



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO GEOLOGICO Y EVALUACION
MINERA DE LAS LATERITAS ALUMINOSAS
DE LA "RESERVA MINERA NACIONAL
TENEJAPA", EDO. DE CHIAPAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

JAVIER MARCELINO PEREZ VARGAS



CIUDAD UNIVERSITARIA

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-039

SR. JAVIER MARCELINO PEREZ VARGAS
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arrilaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen Profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTUDIO GEOLOGICO Y EVALUACION MINERA DE LAS LATERITAS
ALUMINOSAS DE LA "RESERVA MINERA NACIONAL TENEJAPA",
EDO. DE CHIAPAS**

- I INTRODUCCIÓN
 - II GENERALIDADES
 - III FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA
 - IV GEOLOGIA
 - V YACIMIENTOS MINERALES
 - VI PROCESOS METALURGICOS CONTEMPLADOS
 - VII TRABAJOS DESARROLLADOS
 - VIII CUBICACION DE RESERVAS
 - IX PROSPECCION MINERA EN OTRAS AREAS
 - X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA CITADA
PLANOS E ILUSTRACIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 16 de mayo de 1995
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'RLR'tjh.

A mis padres:

**Marcelino Pérez Hernández (q. e. p. d.)
Hermelinda Vargas Gómez**

**Por el amor , apoyo y dedicación que siempre
me dispensaron.**

A mis hermanos:

**María del Carmen (q. e. p. d.)
Marco Antonio
Eduardo
Juanita
María Guadalupe
Carlos
Rosa María
Esauí
Alejandro
Gabriela**

Por darme su mano cuando la necesité

A mis demás familiares.

Hago patente mi agradecimiento al Consejo de Recursos Minerales por permitirme presentar este trabajo para mi exámen recepcional.

Al Ing. Luis R. Brizuela Venegas por el apoyo que me brindo en mis estudios, le manifiesto mi reconocimiento.

Un acentuado reconocimiento a los profesores Ings. Germán Arriaga García, Miguel I. Vera Ocampo, Carlos Garza González-Velez, Fernando Rosique Naranjo y Dionisio Valdéz Mendóza.

A la Facultad de Ingeniería, a la UNAM a quienes espero no defraudar.

A mis profesores, compañeros y amigos, un voto por que siempre cumplan sus metas

ESTUDIO GEOLOGICO Y EVALUACION MINERA DE LAS LATERITAS
ALUMINOSAS DE LA "RESERVA MINERA NACIONAL TENAJAPA", ESTADO DE
CHIAPAS.

INDICE

TEMA	PAG.
I. INTRODUCCION.	5
I.1.- Objetivos del estudio.	5
I.2.- Trabajos previos.	6
I.3.- Método de trabajo (campo y gabinete).	7
II. GENERALIDADES.	9
II.1.- Localización acceso y extensión del área.	9
II.2.- Situación legal.	10
II.3.- Clima y vegetación.	10
III. FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.	11
III.1.- Localización fisiográfica.	11
III.2.- Provincia fisiográfica.	11
III.3.- Hidrografía.	12
III.4.- Geomorfología	12
IV. GEOLOGIA.	14
IV.1.- Geología regional	14
IV.2.- Geología local	15
a) Estratigrafía y litología.	16
b) Alteraciones.	20
IV.3.- Geología estructural	20
a) Tectónica global	20
b) Tectónica regional	23
c) Tectónica local	26
IV.4.- Geología histórica	27
V. YACIMIENTOS MINERALES.	31
V.1.- Génesis.	31
V.2.- Forma, estructura y dimensiones.	33
V.3.- Control de la mineralización.	35
V.4.- Mineralogía.	35

VI. PROCESOS METALURGICOS CONTEMPLADOS.	38
VI.1.- Proceso Bayer.	38
VI.2.- Proceso Bayer-Sinter.	38
a) Método Bayer-Sinter de series paralelas.	39
b) Método Bayer y tratamiento de todos por caustización.	39
c) Método Bayer-Sinter de series convinadas	39
VII. TRABAJOS DESARROLLADOS.	41
VII.1.- Geología.	41
VII.2.- Topografía.	41
VII.3.- Perforación.	42
VII.4.- Muestreo.	43
VII.5.- Obras de exploración.	45
VIII. CUBICACION DE RESERVAS.	47
VIII.1.- Criterios de evaluación.	47
a) Cálculo de reservas para material beneficiado.	47
b) Cálculo de reservas para material natural.	48
VIII.2.- Métodos de cubicación.	48
a) Cálculo de reservas para material beneficiado.	48
b) Cálculo de reservas para material natural.	49
IX. PROSPECCION MINERA EN OTRAS AREAS.	54
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	59
BIBLIOGRAFIA CITADA.	60
PLANOS E ILUSTRACIONES.	63

RESUMEN.

Después de diversos estudios preliminares, que condujeron a orientar las exploraciones por bauxitas hacia la región SE del país, el proyecto lateritas Tenejapa, se creó para contemplar la posibilidad de obtener bauxitas de grado comercial por prebeneficio. Las metas eran verificar las expectativas y cubicar las reservas existentes en el yacimiento.

El área estudiada se localiza a 65 km en línea recta al NE de Tuxtla Gutiérrez, y a 15 km al NE de San Cristóbal de Las Casas, Chis. en la región de los "Altos de Chiapas". Cubre una superficie de 350 km²

Regionalmente, las rocas que afloran en el área varían en edad desde el Triásico al Reciente y consisten en rocas sedimentarias de origen marino y continental, así como de ígneas intrusivas y extrusivas.

Localmente las rocas que mejor se observan, se encuentran distribuidas a partir del Cretácico Superior al Reciente. Los sedimentos aflorantes generalmente son calizas de poca profundidad, así como areniscas, lutitas, conglomerados de tipo continental además de rocas ígneas volcánicas de tipo ácido.

Básicamente los trabajos de exploración geológica se desarrollaron en zonas con posibilidades de generar suelos lateríticos con alto contenido de minerales aluminicos.

La perforación manual y el muestreo sobre arcillas lateríticas fue simultáneo a la exploración geológica con el objeto de comprobar la presencia de material bauxítico, además sirvió para definir un muestreo sistemático y delimitar cada uno de los cuerpos mineralizados que posteriormente fueron evaluados.

Para cada una de las muestras analizadas fue necesaria una preparación adecuada (cuarteo y homogeneización), para así obtener la porción representativa, la cual pasará al laboratorio para su determinación química.

Los estudios mineralógicos efectuados sobre el yacimiento de Tenejapa indican que los principales componentes en orden descendente de ocurrencia son gibbsita, caolinita e hidro-aluminosilicatos amorfos, goethita y cuarzo; en pequeños porcentajes se presentan hematita, bohemita, rutilo, anatasa, feldespatos y magnetita. La gibbsita se presenta principalmente en las partículas de mayor tamaño mientras que la caolinita y los amorfos ocurren principalmente en la fracción fina. La diferenciación granulométrica de la gibbsita y la caolinita ha permitido su separación para obtener bauxita.

El tipo de análisis químico efectuado al material de Tenejapa, consistió principalmente en determinar la alúmina extraíble y sílice reactiva (bajo metodología Bayer) así como alúmina total, sílice total, hierro y titanio.

El cálculo preliminar de reservas en los cuerpos mineralizados del área fue determinado por el método continuo, el cual fue el más adecuado para este tipo de depósitos.

La bauxita de los cuerpos es producto de la laterización "in situ" de rocas volcánicas de tipo traquiandesítico ácido, provenientes del volcán Tzontehuitz, así como de tobas y cenizas volcánicas.

Los cuerpos evaluados tienen forma de mesetas o lengüetas alargadas e irregulares. La estructura de cada uno de ellos, donde se muestra claramente un paquete laterítico hasta de 8 m de espesor, es más o menos homogénea. Esto se pudo observar en algunas obras de exploración.

Entre los principales constituyentes minerales observados megascópicamente se pueden mencionar la gibbsita, caolinita, cuarzo, hematita y magnetita.

En pruebas microscópicas realizadas en el extranjero (Brasil y Hungría), se identificaron minerales como goethita, bohemita, rutilo y feldespatos.

La bauxita es un material de tipo laterítico cuya consistencia varía desde dura a arcillosa. En su mayoría está compuesta por hidróxidos de aluminio constituidos por gibbsita, bohemita y diáspora principalmente, con algunas impurezas de óxidos de hierro, sílice y minerales arcillosos. Se puede presentar en variados colores dependiendo de la naturaleza de sus impurezas.

La bauxita cuando menos debe contener un 35% de Al_2O_3 (extraíble) y su relación hidróxido-impurezas mayor de 3 a 1.

En la República Mexicana existen regiones con posibilidades de contener depósitos de material laterítico del cual se pueden generar minerales con alto contenido de alúmina. Los estados que presentan mejores condiciones son Puebla, Veracruz y Chiapas, así como Tabasco, Oaxaca, Guerrero y Michoacán con menos posibilidades.

I. INTRODUCCION

La bauxita fue descrita por primera vez en Francia por A. Dufrenoy (1871) debido al aspecto escareado que presentaba y a su excepcional contenido de alúmina y hierro, según reveló un análisis realizado sobre una roca roja dura.

El término bauxita no se refiere a un mineral en especial, sino a un material de tipo laterítico, cuya consistencia varía desde duro y compacto hasta arcilloso, por medio del cual se obtiene la alúmina. Son rocas compuestas en su mayoría por uno o más hidróxidos de aluminio, constituidos por gibbsita, bohemita y diáspora; con impurezas de sílice, óxidos de hierro, titanio y minerales arcillosos. En la mayoría de los casos se presenta como una sustancia amorfa y terrosa parecida a la arcilla, pero que no tiene la plasticidad de esta última y sí una dureza mayor.

La coloración de la bauxita depende de la cantidad y de la naturaleza de las impurezas presentes, varía desde el blanco al rojo, pardo, rosa, gris y hasta verde claro.

La bauxita pura siempre es de color blanco a rosa, al contener impurezas de óxidos de hierro se endurece al exponerla al aire y toma una coloración pardo rojiza.

En general el peso específico se ha calculado alrededor de 2.55; aunque a veces, sobrepasa este peso debido al contenido de óxidos de hierro; sin embargo, el peso específico en base seca es de 1.7.

Según el tradicional método Bayer (el más usado en el mundo), la alúmina extraíble proviene únicamente de los hidróxidos de aluminio.

Una bauxita cuando menos debe contener un 35% de alúmina extraíble y la relación hidróxidos-impurezas mayor de 3 a 1.

I.1.- Objetivos del estudio.

- a) El presente estudio tiene como objetivo principal explorar y evaluar yacimientos de lateritas aluminosas que sean económicamente explotables, en el estado de Chiapas.
- b) Impulsar el desarrollo de la industria del aluminio en México a partir de la localización y evaluación de yacimientos lateríticos económicamente explotables.
- c) En caso de encontrar dichos yacimientos, se disminuirá la fuga de divisas del país por la importación necesaria de alúmina para la obtención de aluminio y/o sus derivados

1.2.- Trabajos Previos.

En noviembre de 1965, el Consejo de Recursos Naturales no Renovables, instituyó un proyecto de exploración por menas aluminosas en la República Mexicana a cargo del ingeniero Fernando Piñero R. quien, hasta junio de 1967, había reconocido algunas áreas en los estados de Hidalgo, Puebla, Tabasco y Chiapas, de las cuales sólo en Nuevo Necaxa, Puebla, encontró valores de interés en contenido de alúmina soluble*. En la porción sur de Tabasco, obtuvo resultados también alentadores aunque esporádicos en los alrededores de La Chontalpa y Los Azufres en Tabasco, y Estación Juárez en Chiapas. Posteriormente, a partir de julio de 1967 y hasta 1970 el proyecto quedó a cargo de los ingenieros Robert L. Quintus Bosz y Ernesto Wing Morales; ellos dirigieron estudios exploratorios por los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Oaxaca; en algunos de los cuales realizaron muestreos a detalle principalmente en la zona de Nuevo Necaxa, Puebla y Estación Juárez, Chiapas; y reportaron algunos valores buenos pero aislados y sin importancia económica.

Por otra parte, en el año de 1976 la Comisión Federal de Electricidad por conducto del Ing. Quím. Jorge Cabrera, realizó estudios exploratorios de menas aluminosas en las zonas de Oxchuc y Montebello en el estado de Chiapas y concluyó que: "los cuerpos lateríticos en esta región son producto del intemperismo de las calizas subyacentes y se encuentran conservados en depresiones cársticas de pequeñas dimensiones, que por su discontinuidad hacen su explotación mucho más costosa que la de un cuerpo continuo".

Por lo anterior se excluyeron estas zonas y en 1980, por conducto de los Ings. Raúl Perlasca E. y Mario Rodríguez M., la Comisión Federal de Electricidad estudió con detalle un área de 50 km² en la zona de Estación Juárez, Chiapas, en la cual solamente el 10% presenta concentraciones mayores de 19% con un promedio general de 25% de alúmina y 4m. de espesor, lo que totaliza un volumen de 4'446,023.43 toneladas de alúmina. Su explotación queda sujeta a los resultados de la investigación químico-metalúrgica que se realice.

En los últimos años, el Consejo de Recursos Minerales continuó sus exploraciones por conducto de los Ings. Roberto Montoya H., José Vargas B. y Amado Morales, sucesivamente, quienes concentraron sus trabajos en la región que comprende las áreas de Oxchuc, Chilil, Montebello y Tenejapa (ver figura 1).

Después de reconocer éstas áreas, se llevaron a cabo estudios de semidetalle solamente en la zona de Tenejapa, debido a que se encontraron valores promisorios en contenido de alúmina del orden de 23% y menos de 9% de sílice reactiva**, se consideró a esta zona como la más importante al localizarse seis cuerpos con material bauxítico, en una superficie de 2,610.628 km² y con reservas positivas de 4'743,969 toneladas de material laterítico de base seca.

* Alúmina soluble: es la que se genera al disolverse los minerales por el ataque de los reactivos

**Sílice reactiva: es la que responde al ataque de los reactivos era similar al de Tenejapa y variaba en cada área nueva.

Posteriormente se localizaron cinco cuerpos más que dieron una superficie total de 3,632.027 km² y reservas positivas del orden de 6'311,025 toneladas.

La exploración continuó al principio con asesoría de expertos húngaros y brasileños en bauxitas, con los cuales se diseñó un método de beneficio para el material que se tenía en Tenejapa pero a la vez se fueron encontrando nuevas áreas que tenían como característica que el material encontrado no era similar al de Tenejapa y variaba en cada una.



1.3.- Método de trabajo.

El presente estudio tuvo la siguiente metodología:

a) Infraestructura de exploración.- en la cual se tiene:

a.1) Documentación.- que fue la recopilación de toda la bibliografía existente del área, alguna fue difícil de obtener ya que la mayoría eran informes inéditos de la C.F.E.

a.2) Cartografía.- se consiguieron planos topográficos, geológicos y mineros de todo el estado a diferentes escalas principalmente de DETENAL, CFE y CRM, así como las fotografías e imágenes de

satélite del área de Tenejapa y San Juan Chamula (las cuales fueron insuficientes). No se obtuvieron las fotografías de las demás áreas.

b) Investigación estratigráfica.- se hizo el estudio regional de las diferentes áreas visitando aquéllos lugares de los cuales se sabía que tenían valores de Al_2O_3 y al conocer sus características, se usaron como guías principales para localizar las demás áreas: la morfología, la mineralogía y la petrología.

b.1) Guías morfológicas.- se tomaron en cuenta aquéllas zonas en donde se presentaban lomeríos alargados y paralelos que parecían tener un mismo origen lo cual se deducía como coladas de lava originadas en un mismo centro de emisión.

b.2) Guías mineralógicas.- al inicio del proyecto sólo se contaba con que el material se encontraba ubicado generalmente en el dorso de antiguas coladas de lava pero al hacerse los estudios en dichas coladas, se observó que no todos presentaban contenidos de Al_2O_3 , entonces se reconoció a los minerales que se debían buscar ya que generalmente se encuentran asociados a los minerales de Al_2O_3 ; así, se identificaron algunas alteraciones como alitización y principalmente caolinización, las cuales son producto del intemperismo de rocas volcánicas extrusivas de composición intermedia y ácida como traquiandesitas, andesitas, tobas andesíticas y tobas alteradas principalmente.

b.3) Guías petrográficas.- estas guías fueron básicamente las rocas indicadas anteriormente aunque se encontraron otras de similar composición, pero sin valores económicos de Al_2O_3 .

c) Evaluación: se llevó a cabo utilizando dos criterios diferentes.

c.1) por metodología Bayer.

c.2) por metodología alternativa al Bayer.

