00		
	76	1.00	20.00		
51	77	2.00	21.00	3.00	20.3
	78	3.00	20.00		
52	roca				
53	79 roca	0.50	21.50	0.5	21.5
54	roca				
55	80	0.50	19.00		
	81	1.00	20.00	1.50	19.5
	82	0.50	20.00		
56	83	1.00	17.00	2.00	18.00
	84	2.00	17.00		

(Continúa Tabla Núm. 1)

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
57	85	0.50	18.00		
	86	1.00	22.50	2.00	17.3
	87	2.00	11.50		
58	88 roca	0.50	27.00	0.5	
59	89 roca	0.50	17.50	0.5	22.25
60	roca				
61	90	0.50	—	1.00	16.00
	91	1.00	16.00		
62	92	0.50	17.00	1.00	17.00
	93	1.00	—		
63	roca				
64	94	1.00	20.50	3.00	16.4
	95	2.00	17.00		
	96	3.00	11.80		
65	97 roca	0.50	20.00	0.5	20.0
66	98	0.50	16.00	1.00	16.0
	99	1.00	—		
67	100	0.50	15.00	1.00	18.5
	101	1.00	22.00		
68	102	0.50	—		
	103	1.00	15.70	2.50	13.6
	104	2.50	11.50		
69	roca				
70	105	0.50	20.30		
	106	1.00	18.50		
	107	2.00	27.00	4.00	21.66
	108	3.00	27.00		
	109	4.00	15.50		
71	110	0.50	17.10	1.00	15.3
	111	1.00	13.50		

(Continúa Tabla Núm. 1)

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
72	112	0.50	13.00	1.00	12.0
	113	1.00	11.00		
73	114 Roca	0.50	19.00	0.50	19.0
74	115	1.00	16.30	2.00	14.00
	116	2.00	11.70		
75	roca				
76	roca				
77	117	1.00	20.00	2.00	16.5
	118	2.00	13.00		
78	119	1.00	25.00	3.00	18.00
	120	2.00	15.00		
	121	3.00	14.00		
79	roca				
80	roca				
81	122 roca	0.50	18.50	0.5	18.5
82	123	0.50	10.00	1.0	15.0
	124	1.00	20.00		
83	125	0.50	26.00	2.0	22.6
	126	1.00	22.00		
	127	2.00	20.00		
84	roca				
85	128	0.50	21.50	2.0	17.1
	129	1.00	21.00		
	130	2.00	9.00		
86	131	1.00	17.00	3.0	15.0
	132	2.00	16.00		
	133	3.00	14.00		
87	134 roca	0.50	17.00	0.5	17.0
88	135	1.00	20.00	3.00	17.7
	136	2.00	18.30		
	137	3.00	15.00		

(Continúa Tabla Núm. 1)

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
89	138	1.00	15.00	3.00	17.8
	139	2.00	21.50		
	140	3.00	17.00		
90	141	1.00	31.20	3.00	24.9
	142	2.00	33.50		
	143	3.00	10.00		
91	144	1.00	22.00	3.00	17.00
	145	2.00	13.00		
	146	3.00	16.00		
92	147	1.00	25.35	3.00	19.51
	148	2.00	13.20		
	149	3.00	20.00		
93	roca				
94	150	1.00	17.00		
	151	2.00	—	2.00	17.00
95	152	1.00	8.00	3.00	14.7
	153	2.00	16.50		
	154	3.00	—		
96	155	1.00	23.00	3.00	15.00
	156	2.00	14.00		
	157	3.00	11.00		
97	158	1.00	17.00	3.00	13.30
	159	2.00	12.00		
	160	3.00	11.00		
98	161	1.00	10.00	2.00	15.0
	162	2.00	20.00		
99	163 roca	1.00	23.00	1.0	23.0
100	164	1.00	20.00	3.0	18.00
	165	2.00	21.00		
	166	3.00	13.00		
101	167	1.00	30.50	3.0	24.1
	168	2.00	25.00		
	169	3.00	17.00		

(Continúa Tabla Núm. 1)

Pozo Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al_2O_3 soluble	Profundidad máxima en metros	Porcentaje promedio de Al_2O_3 soluble
102	170	1.00	31.40	3.0	25.80
	171	2.00	30.40		
	172	3.00	15.70		
103	173	1.00	20.00	2.0	17.0
	174	2.00	14.00		
104	175	1.00	12.00	2.0	16.5
	176	2.00	21.00		
105	177	1.00	25.50	2.0	21.2
	178	2.00	17.00		
106	179	1.00	26.30	2.0	22.1
	180	2.00	18.00		