Esto se debió a las características propias de cada cuerpo.

d) Elaboración de documentos: desde el inicio del proyecto hasta el final del mismo.

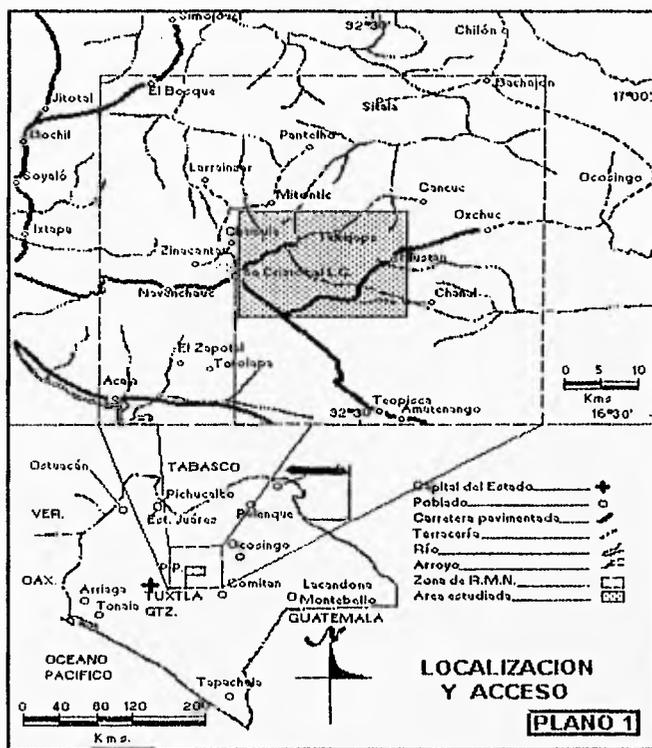
d.1) Planos.- Topográficos, geológicos, estructurales, de avance, secciones, etc.

d.2) Informes.- Mensuales, anuales y final.

II. GENERALIDADES.

II.1.- Localización, acceso y extensión del área.

La "Reserva Minera Nacional Tenejapa", se localiza en el centro del estado de Chiapas, en la región denominada "Los Altos de Chiapas", a 15 km al N55°E, en línea recta de la ciudad de San Cristóbal de las Casas y, a 65 km al Oriente de Tuxtla Gutiérrez (ver plano 1).



El acceso por vía terrestre se puede hacer partiendo de Tuxtla Gutiérrez por la carretera federal no. 195; que pasa por los poblados de Chiapa de Corzo y San Cristóbal de las Casas con un recorrido aproximado de 10 km. De San Cristóbal de las Casas se puede llegar a cada una de las áreas de trabajo por medio de las diferentes carreteras y caminos de terracería que comunican a estas regiones, los cuales son transitables en toda época del año.

La "Reserva Minera Nacional Tenejapa" tiene una extensión de 363,000 hectáreas.

II.2.- Situación legal.

El estado legal de esta reserva, se encuentra en el expediente no. 249, de la Dirección General de Minas, en el cual se dice que: "ha sido asignada al Consejo de Recursos Minerales una superficie de 363,000 hectáreas por toda substancia desde junio de 1983".

Tiene las siguientes características:

NOMBRE DE LA ZONA	TENEJAPA
SUPERFICIE	363,000 has
UBICACION	Meseta Central de Chiapas
MUNICIPIOS Y ESTADO	El Bosque, Chalchuitán, Sitalá, Pantelhó, Chenalhó, Mitontic, Larrainzar, Ixtapa, San Juan Chamula, Tenejapa, Oxchuc, Altamirano, Chanal, Hulxtan, San Cristóbal de las Casas, Zinacantán, Alcalá, El Zapotal, Totolapa, Amatenango del Valle, Teopisca y Comitán, edo. de Chiapas.
PUNTO DE PARTIDA	Punto central de la puerta de la iglesia principal de San Cristóbal de las Casas.
FRACCION	II Artículo 72

II.3.- Clima y vegetación.

Según la clasificación climática de Köeppen, modificada por el Instituto de Geografía de la U.N.A.M., en 1970, a la "Reserva Minera Nacional Tenejapa", le corresponde el clima templado-subhúmedo, tendiendo a húmedo, con lluvias en verano (c) W, '(W) big, temperatura media anual entre 12 y 18 °C y la del mes más frío entre 3 y 18 °C; con más de 1,500 mm de precipitación pluviométrica anual.

La flora que cubre la superficie en esta zona, está compuesta principalmente de pino blanco, encino y ayacahuite, oyamel, fresno, ciprés, liquidámbar, así como otras especies arbóreas y vegetales que crecen sobre estas sierras, lo que hace intrasitable la travesía (de tal modo que, por las veredas es necesario usar machete).

III. FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.

III.1.- Localización fisiográfica.

En el plano 2, se pueden apreciar las provincias fisiográficas de la República Mexicana, clasificadas por Humprey (1958), Raiz (1964) y modificadas (principalmente las del norte del país), por los alumnos de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., con los estudios efectuados en las asignaturas de Geología de Campo General y Geología de Campo Avanzada.



La "Reserva Minera Nacional Tenejapa" se localiza dentro de la provincia Meseta de Chiapas y una parte dentro de la subprovincia de Sierras Plegadas.

III.2.- Provincia fisiográfica.

Según López Ramos (1979) el área de estudio se encuentra en la subprovincia geológica de la Sierra de Chiapas que se encuentra limitada al norte por la Planicie Costera del Golfo, al sur por el Macizo de Chiapas, al este por el Altiplano de Guatemala y al oeste en una parte por el Istmo de Tehuantepec.

Su superficie total es de 50,300 km² aproximadamente.

III.3.- Hidrografía.

Según Moreno Cossío (1986), hidrológicamente Chiapas está dividido en dos vertientes: la del Océano Pacífico y la del Golfo de México, en las que la Sierra Madre sirve de parteaguas entre ambas; la segunda que se localiza en el extremo noreste del estado y es en donde afluyen las corrientes que drenan la zona de los Altos de Chiapas, (donde se localiza el presente trabajo) y se denomina cuenca del río Usumacinta.

Para hablar de hidrogeología del estado es conveniente definir las características de la zona en particular; este análisis permite diferenciar bien las unidades hidrogeológicas, pues en la entidad, no solamente se presenta una geología muy compleja, sino que también posee una topografía demasiado abrupta que da origen a diferentes y específicos índices térmicos y pluviométricos en cada región.

Por tal motivo, el estado de Chiapas se divide en cuatro zonas o unidades hidrogeológicas a saber:

- 1.- Planicie Costera del Golfo de México.
- 2.- Sierra de Chiapas.
- 3.- Depresión Central.
- 4.- Planicie Costera del Océano Pacífico.

Con base en esta clasificación, el área de estudio queda comprendida en la segunda unidad, o sea en la de Sierra de Chiapas y sus características generales son: localizada en los Altos de Chiapas y delimitada al norte por la planicie Costera del Golfo de México y al sur por la Depresión Central. Comprende a los municipios de Comitán, Ocosingo y San Cristóbal entre otros. La temperatura promedio es de 20 °C, la precipitación media anual de 1,500 mm y la altura media sobre el nivel del mar fluctúa entre 900 y 2,400 m. Hidrogeológicamente se encuentra drenada por corrientes intermitentes y efímeras, que en la mayoría de los casos, conforman subcuencas cerradas, con excepción de las que originan los ríos Tulljá, Jalaté, Lacantún y Usumacinta.

III.4.- Geomorfología.

La geomorfología de la región es producto de los procesos geológicos endógenos (ó internos, que "se relacionan con los procesos de actividad en la corteza y en el manto superior", Petrovna, 1975) y exógenos (procesos de intemperismo, denudación y acumulación).

Se considera proceso endógeno a la orogenia Cascadiana, que en el Mioceno dio origen a la fisiografía de la región, con los levantamientos, fallas y fracturas que produjo durante su desarrollo.

Al cesar estos movimientos, se sucedieron los procesos exógenos, o sea, los agentes de intemperismo con la erosión de la sierra de Chiapas y el depósito de los sedimentos aluviales. Al mismo tiempo, las estructuras del área de estudio también lo hicieron, originando depósitos en las partes topográficamente bajas y en los sinclinales.

Genéticamente las corrientes que se originan en el área y que están controladas por las deformaciones tectónicas y por la litología de las rocas son:

- a) Consecuentes, aquellas que corren de las partes topográficas altas a las bajas.
- b) Subsecuentes, las que fluyen sobre líneas de falla.
- c) Resecuentes, corren paralelamente a la dirección de consecuentes originales.
- d) Insecuentes, que confluyen en dolinas.

IV. GEOLOGIA.

IV.1.- Geología regional.

En el estado de Chiapas, la geología está constituida por una serie de rocas cuyas edades varían desde el Precámbrico hasta el Mioceno.

El basamento está formado por el Macizo Granítico de Chiapas; este bloque tectónico positivo ocupa una franja paralela a la costa del Océano Pacífico y se extiende desde el Istmo de Tehuantepec hasta la República de Guatemala. Está formado por rocas intrusivas y metamórficas, con edades que varían del Precámbrico al Mioceno.

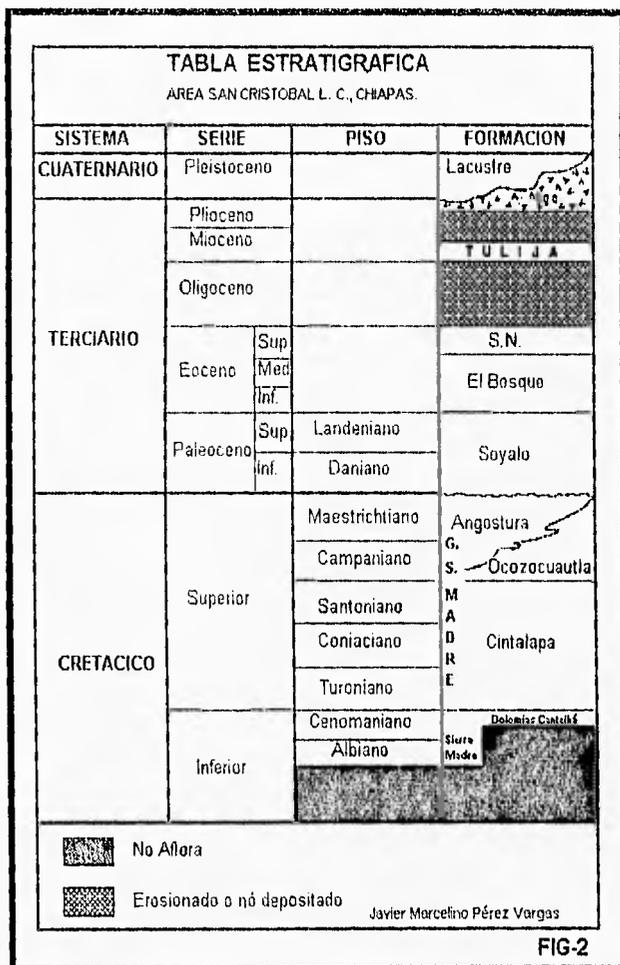
El Paleozoico en la región está compuesto por rocas metamórficas (meta-sedimentos) y rocas sedimentarias, con edades que van del Carbonífero Inferior (Missisipico) al Pérmico y sus afloramientos están restringidos al sureste de la sierra, en la región de Chicomuselo, está representado por las Formaciones Santa Rosa, Grupera y Paso Hondo. Hasta ahora no se han encontrado afloramientos de principios del Mesozoico en la zona sur, por lo que se considera que parte de la sierra estuvo ocupada por un continente durante el Triásico. La columna Mesozoica continúa con los estratos de rocas continentales que pasan a rocas con influencia marina de la Formación Todos Santos (Lechos Rojos) del Jurásico Medio y Superior (Batoniano a Oxfordiano) que cubren en discordancia a las rocas del macizo granítico, y en la región de Chicomuselo al Carbonífero Inferior-Pérmico de las Formaciones Santa Rosa y Grupera. Sobre los Lechos Rojos de la Formación anterior se encuentra expuesta una secuencia sedimentaria, en su mayor parte de carácter marino de aguas someras, que representa al Jurásico Superior y al Cretácico Inferior representado por las Formaciones San Ricardo, Malpaso y Chinameca. Además de la Formación San Ricardo del Cretácico Inferior, este incluye en su parte Superior al grupo de las calizas Sierra Madre; este grupo está compuesto por los miembros Cantelha y Cintalapa así como por estratos de calizas de plataforma en el Cretácico Superior (Formación Angostura).

El Terciario en la zona está constituido principalmente por terrígenos sin y posorogénicos, formados como consocuencia de los eventos "Laramídicos" y "Cascádicos".

Las formaciones sobresalientes para este tiempo son la Formación Soyalo y la Formación El Bosque; continúa con algunos sedimentos no definidos y la Formación Ixtapa, observados en la "Fosa de Ixtapa". Hacia la parte final del Terciario se presenta una actividad volcánica extrusiva que viene a cubrir parcialmente a las rocas anteriores.

IV.2.- Geología local.

En el área, la geología se encuentra caracterizada por la existencia de un paquete de sedimentos marinos, cuyas edades varían desde el Cretácico Inferior al Terciario inferior (Paleoceno) y por sedimentos continentales y transicionales del Eoceno. A finales del Terciario estos sedimentos fueron cubiertos por una serie de rocas volcánicas y productos piroclásticos (ver figura 2).



a) Estratigrafía y litología

**Cretácico Inferior
Albiano-Cenomaniano**

Estas rocas son las más antiguas que afloran en el área, están formadas esencialmente por rocas calcáreas relativamente puras que alternan con horizontes dolomíticos e intercalaciones de brechas calcáreas. Presentan estratificación media y gruesa, pero generalmente se les encuentra en forma masiva, densas y muy compactas y en ocasiones presentan delgados horizontes arcillosos en los planos de estratificación y algunos fragmentos de pedernal. La estratificación de las calizas cambia desde estratos muy gruesos en la base de la secuencia a delgados en la cima. El contacto inferior no se ha observado en el área.

Las calizas presentan colores pardo oscuro y claro cuando están sanas y grises con tonalidades oscuras cuando están intemperizadas. Estas rocas presentan un bajo grado de erosión, de lo que resulta una topografía muy abrupta con estructuras en forma de escarpes, montañas muy elevadas y cauces de ríos muy estrechos. El espesor dado para esta unidad es de más de 1,000 m, el intemperismo ha formado suelos lateríticos de color rojo-amarillento.