Con los datos de los pozos se hicieron los perfiles: AA', BB', ... HH' (figura 8), a escala horizontal: 1:1000 y vertical: 1:200. Estos perfiles indican cómo está el fondo calizo. Se puede aplicar un procesamiento para calcular en forma aproximada, la cantidad de Al_2O_3 extraíble en la zona "A" en la siguiente forma: Se considera cada pozo como centro de una pirámide invertida, que tenga por base un cuadrado de 10 m por lado y por altura, la profundidad máxima del pozo y se calcula el volumen por la fórmula geométrica correspondiente. Si se multiplica el volumen obtenido por la densidad del material (2.5 en promedio) y por la ley promedio de Al_2O_3 (17.64%) y se divide entre 100, se obtiene el contenido de Al_2O_3 en esa pirámide. Sumando los volúmenes de las pirámides, se obtiene el volumen total, que es de 4603.3 m³; conocido este dato, se aplica la fórmula:

$$C = \frac{V \times d \times \text{ley}\%}{100}$$

en la que:

C = contenido en ton.

V = volumen en m³

d = densidad

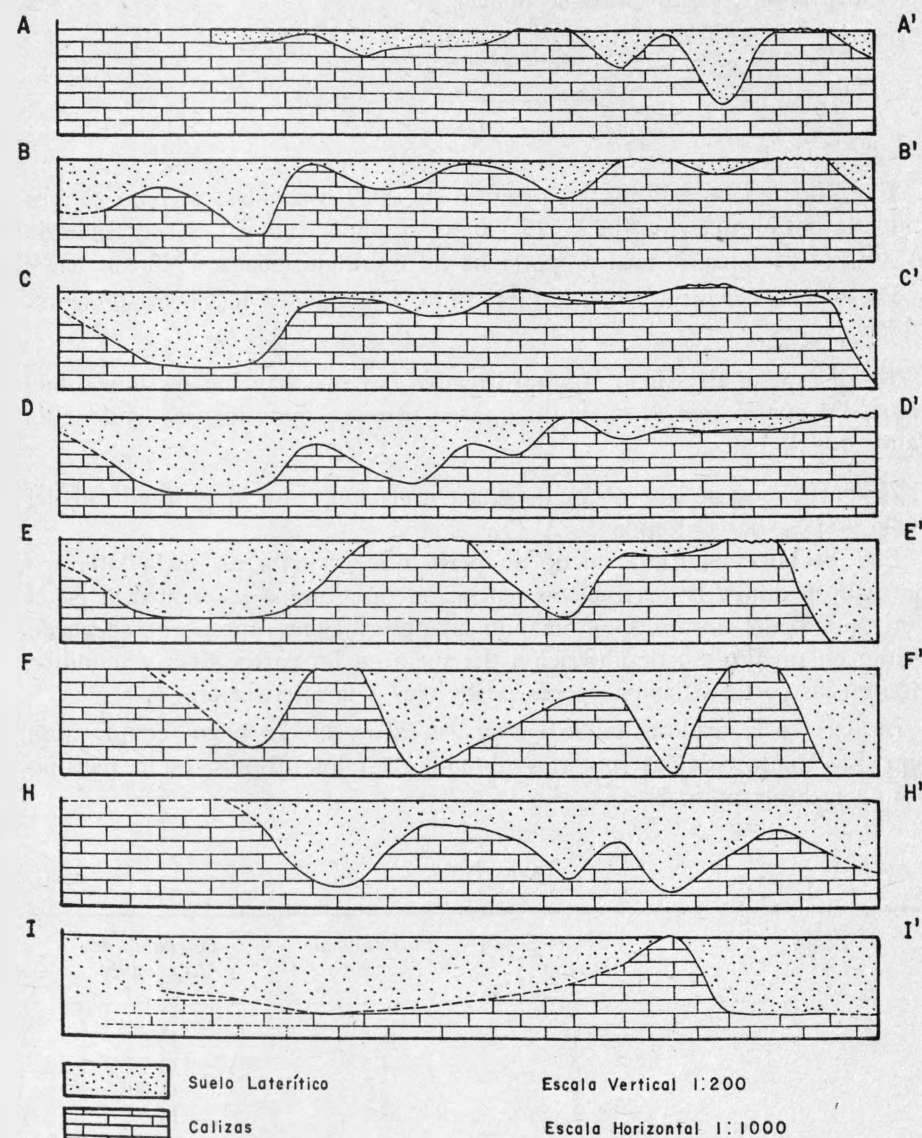


FIG. 8.- PERFILES DEL SUELO CONSTRUIDOS DE E-W, SEGUN LA FIG. 7
Y LOS DATOS DE LA TABLA 1

y sustituyendo con los datos, se tiene:

$$\frac{4603 \times 2.5 \times 17.65}{100} = 2092$$

El contenido de la Zona "A" resultó de 2029 toneladas, y como el área cubierta por el muestreo fue de 15 300 m², se puede calcular el contenido de Al₂O₃ por hectárea, lo cual proporciona un resultado igual a 1326 ton/ha.

De los datos registrados en la tabla núm. 1 se pueden hacer las siguientes observaciones:

1) El espesor del suelo es muy irregular, ya que hay lugares que sobrepasan los cuatro metros en tanto que en otros es mínimo, existiendo afloramientos de caliza.

2) Puede notarse que no existe una correlación entre la profundidad del suelo y el % de contenido de Al₂O₃.

Este hecho es contrario al de un perfil que presenta un suelo laterítico normal, en donde la máxima concentración de alúmina se encuentra en el horizonte B del mismo. Combinando las observaciones anteriores, se puede pensar en un proceso de aluviación del suelo en las partes altas y acumulación en las partes bajas en épocas posteriores a la laterización.

Al hacerse la exploración extensiva, se excavaron 22 pozos como ya se dijo. Los análisis de las muestras obtenidas en los mismos, están registrados en la tabla núm. 2.

TABLA NÚM. 2

Pozos Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al ₂ O ₃ soluble
P-1	1	0.5	13.25
	2	1.5	11.70
	3	2.0	11.00
	4	3.0	11.00
P-2	5	0.5	32.20
	6	1.5	37
P-3	7	0.5	8.0
	8		

(Continúa Tabla Núm. 2)

Pozos Nº	Nº de muestra	Profundidad en metros	Porcentaje de Al ₂ O ₃ soluble
P-4	10	0.5	9.0
	11	1.0	10.0
P-5	12	0.5	18.3
P-6	13	0.5	8.0
P-7	14	0.5	10.0
	15	2.0	10.0
	16	3.0	10.0
P-8	17	0.5	13.0
	18	2.0	13.0
P-9	19	0.5	13.0
	20	2.0	15.2
P-10	21	0.5	14.0
P-11	22	0.5	14.0
	23	2.0	12.0
P-12	24	1.0	31.0
P-13	25	0.5	16.0
	26	1.0	13.0
	27	2.0	13.0
P-14	28	0.5	18.0
	29	1.0	13.0
P-15	30	0.5	10.0
	31	1.0	17.0
P-16	32	0.5	34.0
	33	1.0	
	34	2.0	
P-17	E-1	0.5	8.0
	E-2	1.0	8.0
	E-3	2.0	9.0
	E-4	3.0	12.0
P-18	E-5	0.5	11.0
P-19	E-6	0.5	21.0

P-20	E-7	0.5	14.0
	E-8	1.0	9.0
	E-9	2.0	12.0
P-21	E-10	1.0	25.0
	E-11	2.0	9.0
	E-12	3.0	9.0
	E-13	4.0	8.0
P-22	E-14	1.0	31.0
	E-15	2.0	
	E-16	2.5	18.0

De los datos de la tabla núm. 2 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Todas las muestras tuvieron alúmina extraíble; el mínimo fue 8%, el el máximo 37%.
- La profundidad del suelo sigue siendo muy variable llegando a más de 4 m.

En este caso no se pudieron construir perfiles debido a que los pozos no se perforaron siguiendo alguna red de muestreo previamente establecida.

Para continuar con el estudio se escogieron 12 muestras para hacerles análisis químico completo por fusión y pruebas por rayos X. Los criterios que siguieron para escoger esas muestras fueron:

- Que fueran de contenido mínimo de 20% de Al_2O_3 (por ser el punto medio entre los valores máximo y mínimo).
- Que no fueran del mismo pozo.
- El estudio de ellas fue para afirmar la existencia de compuestos solubles de alúmina en los suelos de la zona.

Los resultados de los análisis químicos completos de las citadas muestras se encuentran en la tabla núm. 3.

TABLA NÚM. 3
ANÁLISIS COMPLETO DE 12 MUESTRAS EXPRESADO EN PORCIENTOS

	7	13	49	66	37	83	87	92	96	106	123	171
SiO ₂	29.01	16.00	14.32	28.99	12.72	26.14	25.86	27.10	27.29	14.34	23.74	12.13
TiO ₂	1.75	1.50	1.55	1.40	1.40	0.75	1.00	1.00	1.05	1.00	0.75	1.00
Al ₂ O ₃	28.90	37.26	33.94	28.71	40.81	40.21	29.29	34.38	35.38	44.60	33.08	43.69
Fe ₂ O ₃	18.61	17.32	23.68	19.25	19.45	13.04	20.91	13.83	15.12	14.80	16.08	14.15
FeO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
MnO	0.06	0.06	0.31	0.33	0.04	0.08	0.07	0.06	0.02	0.25	0.06	0.05
MgO	huella	huella	huella	huella	huella	huella	huella	huella	huella	huella	huella	huella
CaO	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Na ₂ O	0.05	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	0.04	0.04	0.10	0.50	0.12
K ₂ O	0.30	0.2	0.18	0.60	0.18	0.50	0.55	0.30	0.50	0.15	0.18	0.18
P ₂ O ₅	0.00	0.06	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.07	0.00	0.00	0.05
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O+	19.01	23.61	24.01	18.01	23.39	18.73	18.75	19.66	18.29	23.51	21.58	25.75
H ₂ O—	2.01	3.11	2.25	2.17	1.87	1.73	2.59	2.42	1.78	1.11	3.63	2.15
Sumas:	99.40	99.16	100.09	99.48	99.86	100.75	99.12	99.32	99.54	99.86	99.60	99.27

ANÁLISIS QUÍMICOS CUANTITATIVOS REALIZADOS POR EL ING. QUÍM. ÁNGEL RODRÍGUEZ MUÑOZ.

Se hizo un estudio comparativo entre las leyes de Al_2O_3 por fusión que corresponden a alúmina total y las leyes de Al_2O_3 extraíble, los datos están registrados en la tabla núm. 4.

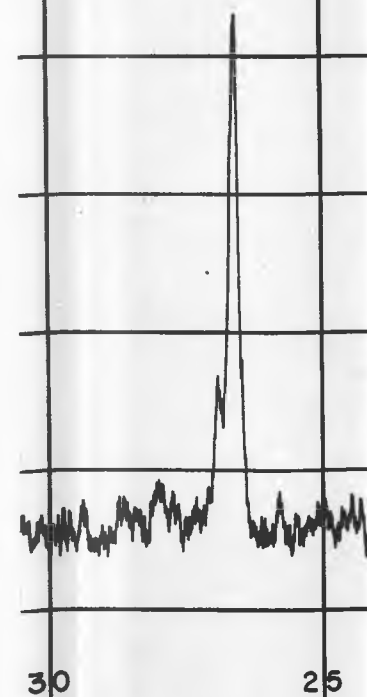
TABLA NÚM. 4

PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE ALÚMINA RESPECTO
AL CONTENIDO TOTAL DE LAS MUESTRAS

Nº de muestra	Nº correspondiente en el campo	Al_2O_3 total por fusión	Al_2O_3 extraíble	Recuperación
7	Muestra núm. 144 de la Zona A	28.90	22.00	76.12
13	E-14 Tabla núm. 2	37.26	35.50	95.27
49	Muestra núm. 171 de la Zona A	33.94	30.40	89.56
66	Muestra núm. 155 de la Zona A	28.71	22.50	78.36
73	Muestra núm. 42 de la Zona A	40.81	33.50	82.08
83	Pozo núm. X identificado	40.21	20.00	49.73
87	Muestra núm. 19 de la Zona A	29.29	20.50	69.98
92	Muestra núm. 82 de la Zona A	34.86	20.00	57.37
96	Muestra núm. 12 de la Zona A	35.38	19.50	55.11
106	Muestra núm. 34 de la Tabla núm. 3	44.60	34.00	76.23
123	Muestra núm. 46 de la Zona A	33.08	29.50	89.17
171	Muestra núm. 6 Tabla núm. 2	43.69	37.00	84.68