Regionalmente las rocas carbonatadas del Cretácico Inferior cubren una gran parte de la superficie del área, se les puede observar descansando sobre cualquiera de las formaciones más antiguas, pero lo hacen principalmente sobre las rocas graníticas del Paleozoico y la Formación Todos Santos. Las rocas del Cretácico Inferior pasan transicionalmente hacia arriba y sólo son cubiertas discordantemente por sedimentos del Terciario; el ambiente de depósito, es marino de plataforma. Estratigráficamente se les ha asignado una edad del Cretácico (Albiano-Cenomaniano) correlacionable con los miembros Cantelha y Cintalapa del Grupo Sierra Madre.

**Cretácico-Superior
Turoniano-Maestrichtiano.**

La unidad anterior está cubierta concordantemente por una secuencia calcáreo arcillosa compuesta por calizas muy impuras, calcarenitas, margas, lutitas y lutitas arenosas. La litología así como el espesor de los estratos cambia paulatinamente desde la parte inferior de la secuencia estratigráfica hasta la parte superior de la misma. Puede verse la transición de estratos de rocas carbonatadas hasta llegar a rocas calcáreo-arcillosas de espesores delgados. Las rocas del Cretácico Superior son las rocas sedimentarias que mayor distribución tienen en la región. Presentan diversos colores y tonalidades que van de amarillo a pardo e incluso verde. La superficie presenta una erosión muy avanzada, quizá debido a que estas rocas son relativamente suaves, presenta montañas redondeadas y llanuras alargadas de pendiente suave, con el típico sistema erosional llamado cárstico. El espesor medido para esta unidad del Cretácico Superior es de 800 a 850 m. Las superficies de intemperismo están formadas por suelos lateríticos de colores amarillento y rojizo.

La posición estratigráfica de las capas del Cretácico Superior está bien definida ya que se encuentran en contacto transicional con el Cretácico Inferior al que suprayace, y en contacto discordante con la Formación Soyalo a la que infrayace. En ciertas zonas, el Cretácico Superior descansa sobre sedimentos Terciarios; en los que existen fallas inversas que originan una cabalgadura.

El ambiente de depósito de los estratos del Cretácico Superior indica que se depositaron en una plataforma con facies de mar abierto, incluyendo depósitos de talud; estas rocas son correlacionables con la Formación Angostura del Turoniano-Maestrichtiano.

Terciario-Inferior Paleoceno.

Las rocas del Cretácico están cubiertas en discordancia angular por una unidad sedimentaria formada por una alternancia rítmica de lutitas apizarradas, margas, horizontes arenosos y estratos delgados de la Formación Soyalo del Paleoceno. Presenta una amplia distribución dentro del área y la localidad tipo se localiza en el poblado Soyalo (aprox. a 25 km al NW de San Cristóbal de las Casas). Esta Formación subyace en forma aparentemente concordante a la Formación El Bosque. Los mejores afloramientos de esta secuencia pueden observarse en el sinclinal Belisario Domínguez que se encuentra hacia el noreste de San Andrés Larrainzar.

La estratificación es generalmente delgada, pero pueden verse potentes estratos de arcilla con algunos nódulos de óxido de hierro e impresiones de macrofauna (valvas de pelecipodos, ostrácodos, etc.) con intercalación de estratos más pequeños. En general la arcilla es el elemento predominante; presenta un color pardo claro con pequeñas capas de óxidos de hierro en los planos de estratificación, conjuntamente con las impresiones fosilíferas.

Estas rocas son las que han sido más erosionadas, de tal manera que presentan zonas peneplanas y dan origen a suelos lateríticos de color pardo.

Dentro del área, a ésta formación se le ha asignado una edad del Paleoceno (Terciario Inferior) debido a su posición estratigráfica, ya que subyace a la Formación El Bosque. Las características litológicas de la Formación Soyalo muestran que fue depositada en un ambiente de mares someros, en el inicio de una regresión.

Terciario-Inferior Eoceno-Inferior-Medio.

Las rocas sedimentarias más jóvenes que se encuentran en el área pertenecen a la Formación El Bosque; se encuentran afloramientos en Tenejapa y en Larrainzar. Cubren concordantemente a las rocas de la Formación Soyalo así como a las rocas calcáreo-arcillosas del Cretácico en una franca discordancia paralela.

La secuencia está formada por una alternancia de areniscas, margas, lutitas y conglomerados de estratificación media a gruesa. Las areniscas están formadas por granos gruesos de cuarzo, calcedonia y pedernal, contenidos en una matriz arcillosa de color rojizo; Las margas son de color gris verdoso con bastante arena de grano fino; los conglomerados presentan un color rojizo ocre y están constituidos por fragmentos de roca volcánica, cuarzo y pedernal en tamaños que varían de 3 a 50 mm de diámetro, con formas generalmente bien redondeadas; las lutitas son de color gris verdoso en estratos delgados a medios y fuertemente cementados. En las areniscas también se pueden observar algunas litozonas con macrofósiles (pelecipodos y ostrácodos), valvas con tamaños variables de 2 a 6 cm de diámetro, así como estratificación cruzada en algunos horizontes.

Esta secuencia presenta una serie de colores muy llamativos debido a los tonos rojizos que presentan los clásticos continentales, contrastando con el color gris verdoso de las rocas marinas y las transicionales.

La secuencia estratigráfica cambia desde la parte inferior, compuesta por sedimentos marinos, a sedimentos continentales en la parte media, para volver nuevamente en la parte superior a marinos. Las características litológicas que presenta esta formación sugieren que estos sedimentos se depositaron en una zona cercana al continente que estaba sujeta a levantamientos originados por una etapa tectónica en las zonas internas.

Las formas del relieve que presentan estas rocas son contrastantes. En algunas partes la fuerte erosión ha formado zonas peneplanas y en otras se han formado escarpes y montañas escabrosas por fallamiento (zona de Tenejapa), el espesor para esta formación en el área varía de 500 a 650 m aproximadamente.

Por su contenido fósil se le ha asignado una edad del Eoceno Inferior y Medio para la zona de Ixtapa (Pemex, 1978).

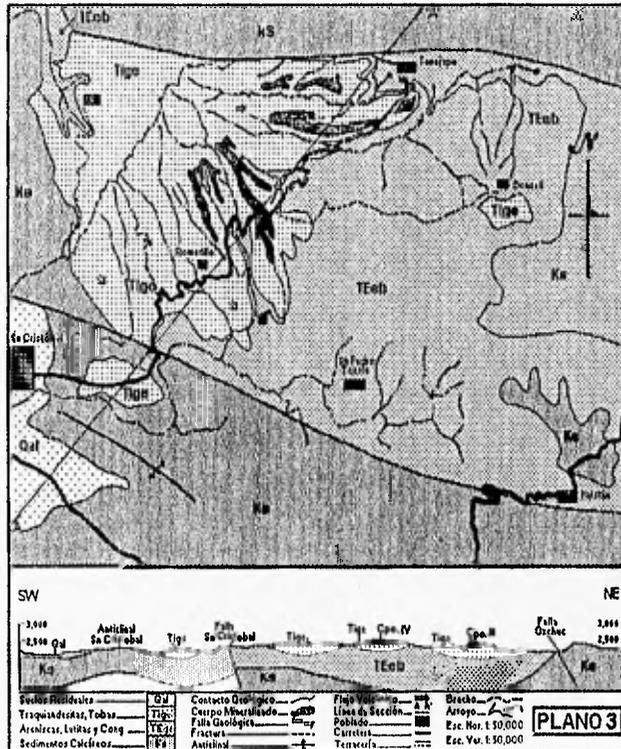
Terciario Superior-Cuaternario Rocas Igneas Extrusivas.

Cubriendo discordantemente en la parte más alta a las unidades litoestratigráficas anteriores, se encuentra una serie de derrames volcánicos y piroclásticos de composición intermedia a ácida. Estas rocas son las de mayor interés en la región, puesto que se conocen por ser generadoras de material bauxítico.

Su composición varía con relación a la lejanía de la fuente emisora. En las inmediaciones del cerro Tzontehúitz, puede hallarse roca sana compuesta por rocas andesíticas de color gris, de textura afanítica densa, con cristales negros de augita diseminados en la pasta que cambia a traquiandesita y andesita brechoide de textura porfídica color gris claro y tintes verdosos en las proximidades de Canal-Lum y Tenejapa. Hacia la periferia, los derrames son de andesitas porfídicas que cambian a tobas andesíticas y cenizas volcánicas. Los derrames adoptaron las formas de

lengüetas levemente inclinadas, así como cuerpos remanentes formados por productos piroclásticos.

Geomorfológicamente, estas rocas presentan superficies levemente onduladas y de pseudo-mesetas, producto de una red de drenaje incipiente originalmente plana y posteriormente afallada; existen expresiones topográficas más abruptas en forma de cordones que no rebasan los 500 m de altura con pendientes menores del 10°. La expresión topográfica más notoria la representa el cerro Tzontehuitz, el cual tiene una altitud de 2,700 msnm, así como el Farallón que forma el escarpe de la falla Oxchuc, que pasa por Tenejapa, afecta rocas del Cretácico Superior y la porción norte del Tzontehuitz (ver plano 3).



Tentativamente a estas rocas se les ha asignado una edad que corresponde a la de finales del Terciario.

b) Alteraciones.

Dentro de la zona estudiada, las rocas volcánicas presentan un avanzado estado de alteración, debido al intemperismo "in situ", donde se originan suelos lateríticos con una coloración amarillenta rojiza, debida a los óxidos de hierro ricos en hidróxidos de aluminio. En algunos casos se pueden apreciar rocas de textura fanerítica con cristales de plagioclasas y feldespatos alterados a caolín, así como ferromagnesianos y cuarzo cristalino.

IV.3.- Geología Estructural.

a) Tectónica global.

Para poder ahondar en este tema es necesario exponer en forma muy general las teorías que existen acerca del comportamiento de la corteza de la tierra. La antigua idea respecto a que esta corteza terrestre estaba esencialmente fija, ha sido reemplazada por una teoría reciente, la cual supone que todos los continentes estuvieron unidos en diversas épocas de la historia de la tierra; la última vez, se formó una gran masa denominada Pangea; posteriormente hubo grandes fracturamientos y desplazamientos horizontales de grandes masas de tierra (los actuales continentes) trasladadas hasta su presente posición. Los estudios geofísicos recientes así como las perforaciones profundas en los océanos han aportado datos que contribuyen a validar esta teoría.

El mecanismo de la deriva continental se origina por la tectónica de placas a causa de la expansión del fondo oceánico. El proceso que supone éste es el siguiente:

a) A través de una serie de fracturas de tensión, por las cuales se emite gran cantidad de material del manto, en forma de lava esencialmente básica, se desarrolla una cresta o dorsal, es decir, una zona elevada, desde donde el material del manto se ubica a ambos lados de dicha dorsal, creando una litósfera y, en consecuencia empuja a los continentes en sentido opuesto.

b) Debido a que el radio terrestre parece ser constante, como en un lado se crea una nueva litósfera, en otra se debe destruir, es decir en los límites opuestos, se crea una zona de subducción, donde una placa, la más densa, se hunde bajo la menos densa.

El mecanismo del movimiento de estas placas no está suficientemente claro, pero se supone que pueden ser empujadas y transportadas por efecto de celdas de convección, gobernadas por fuerzas gravitacionales o arrastradas.

Pangea, la gran masa continental que supone la teoría de la deriva continental, se fragmentó en diferentes etapas que a continuación se indican:

- a) En la figura 3a, se muestra la situación en que se encontraban los continentes hace 200 millones de años, o sea, en el Triásico temprano.
- b) Después de 20 millones de años de deriva y, por tanto, al final del Triásico y principios del Jurásico, es decir, hace 180 millones de años, el grupo septentrional continental, conocido con el nombre de Laurasia, comenzó a alejarse del grupo meridional, conocido como Gondwana; América del Norte se separa de África, como se aprecia en la figura 3b.



- c) Hace 135 millones de años, o sea, con 65 millones de años de deriva y, por tanto, a principios del Cretácico, se encontraban los continentes en la forma en que están ilustrados en la figura 4a.
- d) Para el final del período Cretácico, cuando ya habían, transcurrido 135 millones de años de deriva, tanto América del Sur con América del Norte, Africa, la India y demás continentes se iban acercando a la posición que

CRETACICO INFERIOR

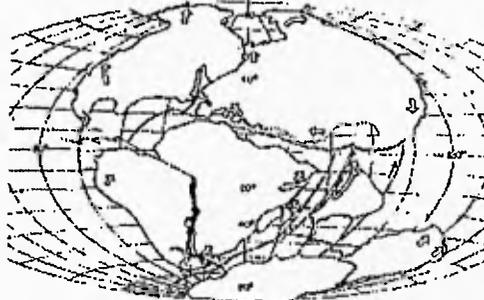


FIG-4a

CRETACICO SUPERIOR

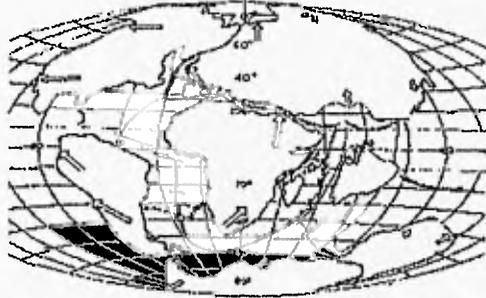


FIG-4b

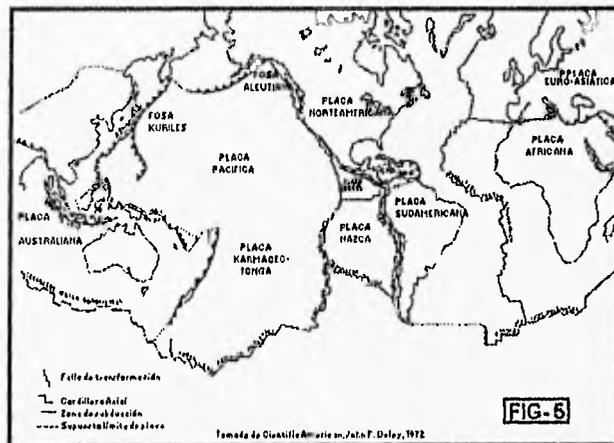
actualmente ocupan (figura 4b).

- e) Finalmente llegaron a ocupar su sitio actual, lo cual ocurrió en los últimos 65 millones de años, que corresponden al Cenozoico.

b) Tectónica regional.

Los eventos tectónicos de la República Mexicana están asociados a los movimientos de las placas, acordes con la teoría de la tectónica de placas. Existen algunos sucesos dentro de esta teoría que no encajan en algunas zonas de México, debido quizá a los escasos datos que se tienen en los diferentes estudios que no han sido orientados adecuadamente.

Dentro del marco tectónico regional, el SE de México está formado por las placas Norteamericana, de Cocos y del Caribe (ver figura 5) los elementos estructurales importantes son: la Plataforma de Yucatán, el sistema de fallas de Potochic-Motagua, el "Macizo Granfítico de Chiapas" y el cinturón formado por los plegamientos de la Sierra de Chiapas (vor figura 6).



Existen cuatro fases tectónicas, a saber:

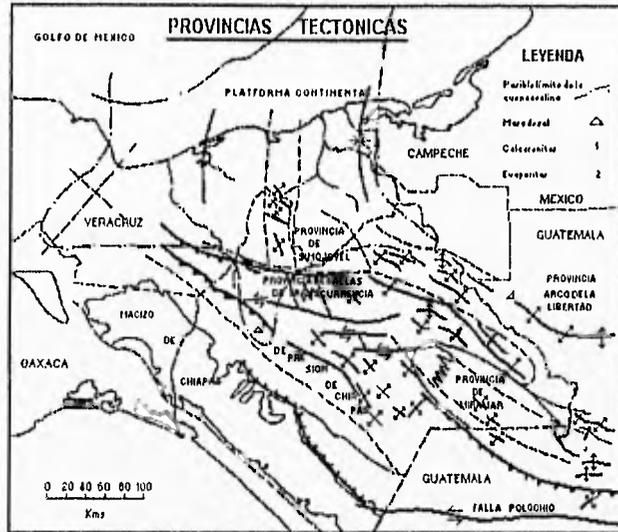
- a) Fase Mesocretácica.
- b) Fase Laramídica (fines del Cretácico), la que produjo pilares tectónicos, como horst y grabens.
- c) Fase Miocénica tardía (fase principal) la cual produjo pliegues tardíos.
- d) Fase de fallas de desplazamiento lateral. (Carfanta, Jean, 1977).



La combinación de los efectos del tectonismo que han actuado en el SE de México y en la actual Sierra de Chiapas (donde se localiza el área de estudio), dio lugar a la formación de varias provincias tectónicas, cuyos límites se han fijado, combinando los trabajos de campo con el análisis de las imágenes de satélite (Sánchez R. 1979). Estas provincias son: el Macizo Granítico de Chiapas, la provincia de fallas de Transcurrencia (anteriormente denominada de Fosas y Pilares), Provincia de Simojovel, Provincia de Miramar y la Provincia de Yaxchilán (conocida en la literatura geológica como Arco de la Libertad), que se aprecian en el plano 4.

El Macizo Granítico de Chiapas está formado por rocas ígneas intrusivas, que han sido inyectadas en varias etapas, cuyas edades van del Precámbrico hasta el Plioceno (Seyfert and Sirkin, 1973).

Las fallas de transcurrencia presentes en la provincia están en general orientadas WNW-ESE con desplazamiento de rumbo, con los bloques del norte desplazados hacia el occidente en relación con los del sur. Poco se sabe acerca de las dimensiones de los desplazamientos de las fallas, tanto en el sentido vertical como en el sentido horizontal.



Al parecer, estas fallas se iniciaron formando horsts y grabens en el Cretácico Superior (Sánchez R., 1979), como consecuencia de una pulsación correlacionable con la Orogenia Laramide. El efecto de este fenómeno se percibe en la discordancia del Maestrichtiano, sobre estratos del Turoniano en el área La Reforma la cual es correlacionable con la identificada en el área de Malpaso entre el Maestrichtiano y el Cretácico inferior.

El movimiento Laramídico termina después del Mioceno Inferior cuando el movimiento de transcurrancia de las fallas es mayor, así como las cabalgaduras y fallas inversas. Es precisamente en este tiempo cuando se producen algunos intrusivos graníticos a lo largo de la prolongación Polochic, que podrían considerarse sintectónicos. De las provincias citadas, la provincia de fallas de transcurrancia es la más importante tectónicamente; de segunda importancia está la provincia de Yaxchilán. En ésta, Sánchez R., 1979, dice: "es indudable la influencia de la porción evaporítica del Cretácico sobre la geometría de los plegamientos".

Como conclusión de la tectónica del SE de México: De Cserna (1960), Guzman y De Cserna (1963), Diego y Bohnerberger (1969) y Weyl (1973) identifican dos ciclos geotectónicos en los cuales incluyen a la Sierra de Chiapas:

- a) El Jaliscoense, que culmina en el Jurásico
- b) El Mexicano, donde se incluye al movimiento Laramídico.

Este ciclo, de acuerdo con los autores mencionados, culmina con una fase tafrogénica en el Oligoceno y con vulcanismo en el Mioceno.

Sánchez R., 1979, opina que este ciclo debió modificarse, con el plegamiento intenso del Mioceno, que indudablemente es el causante de la expresión estructural actual de la Sierra de Chiapas, y el producto de esfuerzos de tensión, en las subcuencas de Comalcalco y de Macuspana (provincias definidas por Pemex), que recibieron los sedimentos originados por el plegamiento miocénico, así como el actual movimiento de emersión del continente.

c) Tectónica local.

La tectónica del área estudiada es bastante compleja para su interpretación debido a la falta de trabajos estratigráficos más detallados para la reconstrucción de la geología histórica y tectónica, así como su correspondiente mapeo geológico; además, existe una falta de información del subsuelo que permita esclarecer los problemas estructurales.

La evolución tectónica del área comienza con la sedimentación de rocas marinas del Cretácico en una paleoplataforma, las cuales sufrieron un fuerte tectonismo en el Cretácico superior como consecuencia del principio de la Orogenia Laramide que origina movimientos que provocaron fallas de transcurrancia. Al parecer estas fallas se iniciaron como horsts formados por bloques de rocas Cretácicas y grabens que fueron rellenados con material clástico principalmente del Terciario.

El evento Laramídico se acentúa en el Paleoceno; como consecuencia, se origina una nueva discordancia después de la cual se deposita una columna de sedimentos postorogénicos durante el Terciario inferior. Una nueva perturbación tectónica se inicia al finalizar el Oligoceno y principios del Mioceno por la cual los sedimentos del Terciario sufren una deformación que produce un intenso fallamiento con desplazamientos a rumbo y un plegamiento de poca intensidad en la parte oeste del área, lo que da lugar a la formación de la Fosa de Ixtapa.

Hacia el WNW de San Cristóbal, se encuentra una estructura de graben denominada "Fosa de Ixtapa". En este lugar se pueden observar horsts de rocas cretácicas que limitan la fosa; éstos comprimieron los sedimentos miocénicos alojados en ella. También se advierte que las fallas tienen una actitud de tipo inverso, lo que provoca una cabalgadura de las calizas del Cretácico sobre los terrígenos del Mioceno inferior. Más hacia el SE, la Fosa de Ixtapa desaparece totalmente bajo las rocas calcáreas que la limitan.

El mayor movimiento que produjo fallas de transcurrancia, así como cabalgaduras, fallas inversas y sus subsecuentes desplazamientos a rumbo, se origina después del Mioceno Inferior. Regionalmente se distinguen grandes lineamientos hasta de 200 km de longitud, que señalan el paso de estas fallas, las cuales limitan bloques, generalmente formados por carbonatos cretácicos y depresiones topográficas en

terrenos terciarios, la mayor parte de ellos de carácter terrígeno. Las fallas más grandes, dentro de la región, son las fallas Ocosingo-Oxchuc-Tenejapa y San Cristóbal. Estas tienen una orientación WNW-ESE con desplazamiento de rumbo: los bloques del norte desplazados al oeste, respecto a los bloques del sur (ver plano 4).

Esta última fase tectónica se correlaciona con el evento Cascadiano, el cual culmina con un intenso vulcanismo en la región, a finales del Terciario y principios del Cuaternario, considerado como un evento posttectónico del plegamiento del Mioceno.

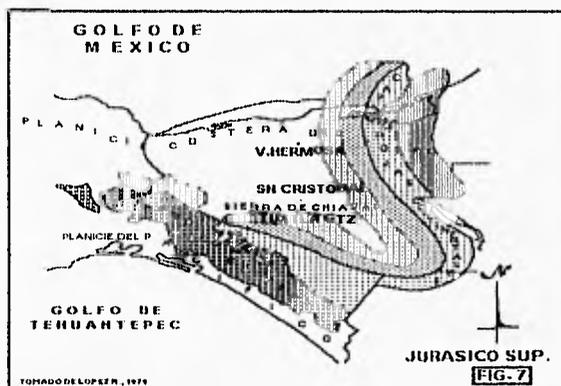
De acuerdo a las características estructurales observadas en la provincia de fallas de transcurrencia, el fallamiento en bloques es más importante que los plegamientos Laramídicos.

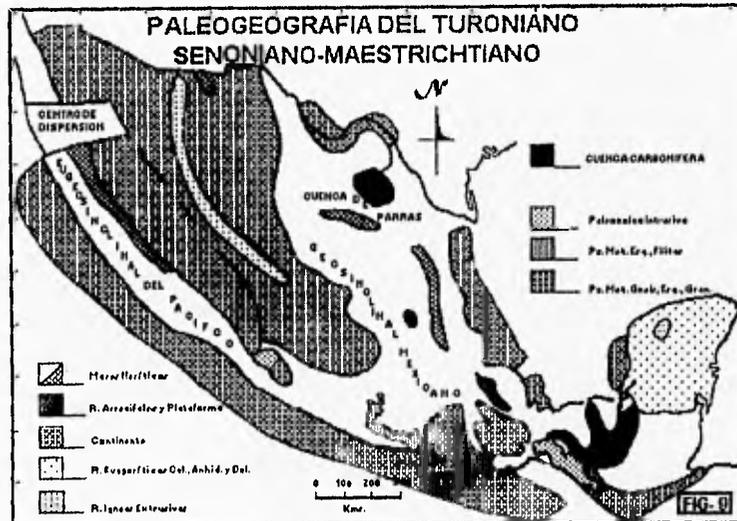
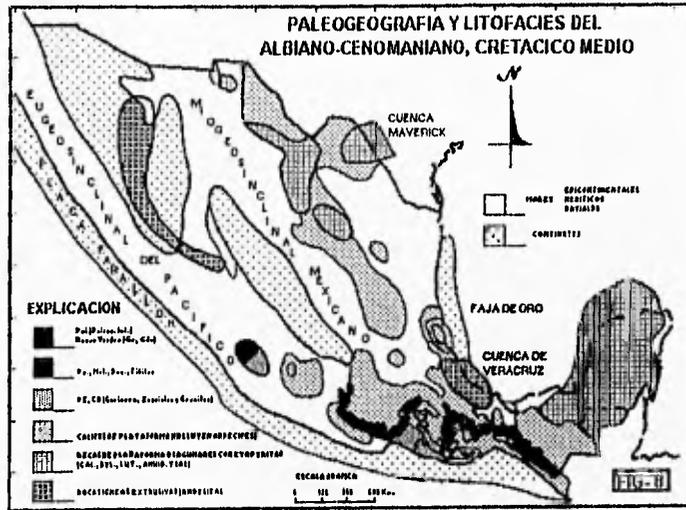
IV.4.- Geología histórica.

El resumen de las diferentes etapas geológicas por las que ha atravesado la región, puede ser descrito de acuerdo con los paleoambientes de sedimentación y accidentes que fueron desarrollados en un antiguo geosinclinal, propiamente en una zona miogeosinclinal.

La historia geológica del área comienza en el Mesozoico. Es cuando se forma el geosinclinal del mismo nombre, controladas las condiciones de sedimentación por el Macizo Granítico de Chiapas y la plataforma de Yucatán.

Durante el Mesozoico (ver figuras 7, 8 y 9), el miogeosinclinal ocupaba toda la parte central y norte del estado de Chiapas, Campeche y se extendía hacia el noreste donde cubría la actual península de Yucatán. La cuenca de mares profundos cubría la parte noreste y se internaba hasta el antiguo Golfo de México; el macizo granítico de Chiapas ocupaba la porción sur-sureste y se comunicaba con la península de Oaxaca. La porción eugeosinclinal se encontraba más al sur y sureste del macizo, y se extendía hasta Guatemala.





En el Cretácico Inferior, los mares iniciaron una transgresión que cubrió, en su totalidad, al estado de Chiapas; la plataforma de Yucatán se encontraba bajo aguas muy someras, con acumulación de grandes masas evaporíticas. Ella se extendía desde la parte central de Chiapas hasta el norte (parte de Tabasco) y noreste-este (más al NE de la actual península de Yucatán). El mar abierto se hallaba hacia el NW. El Macizo de Chiapas estaba emergido y tenía una posición similar a la actual.

El Cretácico Inferior está representado en la región por las Formaciones San Ricardo, Chinameca y Malpaso, de ambiente nerítico y donde predominan las rocas carbonatadas sobre las rocas clásticas y evaporíticas. Para el final del Cretácico Inferior, la transgresión marina se generalizó y, abarcó una extensión más amplia del país. Hacia el sur, el macizo de Chiapas fue cubierto en gran parte y la plataforma de Yucatán permaneció como área estable pero sumergida y con una sedimentación de aguas someras. Los sedimentos representativos en el área para esta edad son las calizas del grupo Sierra Madre (los miembros Cantelha y Cintalapa), depositados en un ambiente de plataforma.

En el Cretácico Superior, los sedimentos de plataforma cubrieron casi en su totalidad a la plataforma de Yucatán, lo que dio como resultado el depósito de sedimentos característicos de ambiente de plataforma con facies de mar abierto y depósitos de talud hacia el noroeste. El macizo granítico de Chiapas permanecía como un elemento tectónico positivo. En el área estos elementos están representados por la Formación Angostura del grupo Sierra Madre.

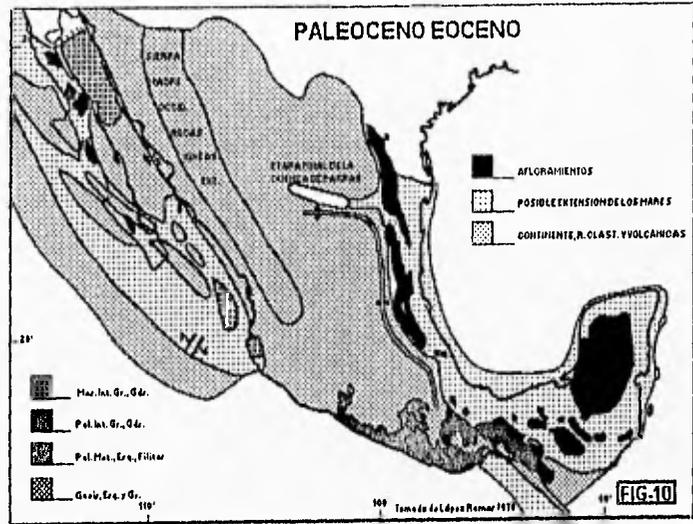
Al finalizar el Cretácico Superior y principios del Paleoceno (ver figura 10), el geosinclinal Mesozoico fue afectado por las deformaciones de la orogenia Laramídica, que provocó una regresión de los mares, y que se desarrollara una cuenca marina alargada en forma de antefosa. Se trataba de una franja de mar abierto que ocupaba el centro y nor-noroeste del estado de Chiapas.

La sedimentación estuvo controlada por el continente, que se encontraba al sur y suroeste y por la plataforma, que ocupaba la actual península de Yucatán. Los sedimentos representativos para esta época son los de la Formación Soyaló.

En el Eoceno, un nuevo movimiento produjo la retirada de los mares hacia el noreste y noroeste, lo que originó el depósito de sedimentos continentales depositados cerca de las costas, producidos por la erosión de las tierras altas. La sedimentación representativa de este tipo de depósito, es la Formación El Bosque.

Al finalizar el Oligoceno y Mioceno, se manifestó una nueva fase orogénica. Esta es la responsable de la actual configuración de la Sierra de Chiapas.

Hacia finales del Terciario (Plioceno), la historia geológica culminó, cuando en la región se desarrolló una gran actividad volcánica. Rocas volcánicas y productos piroclásticos continentales rellenan y cubren una gran superficie del área en cuestión.



V. YACIMIENTOS MINERALES.

V.1.- Génesis.

Como se sabe, cualquier tipo de roca que esté expuesta en superficie, es atacada por el intemperismo en mayor o menor grado.

Estudios realizados por Harder (1949), concluyen que: "Cualquier tipo de roca con muy raras excepciones, es susceptible a laterizarse, siempre y cuando los factores de laterización estén presentes y se cumpla con la condición de que la erosión sea menor a la descomposición química de la roca".

La precipitación pluvial, es factor esencial en la formación de las lateritas, ya que durante el paso del agua desde la superficie hasta el nivel freático, efectúa un sinnúmero de reacciones químicas que dan por resultado la disolución de algunos compuestos y la formación de otros que son más estables. Este proceso se efectúa siempre arriba del nivel freático donde forma una capa mas o menos paralela a la superficie del terreno. Los factores que intervienen para la formación de las bauxitas, son los mismos que forman las lateritas, los más importantes son:

- Tipo de roca
- Clima
- Drenaje
- Estabilidad tectónica
- Tiempo

Tipo de roca.- debido a la composición de la roca, ésta puede generar bauxita a excepción de las constituidas por sílice principalmente, siempre y cuando las demás condiciones sean favorables. Las rocas de textura porosa o extremadamente fracturadas y ricas en minerales aluminosos, se alteran más rápidamente y concentran alúmina con mayor facilidad (volcánicas intermedias a ácidas, tobas y cenizas volcánicas, intrusiones félsicas, etc.).