BA # 106

' / min. 600 mm / h

mA, 38 Kv. K ∞ 

Q₁ por fusión que
de, los datos están

RESPECTO
LAS

Q₁
albe

Recupe
ración

1.00 76.12

1.50 95.27

1.40 89.56

1.50 78.36

1.50 82.08

1.00 49.73

1.50 69.98

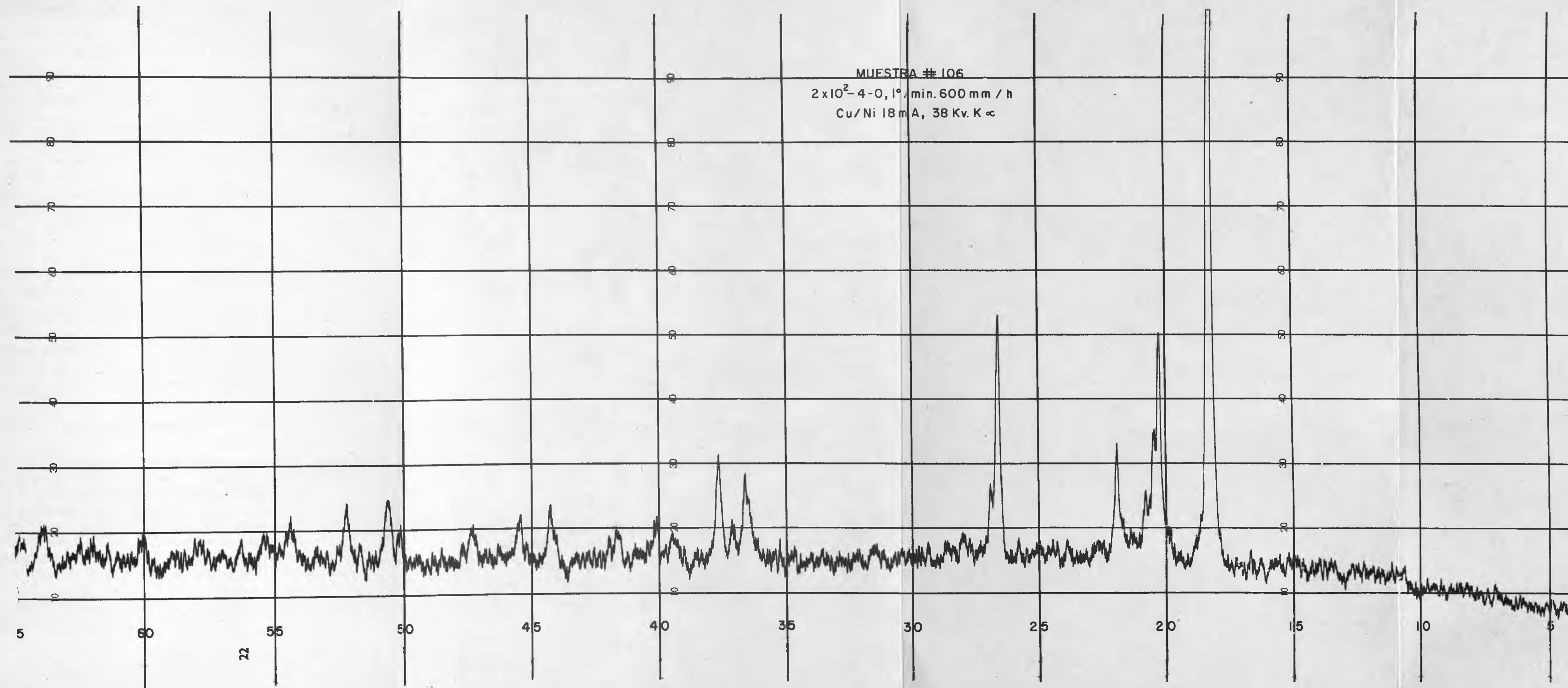
1.00 57.37

1.50 55.11

1.00 76.23

1.50 89.17

1.00 84.68



Con excepción de la muestra núm. 83, todas las demás acusan una recuperación superior al 50% llegando a ser hasta de 95.27 máximo.