Clima.- cuando la precipitación pluviométrica es mayor a 1,500 mm/año, un período de lluvias y otro de secas es fundamental.

Drenaje.- la morfología debe presentar superficies mas o menos planas (terrazas o mesetas) para que exista percolación y se efectúe la lixiviación.

Estabilidad tectónica.- debido a este factor se tendrá un intemperismo químico prolongado que atacará y alterará a los componentes originales de la roca.

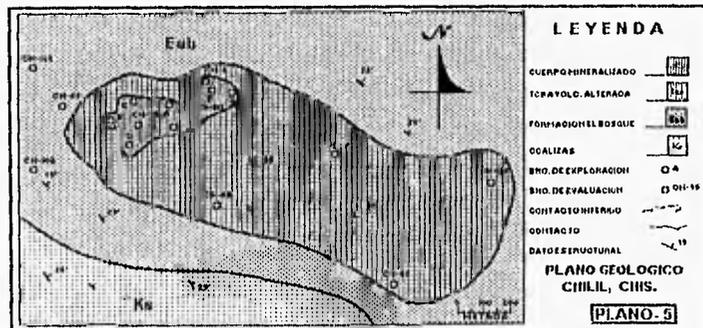
Tiempo.- es necesario que los fenómenos de clima, drenaje y estabilidad cortical actúen durante el tiempo suficiente que permita una alteración lo más completa posible de todo el material.

A partir de la observación de las características mineralógicas de los diferentes tipos de yacimientos en el área de Tenejapa, se llega a la conclusión de que la laterización rica en alúmina fue generada por un intemperismo "in situ" que actuó sobre rocas volcánicas y productos piroclásticos de composición intermedia a ácida; Durante el intemperismo, se produjo una alteración y desintegración de la roca original; los feldespatos potásicos y plagioclasas en arcillas, y se concentran los residuos resistentes como el Fe, Al y Si; en la continuación de este proceso, las aguas percolantes reaccionan con estos minerales lo que da lugar a una migración (lixiviación) del sodio y el potasio; la arcilla permanece mezclada con una menor cantidad de aluminio y óxidos de hierro, responsable del color característico de las lateritas y de las arcillas lateríticas.

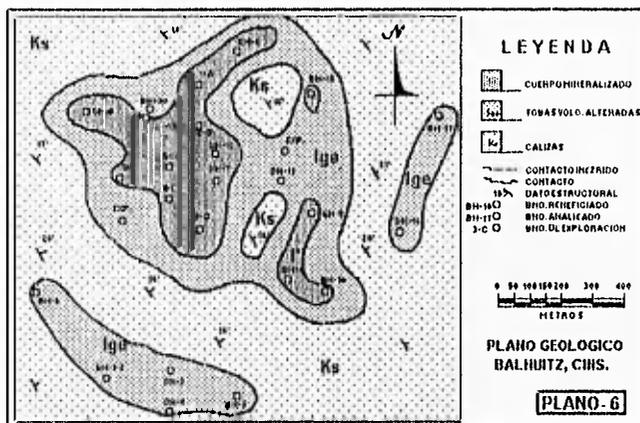
Generalmente la parte más rica en alúmina tiene una textura pelítico-psammitica y es de un color ocre; en tanto que la porción estéril es más plástica y de un color rojizo a gris verdoso, que corresponde a las proximidades de la roca madre.

Los estudios geológicos realizados en Tenejapa han revelado que las formas de depósito, entre otras condiciones, están controladas por la morfología que presentan las rocas volcánicas en interacción con las demás unidades litológicas. De acuerdo a lo anterior, las formas o tipos de depósitos identificados en la zona, pueden agruparse en cuatro principales (G. Komlossy, 1985):

- a) Depósitos formados "in situ" sobre las superficies de las tobas volcánicas traquiandesíticas (Tenejapa cuerpos I, I', II, III, IV, V, VII, IX y X, Petej y Chikbil Tenal).
- b) Depósitos formados en las mismas tobas volcánicas sobre la Formación Soyaló (Larrainzar Cuerpo I).
- c) Depósitos formados sobre limolitas de la Formación El Bosque en los cuerpos VI, VIII de Tenejapa y Chilil (ver plano 5)



- d) Depósitos formados sobre tobas volcánicas y depositados en superficies cársticas de calizas Cretácicas como en Oxchuc, Larrainzar cuerpo II, Muctahuitz, Cruz Quemada, Los Bautistas y Balhuitz (ver plano 6).

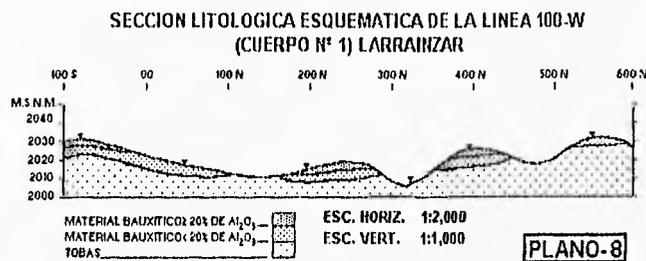
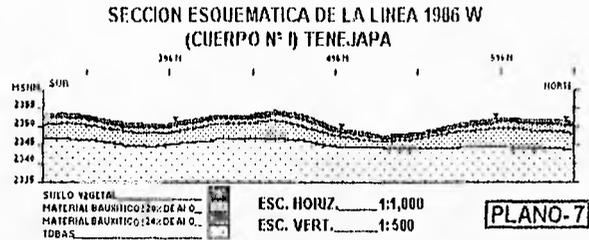


En general, un yacimiento puede agrupar dos o más tipos de formas de depósito, dado que están íntimamente relacionadas unas con otras.

V.2.- Forma, estructura y dimensiones.

Los yacimientos están constituidos por lengüetas de material laterítico generado encima de los derrames de roca volcánica así como de los remanentes piroclásticos, provenientes del volcán Tzontehuitz, el cual es el foco de emisión. Los cuerpos localizados en Tenejapa (cuerpos I, I', II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX y X), Petej y Chikbil Tenal están sobre roca efusiva y los de Larrainzar (I, II), Muctahuitz, Balhuitz y Chilil, están sobre los remanentes piroclásticos.

En general las formas de los cuerpos mineralizados son irregulares; presentan figuras de lengüetas de gran extensión en los derrames volcánicos, mientras que en los remanentes piroclásticos, los cuerpos son aislados, más irregulares y de poca extensión (ver planos 7 y 8).



Hacia el noreste y este del volcán Tzontehuitz se han formado cuerpos con gran contenido bauxítico sobre remanentes piroclásticos; dichos cuerpos son de forma irregular y de poca extensión 200-300 m, de longitud, pero con un espesor considerable de 3 a 5 m, de potencia (Larrainzar, Muctahuitz y Balhuitz).

En las áreas cársticas se formaron lomas, dolinas y terrazas morfológicas, en lugar de lengüetas, en las que el material bauxítico se ha acumulado en forma de bolsones (Oxchuc, Cruz Quemada, Los Bautistas y Montebello).

La estructura de los cuerpos se puede apreciar en zanjas y pozos; por ejemplo, las zanjas realizadas en el cuerpo III de Tenejapa, exhiben una masa mas o menos homogénea hasta de 8 m de espesor con lentes y horizontes de material arcilloso obscuro y rojizo, así como remanentes de roca volcánica que está en proceso de alteración.

En Los Bautistas, Cruz Quemada y Chill, los cuerpos son lenticulares aunque algunos están sobre calizas cretácicas y otros sobre la Formación El Bosque, y sus dimensiones son reducidas, no mayores de 200 m.

En Oxchuc, el material bauxítico se encuentra depositado en dolinas de pequeñas dimensiones y poco espesor aunque también hay depósitos sobre algunas lomas de roca carbonatada (terrazas estructurales).

V.3.- Control de la mineralización.

El control de la mineralización está plenamente establecido para la prospección, tanto local como regional, ya que se apoya principalmente en rasgos o guías litológicas y geomorfológicas, entre otras. Las primeras que son las más importantes, se deben a que en la mayoría de los cuerpos ígneos extrusivos de composición química intermedia, se han hallado acumulaciones más o menos continuas de material bauxítico.

Las guías geomorfológicas también son importantes, ya que cuando se explora en las rocas ígneas extrusivas intermedias, inmediatamente se buscan las partes más altas que es donde se forma la laterización de las mismas; en cambio en las partes bajas o con pendiente, la laterita que pudiera haberse formado ha sido erosionada hacia la red de drenaje.

V.4.- Mineralogía.

En Tenejapa y zonas adyacentes, la mineralización megascópica consiste en hidróxidos de aluminio y óxidos de hierro principalmente, los cuales están finamente mezclados en una matriz arcillosa de color ocre y rojizo con lentes y horizontes oscuros intercalados.

Como mineral de mena, solamente se puede observar gibbsita en formas racimosas y en ocasiones aciculares; este mineral fácilmente se puede advertir sobre el suelo, debido a que es más resistente a la erosión que las arcillas que integran la masa. Su tamaño varía de 3 a 10 mm de largo; también se han encontrado ejemplares de mayor tamaño.

Otro mineral abundante es la caolinita; ésta se observa como una arcilla de color lechoso, que frecuentemente se puede encontrar diseminada en los cortes de las zanjas, en pozos realizados y, en mayor proporción, en las proximidades de la roca madre; así como en los fragmentos de la roca alterada. El cuarzo es un mineral que también se presenta en las lateritas; se observa en fragmentos amorfos casi transparentes en tamaños cercanos a los 6 mm de largo; tales fragmentos se pueden ver diseminados en toda la laterita y también con mayor abundancia, en algunos lentes y finas capas en la base de las lateritas.

El material de lateritas hidroaluminicas concuerda con la estructura relicta de su roca madre, que es piroclástica. En sección delgada se observa que la matriz no está cristalizada, es altamente porosa y rica en hierro. Tiene una textura microclástica pelítica. La cantidad de constituyentes clásticos varía entre 5 y 15 %, los cuales son: anfiboles, feldespatos, cuarzo, biotita y fragmentos de roca. Los anfiboles son alterados indirectamente a gibbsita, mientras que los feldespatos lo hacen directamente, el cuarzo y la biotita se alteran a aluminohidrosilicatos amorfos.

La gibbsita ópticamente reconocible es amorfa en sección delgada y el tamaño de los granos fluctúa entre 50 y 100 micrones. Los granos finos aplanados de gibbsita forman aglutinados porosos o rellenan grietas. Los fragmentos de roca se alteran a un producto fino que no permite definir si es un mineral hidroaluminico o silicoaluminico.

Aparte de la concentración de gibbsita, el valor industrial de los suelos lateríticos es determinado por su distribución. En las muestras estudiadas la gibbsita está finamente distribuida en forma de agregados o nódulos de diferentes tamaños, hasta de 5 mm. En algunos cortes estudiados, la gibbsita o nódulos gibbsíticos se encuentran en una o más bandas de 3 a 4 cm, situados horizontalmente; en esas bandas, el contenido de gibbsita puede alcanzar hasta 80-85 % de los suelos lateríticos en los cuales los concentrados gibbsíticos, pueden ser beneficiados con una alta recuperación en peso. Si se considera el grado de cristalización, un tipo de gibbsita mal cristalizada ocurre en la fracción fina, mientras que las formas bien cristalizadas se encuentran en la fracción gruesa.

Bohemita: Su presencia fue detectada con difracción de rayos X y por espectroscopía infrarroja. Su cantidad no es significativa (alrededor de 2%).

Goethita: Este es el principal mineral de hierro en las formaciones hidroaluminicas de color amarillo. La difracción de rayos X reveló 2 tipos de goethita, detectados por un doble pico: uno de ellos puede ser una fase pura, mientras que la otra es aluminogoethita. Los dos tipos se encuentran en la misma cantidad. Desde el punto de vista de la tecnología de extracción de alúmina, la presencia de goethita no es deseable, porque en altas concentraciones en lodos rojos, presenta características de escasa sedimentación.

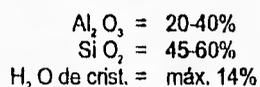
Hematita: De 1 a 2%, el contenido de hierro está en forma de hematita en el suelo laterítico de color amarillo y probablemente en altas concentraciones en el horizonte rojo.

Caolinita: Su presencia no es fácilmente detectable debido a que sus formas bien cristalizadas adquieren un papel secundario en este depósito. Es muy importante que la caolinita en el curso del beneficio, sea concentrada en la fracción final (desechada), debido al tamaño de su partícula.

Illita: Fue detectada por difracción de rayos X en algunos casos. A diferencia de la caolinita, la illita puede no ser lavada y permanecer en la fracción arenosa.

Aluminohidrosilicatos amorfos: Fueron observados mediante pruebas mineralógicas complejas y análisis químicos; estos conjuntamente con la gibbsita, constituyen los minerales más característicos en los suelos lateríticos. En algunos lugares, este mineral ha preservado su morfología cristalina original de feldespato; sin embargo, su estructura cristalina ha sido totalmente colapsada, alterada a un mineral amorfo; el sodio ha sido reemplazado por agua de cristalización.

En los diagramas de rayos X, el mineral amorfo aparece en 2 o 3 picos alargados, su composición química se encuentra entre feldespato y caolinita:



Una propiedad ventajosa de estos componentes es que son completamente insolubles a baja temperatura, esta característica lo acerca al feldespato. Una propiedad desventajosa, es que su alúmina combinada no entra en solución, lo que puede significar pérdidas de 2 a 3% en alúmina. En el curso del beneficio los minerales amorfos se van a la fracción fina donde su concentración puede ser 5 veces más alta que en el material original.

PRINCIPALES ESPECIES MINERALOGICAS

Gibbsita	30.0-50.0 %
Caolinita y Montmorillonita	15.0-30.0 %
Goethita	07.0-13.0 %
Cuarzo	05.0-10.0 %
Hematita	00.5-01.0 %
Bohemita	00.8-01.3 %
Rutilo + Anatasa	01.2 %
Feldespatos	03.5 %
Magnetita	01.5-05.0 %

Actualmente esta región cuenta con los factores favorables para la formación de depósitos lateríticos con alto contenido de alúmina. La laterización de las rocas expuestas en esta área actúa normalmente, debido a que las condiciones son propicias.

VI. PROCESOS METALURGICOS CONTEMPLADOS.

VI.1.- Proceso Bayer.

Este proceso fue creado por Karl Joseph en 1894 para procesar bauxitas europeas con monohidratos de alúmina. Más tarde se descubrió que la alúmina en forma de trihidrato localizada en USA, se disolvía más fácilmente, por tanto se modificó el proceso con una menor temperatura de digestión, presión y concentración cáustica; este método es conocido como el proceso Bayer americano.

En el proceso europeo, la bauxita es digerida a una temperatura entre 170 y 250 °C mientras que en el americano se digiere entre 100 y 150 °C. Estos parámetros se fijan con base en las características del material a tratar.

En el proceso Bayer la bauxita es digerida con solución cáustica bajo condiciones específicas de concentración, temperatura y presión, de acuerdo con sus características. La solución de aluminato de sodio resultante es separada del residuo, llamado lodo rojo y enfriada antes de ser precipitada. Durante la precipitación, al licor de aluminato de sodio le es adicionada semilla de trihidrato de alúmina en partículas finas, la cual causa la precipitación del trihidrato de alúmina adicional (aproximadamente el 50% contenido en el licor). Después de la precipitación, las partículas más pequeñas de trihidrato de alúmina son separadas para utilizarse como semillas, y las partículas más grandes son recuperadas, lavadas y calcinadas para obtener la alúmina como producto final. El lodo rojo separado de la solución es lavado para recuperar solución cáustica y posteriormente desechado.

Con base en observaciones hechas en otras plantas en operación (en Brasil), se estableció que la calidad mínima que debería tener el material laterítico de Tenejapa sería de 35% de Al_2O_3 s y 6% de SiO_2 r (sílice reactiva), valor que estaba por encima de la calidad del mineral natural estudiado. Sin embargo, algunas pruebas realizadas en Brasil sobre el mineral de Chiapas, indicaban la posibilidad de enriquecer su ley por medio de un beneficio mediante una separación granulométrica en húmedo.

Al hacerse los estudios simultáneamente en Brasil y México, los resultados obtenidos fueron substancialmente confiables, con lo que al evaluar los 11 cuerpos de Tenejapa, Larrainzar, Chilil y Petej, se obtuvo un total de 1'678,281 tons. de material concentrado con una calidad promedio de 40.22% de Al_2O_3 s y 4.1% de SiO_2 r.

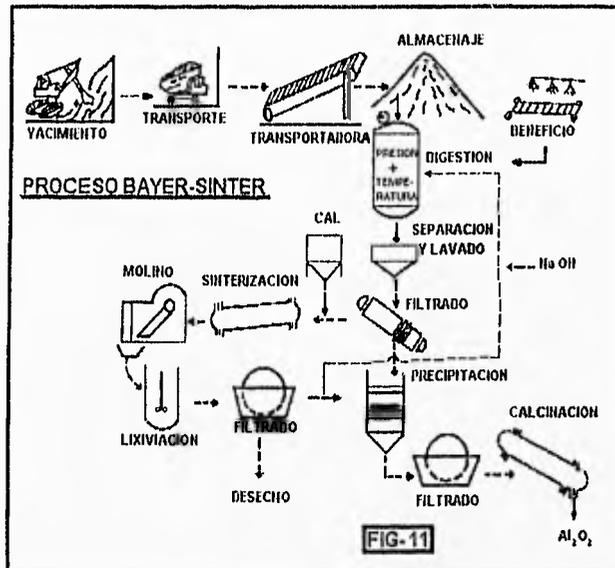
VI.2.- Proceso Bayer-Sinter

En la revisión de resultados efectuada con asesores húngaros, se contemplaron nuevos enfoques con perspectivas promisorias para la explotación de los yacimientos. El proceso Bayer-Sinter de series combinadas fue el que más se adaptó a las características del material de Tenejapa para extracción de alúmina de manera económica; los procesos contemplados se describen a continuación.

- a) Método Bayer-Sinter de series paralelas.- Consiste en tratar una parte del material por metodología Bayer y otra parte por sinterización directa; debe existir idealmente alrededor de 80% de material con calidad Bayer y 20% de calidad inferior para combinar ambos procesos. El material laterítico estudiado no guarda ésta relación debido al bajo potencial del yacimiento con calidad Bayer, por lo que éste método fue descartado.
- b) Método Bayer y tratamiento de lodos por caustización.- El método se basa en la caustización con CaO de los lodos rojos producto de la digestión Bayer, con la finalidad de recuperar el contenido de sodio atrapado en lodos en forma de complejo. Las condiciones estudiadas en cuanto a temperaturas de caustización son a 90, 150 y 250 °C, en los dos primeros casos la recuperación de lodos fluctúa entre 60 y 90% mientras que en el último, además de alcanzar recuperaciones de 90% de sodio, presenta una recuperación de alúmina de aproximadamente 10% respecto a la extraída por método Bayer.
- c) Método Bayer-Sinter de series combinadas.- Este proceso consiste en tratar los lodos rojos de la digestión Bayer, bajo una activación térmica alrededor de 1200 °C con la adición de carbonato de calcio y sodio, para después lixiviar el producto sinterizado; de esta manera, se recupera hasta el 90% del sodio y 85% de alúmina contenidos en el lodo rojo. El licor de aluminato de sodio producto de esta lixiviación es adicionado a la corriente de procesamiento Bayer para la precipitación conjunta del hidróxido de aluminio, mismo que será lavado y calcinado para obtener como producto final alúmina (ver figura 11).

Con base en la aplicación de los dos métodos anteriores se concluyó que el proceso Bayer aplicado directamente al material laterítico presenta dos aspectos que no permiten su aplicación desde el punto de vista económico:

1. Los altos volúmenes que se manejarían debido a la baja concentración de alúmina extraíble (gibbsita) provocaría un volumen exagerado de equipo y un alto costo por efecto de consumo de materias primas.
2. Los elevados contenidos de sílice reactiva, aproximadamente, 12% que traen como consecuencia grandes consumos de reactivos (álcali, principalmente).



Por tanto, el método Bayer-Sinter de extracción ofrece la ventaja de poder procesar materiales de baja ley (desde 20% de Al_2O_3 e aproximadamente) y permite recuperar el sodio acumulado en lodos residuales del procesamiento Bayer y la alúmina proveniente de otros minerales (caolinita, montmorillonita, etc.) que representan alrededor del 40% del contenido total de alúmina en la laterita.

Pruebas preliminares de sinterización-lixiviación a nivel laboratorio realizadas en el C.R.M. de Tuxtla Gutiérrez indican la factibilidad de aplicación de esta metodología a las lateritas de la zona de los altos de Chiapas. En tanto, la evaluación de las reservas consideradas como procesables con este método, se calculó de acuerdo al modelo matemático denominado "método continuo" sugerido por G. Komlossy, y se obtuvo un total de 8'801,834 tons. de material laterítico con una calidad promedio de 37.64% de Al_2O_3 y 12.0% de SiO_2 ; se considera la evaluación de los 11 cuerpos de Tenejapa y los cuerpos de Petej, Chihil, Balhuitz y Larrainzar.

VII. TRABAJOS DESARROLLADOS.

VII.1.- Geología.

Los trabajos geológicos de exploración y cuantificación de reservas, se llevaron a cabo conforme a las siguientes etapas.

- a) Geología regional.- Se basó en la información encontrada en planos geológicos-estructurales del estado de Chiapas, elaborados por el Instituto de Geología de la U.N.A.M., planos geológicos (local y regional) elaborados por PEMEX; planos topográficos, edafológicos y geológicos editados por DETENAL; planos geológico-mineros elaborados por el C.R.M. así como con fotografías aéreas e imágenes de satélite. Además se realizaron visitas a los afloramientos de rocas ígneas extrusivas Intermedias y ácidas para verificar y conformar con estos datos el plano geológico regional.
- b) Geología a semidetalle.- Para definir el comportamiento estratigráfico en cada área fue necesario comprobar la litología aflorante tanto a nivel vertical como horizontal para poder correlacionar las formaciones de las diferentes zonas y conformar el plano geológico local. Con caminamientos se levantaron los datos de los rasgos más importantes de esta zona, como contactos geológicos, rumbos, echados, fracturas, fallas, así como las estructuras observadas y las que se dedujeron con estos datos (anticlinales, sinclinales y cabalgaduras).
- c) Geología a detalle.- En las áreas pequeñas donde se localizaron depósitos aluminíferos de interés y con una complejidad litológica y topográfica, fue necesario realizar trabajos a detalle por lo que se hicieron perforaciones y obras de exploración (pozos y zanjas).

Con base en estos trabajos se tuvo la siguiente cobertura:

TIPO	SUPERFICIE CUBIERTA
Geología regional	5,879.5 km ²
Geología a semidetalle	5,900 has
Geología a detalle	646 has

VII.2.- Topografía.

Los trabajos desarrollados en esta sección fueron a semidetalle en Tenejapa y regional en las otras áreas.

El semidetalle en Tenejapa, consistió en levantar la topografía de los once cuerpos localizados con curvas de nivel cada 10 m y encuadrarlos en una retícula ortogonal

orientada norte-sur y este-oeste. En las otras regiones, los trabajos topográficos consistieron en orientar una línea sobre el cuerpo y con radiaciones se controlaron las distancias entre las perforaciones y el límite del depósito.

Para el primer caso, el punto de partida se ubicó en el km 24 de la carretera San Cristóbal-Tenejapa; en este punto se implantó el sistema de retícula ortogonal con una separación de 100m entre cada línea. Se ligaron a esta retícula, los pozos y zanjas elaborados en algunos cuerpos, y por el método de triangulación se ligaron los cuerpos más retirados (cuerpos I, I', VI, y VIII).

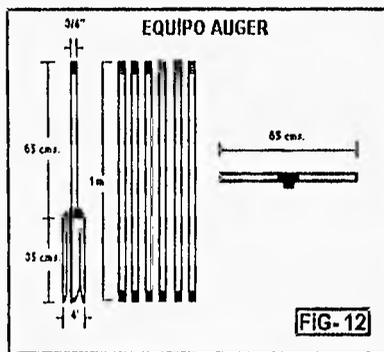
Para el segundo caso (Larrainzar, Petej, Chilil y Balhuitz), el trabajo desarrollado fue independiente entre un cuerpo y otro debido a las distancias existentes entre los mismos. Con ambos tipos de trabajo, se cubrió una superficie de 800 has

VII.3.- Perforación.

El material laterítico existente en cada localidad generalmente es suave, lo que permite así la utilización de equipos manuales de tipo Auger, siendo éste operado por dos personas con lo cual se pueden alcanzar profundidades hasta de 12 m.

Este equipo se compone principalmente de una cuchara muestreadora provista de dos hojas concavas aceradas, de 20-25 cm de longitud y diámetro máximo de 10 cm. Además se complementa con tramos de 1 m de longitud de tubo galvanizado, los cuales son acoplados entre sí para obtener la profundidad deseada.

La perforación efectuada fue de dos tipos, una de evaluación y otra de exploración. En los dos casos se utilizó el maneral tipo Auger (ver figura 12) manejado por dos técnicos con la supervisión de un ingeniero geólogo. La perforación evaluativa se realizó sobre los cuerpos localizados en la retícula topográfica; la distancia entre los barrenos fue de 100 m en el centro del cuerpo y de 10 a 20 m en la periferia del mismo para definir sus límites.



La profundidad promedio que se registró en los cuerpos varió entre 6 y 8 m; los barrenos fueron suspendidos al tocar roca alterada o en la roca subyacente (arenisca, toba ó lutita).

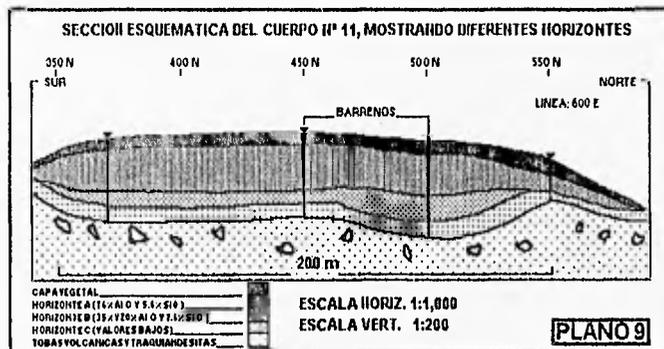
La perforación se efectuó con brigadas compuestas por un ingeniero geólogo, dos técnicos y tres o cuatro peones. Los lugares seleccionados para exploración se definieron por sus guías litológicas y morfológicas favorables. En estas zonas, la profundidad fue muy variable, entre 1 y 8 m. El número de barrenos y metros acumulados se presenta en el tema siguiente por ser actividades paralelas.

VII.4.- Muestreo.

Como en la perforación, el muestreo se realizó con los enfoques de exploración y de evaluación. Para el primer caso, la muestra se colectó a cada 0.5 o 1 m de material perforado (según el caso) desde la superficie hasta tocar roca alterada o roca subyacente sin recuperar la capa vegetal. De esta manera, se delimitaron con mayor precisión las diferentes capas de material bauxítico en cada localidad.

Este tipo de muestreo se llevó a cabo en las zonas de mayor viabilidad en toda la reserva minera y fuera de ella, pero dentro del estado de Chiapas, con la finalidad de aumentar reservas.

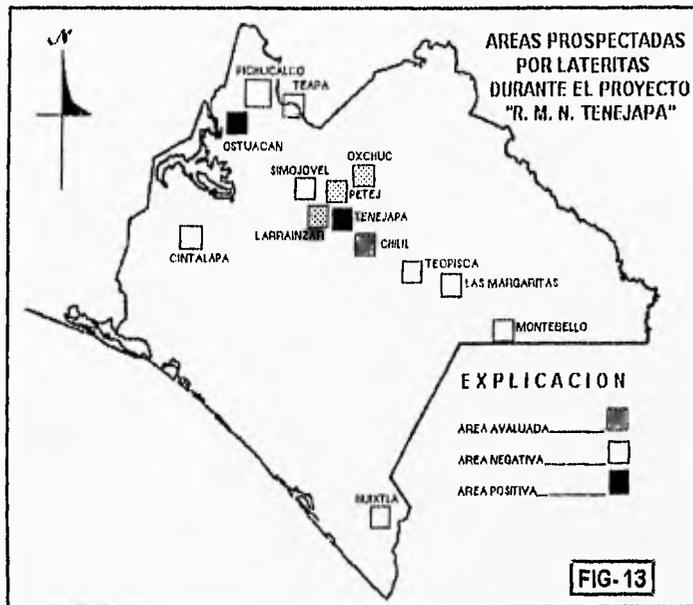
En el muestreo de evaluación, primero se efectuó la recuperación de todo el horizonte mineralizado según observación megascópica en campo, pero este método no dio resultado, en su lugar se realizó un muestreo más detallado con objeto de separar los horizontes ricos A y B, y el estéril C, con un número menor de muestras para analizar y evaluar (ver plano 9).



Debido a los resultados negativos obtenidos, se decidió evaluar los yacimientos conocidos y las nuevas áreas; se hizo un muestreo sistemático a cada metro de profundidad, sin tomar en cuenta la capa de suelo orgánico; se recuperó dicho

material hasta llegar a la base del paquete mineralizado. A partir de ésta base se perforó un metro más para comprobar la zona estéril. En cada barreno, fue necesario hacer una descripción megascópica de campo para cada muestra recuperada, la cual quedó registrada y guardada en bolsas de polietileno con sus coordenadas respectivas e intervalo recuperado.

De este modo y para ambos tipos de muestreo, a continuación se presentan las muestras colectadas, los barrenos realizados y los metros acumulados en las diferentes zonas reconocidas durante el proyecto (ver figura 13 y tablas).