Las mismas 12 muestras que se analizaron por fusión se procesaron para su estudio por difracción en rayos X, por el método Aguilera y Jackson para evitar las interferencias que produce el fierro y que aumenta notablemente el ruido de fondo y enmascara los picos débiles de la gráfica de difracción. El aparato usado fue un modelo Phillips Norelco, de la Facultad de Química; se usó un voltaje de excitación de 38 kv y una corriente de 18 ma; la velocidad del goniómetro fue de 1°/min y la velocidad del papel de 600 m/h, la sensibilidad a $\times 10^2 - 4 - 0$.

A continuación se muestra una de las gráficas de difracción obtenida por Renán Pérez Priego.

Resultados:

- a) En todas las muestras se identificó como mineral dominante, la gibbsita con valores c/N 4.83 A°.
- b) Las gráficas registran en general, como minerales secundarios, cuarzo y feldespato.
- c) Las gráficas únicamente indican el aspecto cualitativo de la existencia de gibbsita en las muestras y no una apreciación cuantitativa, ya que para ésta, deben seguirse otras técnicas especiales.

CONCLUSIONES

1. Las pruebas de extracción de alúmina indican que de las arcillas de Oxchuc es posible obtener hidróxido de aluminio usando soluciones alcalinas y sin necesidad de altas presiones y temperaturas.
2. Existe la posibilidad de que nuevas exploraciones en la zona mencionada, den por resultado un tonelaje considerable de arcillas del tipo de las encontradas, quizá con mejores contenidos de alúmina.
3. Las gráficas obtenidas por rayos X para las muestras, afirman la existencia del mineral gibbsita en las arcillas del distrito de Oxchuc, Chis.
4. En caso de comprobarse la existencia de un tonelaje alto de arcillas de la calidad de las de Oxchuc, será totalmente justificado el estudio económico de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AGUILERA, H. N. y JACKSON, M. L. (1953) *Iron Oxide Removal from soils and clays*. Soil Sci. of America, Proc. 17; 359-364, Oct. 1953.
- (1956-1959) *Clays from some soils and calcareous sediments from the Yucatan Peninsula*. Congr. Geol. Internacional, XXa Sesión Comité Internacional para el estudio de las arcillas, pp. 61-69.
- BARINOV, N. y LANDA, A. (?) *Metalurgia y Metalografía*. MIR, Moscú, pp. 78-80.
- CALHOUN, W. A. y POWELL, H. E., JR. (1954) *Investigation of Low Grade Bauxites as Potencial Sources of Aluminum by Caustic Desilication and Alumina Extraction*. Bureau of Mines, Report of Investigation 5042, U.S. Department of the Interior.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA (1969-70) *Anuario Estadístico*. Secretaría de Industria y Comercio.
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNAM, *Registros Climatológicos*.
- LIDDELL, M., DONALD (1954) *Handbook of Nonferrous Metallurgy*. McGraw Hill Book Co., pp. 5-12.
- MULLERRIED, FEDERICO K. C. (1957) *Geología de Chiapas*. Gobierno Const. del Edo. de Chiapas, 1952-1958, pp. 127-132.
- QUINTUS BOSZ VANDER WALL, ROBERTO LEO (1967) *La Bauxita y su exploración en el área de Necaxa, Puebla*. Tesis Profesional, pp. 13-15, Fac. de Ingeniería, UNAM.
- SALAS P., GUILLERMO (1959) *Los depósitos de bauxita en Haití, Jamaica, y posibilidades de que exista bauxita en México*. Inst. de Geología, UNAM, Bol. 59, pp. 43, 53-55, 71, 72, 90.
- SCHMITTER, V., EDUARDO (1962) *Curvas de análisis térmico diferencial cualitativo, obtenidas de estudios de bauxita, arcillas bauxíticas y otros minerales*. Inst. de Geología, UNAM, Bol. 63.
- SINCLAIR, I. B. L. (1967) *An estimation of the Thickness of Limestone required to produce the Jamaican Bauxite Deposits by the Residual Process*. Jamaica Geol. Surv. 9, Publ. (102): 24-31.
- TEGEDER-MAYER (1967) *Métodos de la Industria Química Inorgánica*. Reverte, S. A. P., 184-187.

En la Imprenta Universitaria, bajo la dirección de Jorge Gurúa Lacroix, se terminó la impresión de *Boletín número 95*, del Instituto de Geología, el día 21 de febrero de 1975. Su composición se hizo en tipos Electra 10:12, 10:11, 8:10 y 8:9. La edición consta de 1 200 ejemplares.