AREAS EVALUADAS

AREA	BARRENOS EFECTUADOS	METROS PERFORADOS	MUESTRAS COLECTADAS
Tenejapa	1,818	8,558.0	10,401
Petej	115	333.3	461
Larrainzar	123	427.0	546
Balhuitz	32	85.0	159
Chilil	19	51.9	790
TOTAL	2,107	9,455.2	11,646

ÁREAS EXPLORADAS EN EL ESTADO

Oxchuc	25	58.8	114
Los Bautistas	16	31.5	60
Cruz Quemada	13	33.4	65
Pichucalco-Juárez	33	124.5	209
Pichucalco-Teapa	13	40.5	77
Montebello	24	58.8	67
Ostuacán	10	40.3	70
Teopisca	8	15.0	29
San Vicente	5	7.5	15
Aguaje	5	13.0	26
Navenchauc	4	8.5	17
Pueblo Nuevo	4	8.0	14
Cintalapa	3	2.0	5
Joigelito	2	4.0	9
San Felipe	1	4.6	2
TOTAL	166	450.5	779

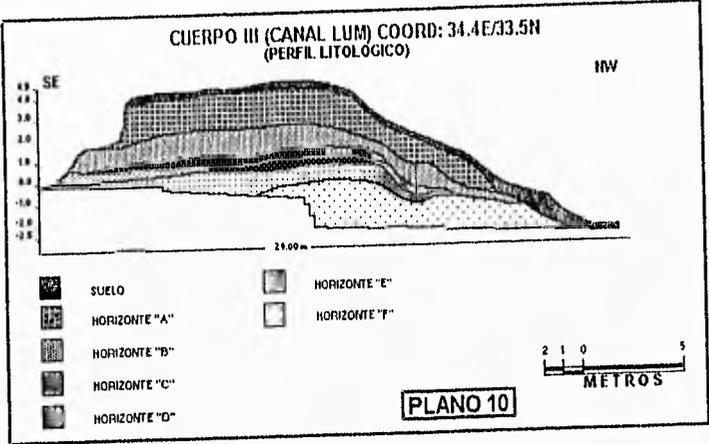
Con algunas de estas muestras, se realizaron diferentes estudios en los laboratorios del C.R.M. en Tuxtla Gutiérrez y en la cd. de México en la Comisión de Fomento Minero, Comisión Federal de Electricidad, Secretaría de Recursos Hidráulicos, así como en Brasil y Hungría.

VII.5.- Obras de exploración.

Para observar físicamente el comportamiento del paquete laterítico a profundidad, se realizaron pozos y zanjas en algunos de los cuerpos del área de Tenejapa principalmente. Los pozos realizados se cavaron hasta tocar roca alterada o estéril, con una profundidad promedio de 7 m y 1 m de sección. En total fueron terminados 17 pozos, de los cuales 8 están en el cuerpo III, 2 en el IV, 3 en el I, 2 en el I', 1 en el II y 1 en el V, en el área de Tenejapa. Para realizar estas obras se removieron 159 m³ de material laterítico.

De igual manera y con objeto de aclarar las diferencias de los análisis encontrados en barrenos adyacentes fueron cavadas cuatro zanjas en lugares donde existía la duda; así se pudo comprobar que esto se debe a la presencia de horizontes y lentes con coloración y textura diferentes debido a un mayor grado de lixiviación en los cuerpos III y V. Estas obras se profundizaron hasta cruzar el horizonte estéril o encontrar roca alterada (ver plano 10).

Las dimensiones de las zanjas 1, 2 y 4; tienen 1 m de ancho por 6 m de profundidad por 23 m de longitud y la zanja 3 tiene 2 m de ancho por 8 m de profundidad por 25 m de longitud. El volumen removido de material laterítico fue de 415.7 m³.



VIII. CUBICACION DE RESERVAS.

VIII.1.- Criterios de evaluación.

Bajo el principio de que la alúmina total es la suma de la alúmina que se encuentra como gibbsita (extraíble), más aquella que forma parte de otros minerales como la caolinita, la montmorillonita, etc., se concluyó que para fines de cálculo preliminar de reservas, se tiene un factor de 1.2 donde:

$$\begin{aligned} \% \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (no ext.)} / \% \text{SiO}_2 \text{ (reac.)} &= 1.2 \\ \% \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (t)} &= \% \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (ext.)} + (1.2 \times \% \text{SiO}_2 \text{ reac}) \end{aligned}$$

El yacimiento localizado en la zona de los altos de Chiapas, comprende las áreas de Tenejapa, Petej, Larrainzar, Balhuitz y Chillil y fue evaluado bajo dos criterios diferentes:

- a) Cuantificar reservas de material procesable económicamente por metodología Bayer.
- b) Cuantificar reservas de material procesable económicamente por una metodología alternativa al Bayer.

Estos criterios de evaluación se establecieron con base en las características propias del yacimiento y para tener una apreciación más flexible de la posibilidad de procesar económicamente los minerales identificados.

- a) Cálculo de reservas para material beneficiado.

En el informe "Prospección de Bauxitas en México" emitido por asesores brasileños a raíz de su visita al yacimiento en diciembre de 1983, se establece como parámetro mínimo de calidad de una bauxita procesable por metodología Bayer, una relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 5.83$. Debido a que la calidad del material natural en el yacimiento se encuentra por debajo de esta relación, se desarrolló una metodología de beneficio que permitirá incrementarla. La metodología de beneficio consiste en una separación granulométrica mediante un tamizado (+100 mallas) previa disgregación del material, en una proporción de 30 % de sólidos en base seca. La disgregación se realiza con un equipo de atrición, utilizando 600 r.p.m. durante 10 minutos.

Para la evaluación de los cuerpos del I al V de Tenejapa, se beneficiaron todas las muestras colectadas, y para fines de reserva se consideraron únicamente aquellas cuya relación es $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 5.83$. En el caso de los cuerpos VI al X, el beneficio no se practicó sobre todas las muestras, sino que, únicamente en muestras representativas. Las muestras consideradas para las áreas de Larrainzar, Petej, Balhuitz y Chillil, fueron todas aquellas cuyo contenido de Al_2O_3 en muestras naturales

es mayor del 20%, esto obedece a que una muestra con mejor calidad, al ser beneficiada, no alcanza la relación antes mencionada.

b) Cálculo de reservas para material natural.

En noviembre de 1984, asesores húngaros visitaron el área y con base en los resultados preliminares, sugirieron evaluar el yacimiento con nuevos enfoques. Puesto que existen métodos alternativos como el Bayer-Sinter para tratar bauxitas de bajo grado, sugirieron que para tomar una muestra con posibilidades de procesamiento, la mínima calidad en términos de alúmina soluble, debía ser de 20 %. Con objeto de obtener las reservas potenciales de este yacimiento y para determinar las diferentes calidades por Al_2O_3 ,s y SiO_2 ,r en material natural, se utiliza una integración matemática de valores, formando variaciones de calidad y tonelaje. A esta forma de cálculo se le denomina "método continuo" que difiere de los métodos tradicionales de cálculo aplicados a diferentes tipos de corte de material.

VIII.2.- Metodos de Cubicación.

a) Cálculo de reservas para material beneficiado.

Para este cálculo se consideraron los siguientes factores: peso volumétrico seco, tonelaje de material sin beneficiar, recuperación de material concentrado, tonelaje de material concentrado, contenido de Al_2O_3 ,s y SiO_2 ,r.

Cálculo de volumen.

De acuerdo con el área de influencia de cada barreno y el espesor correspondiente se cuantificó el volumen para integrarlo en forma global a cada cuerpo. La superficie de cada uno de los cuerpos resultó de la integración correspondiente al área de influencia de cada barreno analizado. Las fronteras de cada uno de estos cuerpos fueron delimitadas con base en resultados de análisis químicos y en observaciones de campo. Dicha área, fue determinada para su integración en los planos correspondientes de acuerdo con un polígono, cuyo límite es la distancia media con los barrenos vecinos o en su caso con los límites del cuerpo y su valor se determinó mediante el uso de planímetro. La recuperación de muestras se efectuó íntegramente metro a metro y en ocasiones a 50 cm (según la litología), lo que permite, mediante los resultados de análisis químicos de cada intervalo recuperado, determinar el espesor aprovechable.

Peso volumétrico.

El cálculo de tonelaje de este tipo de material debió de referirse al peso volumétrico seco, cuyo valor resulta de gran importancia en un cálculo real de reservas. Por lo tanto, se inició el cálculo del material seco contenido en cada metro cúbico de material "in situ", para este efecto, se recurrió a laboratorios especializados en mecánica de suelos de la Comisión Federal de Electricidad y de la Secretaría de Agricultura y

Recursos Hidráulicos, los cuales usaron para su determinación, los métodos de recuperación de muestras inalteradas, y calas "in situ"; de esta manera se obtuvo un valor promedio de 0.7 toneladas por metro cúbico.

Tonelaje de material natural.

Este parámetro resulta de multiplicar el volumen cuantificado por el peso volumétrico seco, así se obtiene un tonelaje de material en base seca.

Recuperación del material concentrado. (% retenido).

El porcentaje de recuperación promedio en el cuerpo se obtiene con el porcentaje de retenido de cada barrenado y su área de influencia en una relación proporcional al área total del cuerpo.

Material beneficiado.

Se denomina material beneficiado a aquel que ha sido concentrado, y que alcanza una calidad dentro de la relación $Al_2O_3 s / SiO_2 r \geq 5.83$. Para obtener el tonelaje, se multiplica el tonelaje de material natural afectado por el porcentaje de recuperación promedio. Los resultados de esta cuantificación se presentan en la tabla No. 1.

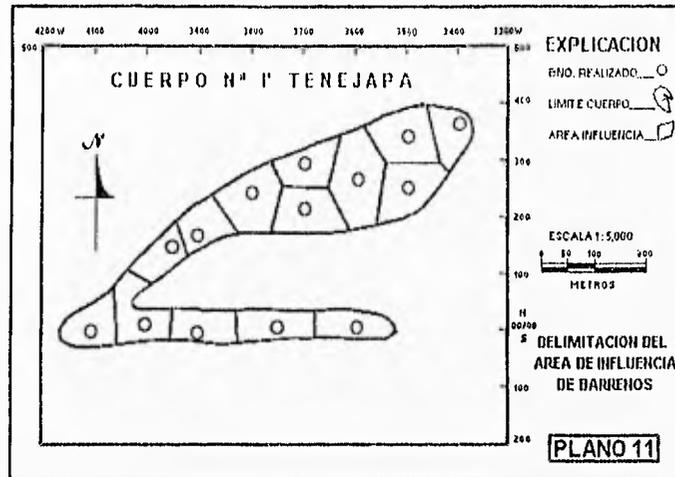
b) Calculo de reservas para material natural.

A continuación se describen los pasos a seguir para la aplicación del Método Continuo para el cálculo de reservas.

Método Continuo para Calculo de Reservas.

- 1.- Delimitar en la superficie el cuerpo en cuestión (ver plano 11).
- 2.- Selección de puntos de muestreo, distribuidos dentro del cuerpo en una retícula de 100 x 100 m.
- 3.- Barrenación, recolección de muestras metro a metro y análisis químico de éstas.
- 4.- Fijar parámetros de $Al_2O_3 s$ y $SiO_2 r$ para las diferentes variaciones.

VARIACION	% $Al_2O_3 s$	% $SiO_2 r$
1	$\geq 20 \%$	$\leq 8 \%$
2	$\geq 20 \%$	$> 8 y \leq 10 \%$
3	$\geq 20 \%$	$> 10 y \leq 12.5 \%$
4	$\geq 20 \%$	$> 12.5 y \leq 15 \%$
5	$\geq 20 \%$	$> 15 \%$



5.- Trazar poligonales para cada barreno.

6.- Calcular el área de cada polígono.

7.- Conforme a los parámetros establecidos de Al_2O_3 s y SiO_2 r, marcar cada intervalo del barreno con la variación correspondiente. Lo anterior permite conocer el espesor aprovechable de cada barreno y así el volumen.

8.- Agrupar todas las muestras que acusen el mismo rango de calidad (variación).

9.- Integrar matemáticamente los resultados obtenidos para cada variación, y de esta manera calcular su tonelaje y ley promedio.

10.- Al volumen de material con una ley promedio para las muestras con variación 1 se le asigna calidad 1. A la integración matemática de los resultados obtenidos para la variación 1 con los resultados de la variación 2 se le denomina calidad 2. Así sucesivamente hasta llegar a la calidad 5.

11.- Los diferentes módulos de calidad se obtienen mediante el cociente de Al_2O_3 s/ SiO_2 r para cada una de ellas. Estos módulos se grafican contra el tonelaje correspondiente; se puede conocer en un punto, qué calidad representa y a qué tonelaje corresponde.

Los resultados de esta cuantificación se presentan en la tabla No. 2 y en la gráfica No. 1:

TABLA No. 1
RESERVAS DE ALUMINA BAYER

CUERPO No.	SUPERFICIE m ²	VOLUMEN m ³	MAT. BASE SECA ton.	RETENID O %	MAT. BENEF. tons.	LEY Al ₂ O ₃ s
TENEJAPA I	289,892	898,667	629,067	33.0	207,592	39.0
TENEJAPA I'	16,750	28,836	20,185	30.8	6,213	44.6
TENEJAPA II	120,856	358,020	250,614	32.0	80,196	40.0
TENEJAPA III	407,880	1'080,883	756,618	31.0	234,572	42.0
TENEJAPA IV	453,725	969,551	678,686	32.7	221,862	40.8
TENEJAPA V	172,054	362,183	253,528	35.6	90,205	39.9
TENEJAPA VI	268,496	590,691	413,484	29.3	121,151	42.1
TENEJAPA VII	72,520	145,040	101,528	32.2	32,692	41.2
TENEJAPA VIII	82,971	174,239	121,967	26.5	32,321	39.8
TENEJAPA IX	336,547	370,202	235,587	30.4	78,779	38.6
TENEJAPA X	74,221	185,552	121,887	34.0	44,161	41.1
LARRAINZAR	711,662	937,418	656,191	26.8	175,804	37.4
PETEJ	922,190	1'505,039	1'053,527	30.7	323,433	40.23
CHILIL	85,233	42,616	29,831	18.68	5,572	38.77
BALHUITZ	92,441	121,277	84,894	27.95	23,728	40.26
TOTAL	4'107,438	7'770,212	5'407,594	31.03	1'678,28	40.22

TABLA No.2

RESERVAS DE ALUMINA PROCESABLE POR METODOLOGIA BAYER-SINTER

CUERPO No.	SUPERFICIE m ²	VOLUMEN m ³	MATERIAL BASE SECA tons.	Al ₂ O ₃ t %
TENEJAPA I	300,861	1'060,718	742,503	38.67
TENEJAPA I'	100,333	226,178	158,325	40.76
TENEJAPA II	120,856	468,425	327,897	38.65
TENEJAPA III	600,212	1'937,696	1'356,387	37.50
TENEJAPA IV	592,535	1'468,632	1'028,042	36.92
TENEJAPA V	895,831	1'615,450	1'130,815	36.92
TENEJAPA VI	311,442	735,950	515,165	37.76
TENEJAPA VII	175,169	559,071	391,350	34.23
TENEJAPA VIII	93,714	204,160	142,924	36.68
TENEJAPA IX	364,853	528,258	369,780	36.94
TENEJAPA X	74,221	211,195	147,837	39.18
LARRAINZAR	816,945	1'203,161	842,213	38.2
PETEJ	1'146,306	1'969,290	1'378,503	38.99
CHILIL	85,233	111,233	78,034	40.60
BALHUITZ	199,765	274,370	192,059	32.41
TOTAL	5'880,276	12'574,031	8'801,834	37.64

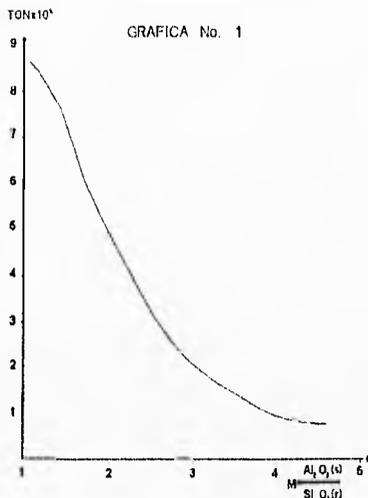


TABLA No. 3
RESERVAS DE MATERIAL "IN SITU"

CUERPO No.	SUPERFICIE m ²	VOLUMEN m ³	ESPESOR PROMEDIO	MAT. BASE SECA tons.	ENCAP E m ³	Al ₂ O ₃ t %
TENEJAPA I	300,861	1'060,718	2.5	742,503	114,327	38.67
TENEJAPA I'	100,333	226,178	2.2	158,325	41,136	40.76
TENEJAPA II	120,856	468,425	3.8	327,897	60,428	38.65
TENEJAPA III	600,212	1'937,696	3.2	1'356,387	271,845	37.50
TENEJAPA IV	592,535	1'468,632	2.4	1'028,042	219,238	36.92
TENEJAPA V	895,831	1'615,450	1.8	1'130,815	286,666	36.92
TENEJAPA VI	311,442	735,950	2.3	515,165	105,890	37.76
TENEJAPA VII	175,169	559,071	3.2	391,350	49,049	34.23
TENEJAPA VIII	93,714	204,160	2.1	142,924	29,988	36.68
TENEJAPA IX	364,853	528,258	1.4	369,780	131,347	36.94
TENEJAPA X	74,221	211,195	2.8	147,837	24,438	39.18
LARRAINZAR	816,945	1'203,161	1.4	842,213	319,557	38.2
PETEJ	1'146,306	1'969,290	1.7	1'378,503	424,873	38.99
CHILIL	85,233	111,233	1.3	78,034	17,047	40.60
BALHUITZ	199,765	274,370	1.3	192,059	77,908	32.41
TOTAL	5'680,276	12'574,031		8'801,031	2'050,094	37.64

En la tabla No.2 la columna correspondiente al %Al₂O₃, es el porcentaje que se esperarla obtener al aplicar el método Bayer-Sinter para extracción de alúmina, y por tratarse de un valor en términos de alúmina total, su cálculo indirecto se obtiene por la expresión % Al₂O₃ t = % Al₂O₃ s + 1.2 (SiO₂ r).

Como el método continuo permite evaluar diferentes categorías de reservas, desde el punto de vista económico sería necesario comparar los costos de producción para diferentes calidades y de esta forma establecer la calidad mínima, para así conocer el potencial procesable económicamente por metodología Bayer-Sínter.

IX. PROSPECCION MINERA EN OTRAS AREAS.

Con el objeto de incrementar reservas, durante el desarrollo de este proyecto, se realizaron trabajos a semidetalle en las áreas de Oxchuc, Los Bautistas y Cruz Quemada, y con menor detalle en Joigelito, Navenchauc, San Felipe, El Aguaje, San Vicente y Teopisca; correspondiente a la zona de los Altos de Chiapas. También se realizaron trabajos de exploración en otras zonas del estado, tales como, Cintalapa, Pueblo Nuevo, Pichucalco-Estación Juárez, Pichucalco-Teapa, Montebello, Santo Domingo, Lacandona y en fechas recientes Ostucán. Las observaciones en cada región se presentan a continuación.

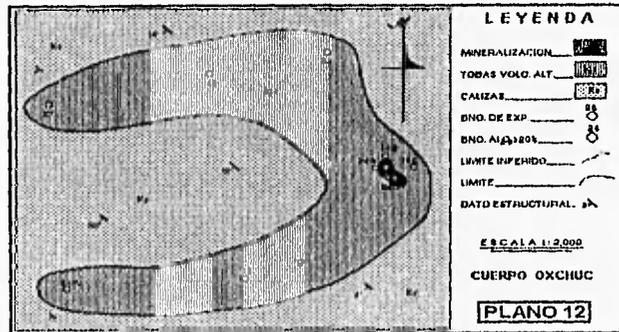
Oxchuc.

Al este de Tenejapa, mas o menos a 10 km en línea recta (ver plano 1).

Generalmente en el área se encuentran distribuidos sedimentos calcáreos, así como de tipo continental en menor escala.

Para esta zona se realizaron en total 25 barrenos de exploración, localizados principalmente en dos zonas, las cuales resultaron de interés en muestreos preliminares (Oxchuc y Ochoch), con una recuperación de 114 muestras. De la perforación realizada resultaron 8 barrenos positivos con valores mayores de 20 % de Al_2O_3 .

Se pudo observar en esta zona que la acumulación de material laterítico es de origen volcánico, el cual se encuentra depositado sobre pequeñas dolinas y terrazas morfológicas formadas sobre las mismas rocas cretácicas, que por sus características cársticas, hacen que estas localidades queden restringidas, lo cual resta continuidad a los cuerpos mineralizados (ver plano 12).



Por sus pequeñas dimensiones, Oxchuc no se consideró en la evaluación final.

Los Bautistas y Cruz Quemada.

Se localizan al noroeste de San Cristóbal las Casas aproximadamente a 8 km en línea recta (ver plano 1).

Al igual que Oxchuc, presentan las mismas características geológicas. Se observó que el material laterítico en su mayoría es de origen volcánico y se encuentra sobre calizas cretácicas de tipo cárstico.

Se realizaron 29 barrenos de exploración, los cuales indicaron la presencia de material bauxítico con valores interesantes de alúmina. Posteriormente fue necesario realizar trabajos a semidetalle para limitar algún cuerpo mineralizado de interés.

De los barrenos realizados a semidetalle, algunos resultaron de interés, aunque no todos respondieron al pre-beneficio. Estas áreas quedaron excluidas debido a los valores bajos de alúmina y de retenidos, los depósitos son cuerpos pequeños y discontinuos además de que las localidades de mayor interés se encuentran pobladas.

Joigelito, Navenchauc, San Felipe, El Aguaje, San Vicente y Teopisca.

Regiones localizadas en los alrededores de San Cristóbal las Casas, (SE y W principalmente) en un radio de influencia no mayor de 25 km (ver plano 1).

Generalmente contienen depósitos de material de origen volcánico, como tobas andesíticas, las cuales se encuentran sobre rocas sedimentarias calcáreas muy cársticas.

Para cada zona estudiada fue programada y realizada una barrenación preliminar para conocer sus características tanto mineralógicas como litológicas y ver las posibilidades de acumulación laterítica. Los trabajos se efectuaron siguiendo el mismo criterio de exploración ya que la mayoría presentaban rasgos tanto geológicos como morfológicos favorables a las áreas ya reconocidas.

Todos los barrenos analizados (25), resultaron con leyes de alúmina inferiores al 15 %, por lo que estas áreas fueron también descartadas.

Pueblo Nuevo (Simojovel) y Cintalapa.

Se localizan a 45 y 60 km en línea recta al noreste y poniente, respectivamente, de la ciudad de San Cristóbal de las Casas (ver plano 1)

Estas áreas fueron seleccionadas para prospectar por bauxitas, de acuerdo a sus características geológicas favorables. Al igual que las anteriormente descritas,

también en éstas se programó y realizó perforación y muestreo preliminar; con 7 barrenos y 19 muestras, se obtuvieron valores negativos en los primeros análisis químicos realizados en esta etapa. Se concluyó que la acumulación laterítica en ambas regiones aún se encuentra en proceso de formación, por lo que los trabajos desarrollados fueron escasos.

Montebello, Santo Domingo y Lacandona.

Se localizan aproximadamente a 130 km al sureste en línea recta de la ciudad de San Cristóbal de las Casas; quedan comprendidas entre los municipios de Trinitaria, Las Margaritas, y Ocosingo (ver plano 1).

Geológicamente la zona no presenta grandes posibilidades de contener cuerpos lateríticos mineralizados para una posible explotación, debido a que prácticamente esta cubierta por rocas calcáreas cretácicas de tipo cárstico, encontrándose con frecuencia mucha discontinuidad en los depósitos lateríticos. En esta región se realizaron 24 barrenos de exploración con los cuales se recuperaron 67 muestras. Mediante análisis químico se observó que sus leyes son bajas, por lo que no se hicieron trabajos de semidetalle.

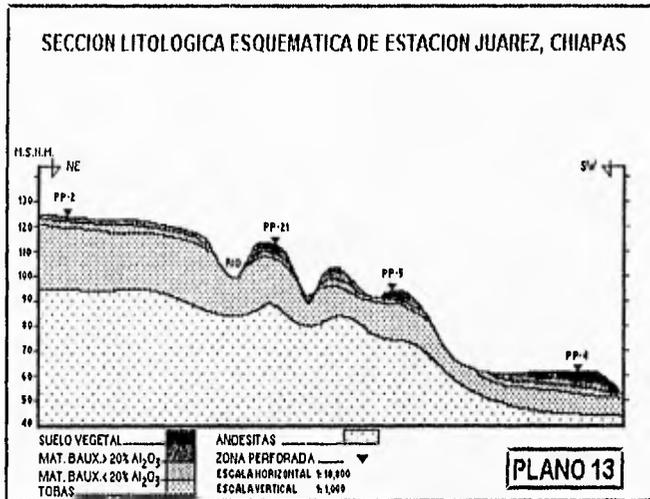
El área mas interesante se encuentra localizada en la zona denominada Parque Nacional Montebello. Ahí la mayoría de los barrenos realizados resultaron positivos para material natural, pero al beneficiarles se observó que su retenido no rebasaba al 10 % y sus leyes fueron del 22 al 27 % de alúmina. Las localidades restantes fueron negativas (ver plano 1).

Pichualco-Estación Juárez y Pichualco-Teapa.

Esta region se encuentra al noreste de Tuxtla Gutiérrez, a 100 km aproximadamente en línea recta (ver plano 1), al igual que las áreas anteriores, estas fueron seleccionadas con base en sus antecedentes (trabajos anteriores C.F.E.) y por presentar características litológicas favorables.

Para su reconocimiento se programaron y realizaron 46 barrenos de exploración, de tal manera que en su mayoría cubrieran cada uno de los derrames andesíticos, los cuales se encuentran coronados por paquetes lateríticos hasta de 6 m de espesor. Todos los barrenos se ubicaron en la parte superior de cada localidad con el objeto de explorar verticalmente el mayor espesor posible.

De acuerdo a los barrenos realizados, la region que presentó mayores posibilidades fue Pichualco-Estación Juárez, pudiendo limitar con exploración a semidetalle un cuerpo mineralizado de forma irregular, denominado "Puente Seco". En éste se hizo semidetalle y se obtuvieron leyes, espesores y retenidos bajos en la primera etapa de evaluación. Por estas razones no se continuaron los trabajos (ver plano 13).



Pichucalco-Teapa, se reduce a una pequeña zona limitada por 8 barrenos cuyas muestras no arrojaron buenos resultados, de tal forma que se decidió concluir la exploración.

Ostuacan.

Durante los trabajos de exploración y muestreo realizados en Estación Juárez, y considerando su cercanía, se consideró ampliarse a otra zona volcánica, por presentar características geológicas y litológicas de interés, la cual se encuentra en la municipalidad de Ostuacan, Chiapas, localizada aproximadamente a 80 km en línea recta al noreste de Tuxtla Gutiérrez y a 20 km al suroeste de Estación Juárez, esta zona; cuenta con carretera pavimentada, terracerías y la estación Crimea de ferrocarril (ver plano 1).

En total se muestrearon 11 localidades de las cuales 10 resultaron con valores de interés (contenidos mayores de 20 % de Al_2O_3) para material natural, así como para material beneficiado. Cabe señalar que fueron localizadas calidades superiores a 30% de Al_2O_3 y valores bastante bajos de SiO_2 (inclusive menores de 5 %), en muestras localizadas a profundidades de 4 a 5 m. Este muestreo se realizó dentro del derrame volcánico de tipo intermedio (andesita y brechas volcánicas).

Como el muestreo realizado apenas cubre una superficie equivalente a la cuarta parte aproximadamente del derrame, se recomienda continuar con la exploración para cubrirlo totalmente y delimitar cuerpos posibles para una futura cubicación. Los espesores y la calidad de los diferentes cuerpos deberán ser definidos en un programa específico.

En Estación Juárez, Pichualco y Ostuacñan, cuerpos lateríticos se han formado sobre una morfología ligeramente ondulada. Esto prueba que cualquier región es susceptible de desarrollar mineralización, ya que Estación Juárez y Ostuacán tienen entre 100 y 400 m.s.n.m. a diferencia de Tenejapa, Larrainzar, etc. que tienen entre 2,200 y 2,500 m.s.n.m..

X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La prospección geológica realizada permite afirmar que la laterización en Tenejapa, se originó por un intemperismo "in situ" que actuó sobre rocas volcánicas de composición intermedia a ácida.

En términos generales, se ha observado que los depósitos importantes se encuentran sobre rocas sedimentarias, cuya edad varía del Cretácico al Eoceno, en forma de capas o lentes y a veces como relleno de dolinas. De acuerdo a la mineralogía que presenta el yacimiento de Tenejapa y tomando la clasificación de Voros I, 1979, el material en estudio corresponde a una bauxita arcillosa.

En el yacimiento de Tenejapa es posible obtener bauxitas de grado comercial, mediante una disgregación y separación granulométrica en húmedo; sin embargo, para fines prácticos la recuperación promedio lograda es sensiblemente baja (31%). Esto se traduce en una operación de prebeneficio incostruible por los enormes volúmenes de rechazo, aparte de que el tonelaje de bauxita cuantificado con esta práctica (1 millón 700 mil toneladas de mineral con 40.2% de Al_2O_3 soluble y 4.5% de SiO_2 reactiva), es insuficiente para satisfacer las necesidades de una planta con la mínima capacidad de procesamiento económico, considerada en por lo menos 100 mil toneladas de alúmina por año. Este panorama puede mejorar si se estudian otros métodos de prebeneficio que permitan recuperar las gibbsitas perdidas en las colas del beneficio. A pesar de ello, se considera que los delgados espesores de capa beneficiable, y las demás características de estos depósitos, son condiciones que no permiten por el momento poder definir la factibilidad de explotación del yacimiento a partir del prebeneficio.

De acuerdo a observaciones hechas por asesores extranjeros que han apoyado este proyecto, los depósitos de Tenejapa y alrededores pueden considerarse de interés no solo para la aplicación de métodos de prebeneficio que permiten recuperar bauxitas de grado comercial, sino que el contenido de alúmina total ofrece la posibilidad de contemplar este mineral bajo procesos alternativos al Bayer. Las pruebas de laboratorio realizadas bajo este esquema y las reservas cubicadas considerando los márgenes de calidad que permiten estos métodos de extracción (8 millones 800 mil toneladas de mineral con una ley promedio de alúmina total de 37.6%), permiten definir la necesidad de analizar sobre esta posibilidad mediante un estudio de prefactibilidad técnico-económico.

De las zonas que fueron prospectadas adicionalmente a la "Reserva Minera Nacional Tenejapa", resalta la conocida como Ostuacan, Chis. La calidad del material y los espesores que se midieron, exponen una zona que por sus características determinadas en los primeros estudios, se puede considerar de mucho interés por lo que se recomienda hacer un estudio completo de esta zona.

JAVIER MARCELINO PEREZ VARGAS

Puede afirmarse que el trabajo efectuado por el C.R.M. en este proyecto, es uno de los más completos y tecnológicamente mejor soportados en la exploración por bauxitas en México.

BIBLIOGRAFIA

Karst bauxitic, bauxite deposits on carbonate rocks.

Gyorgy Bardossy.

Elsevier scientific publishing company, 1982

Geología de semidetalle del área localizada al sur de Tenosique, Tabasco y noreste del estado de Chiapas, entre los 91° 15' y 91° 44' de longitud al oeste de Greenwich y los 17° 15' y 17° 31' latitud norte.

Mario Brizuela Venegas

Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1981.

Informe de exploración por menas aluminosas en la Republica Mexicana.

Ings. R. L. Quintus Bosz y Ernesto Wing Morales.

Consejo de Recursos Naturales no Renovables, 1967-1970.

Informe de visita al estado de Chiapas.

R. L. Quintus Bosz.

Consejo de Recursos Naturales no Renovables, 1968.

Informe geológico sobre la exploración de hidróxidos de aluminio en el estado de Chiapas.

Ing. Raúl Perlasca

Comisión Federal de Electricidad, 1980.

Exploración y evaluación por menas aluminosas en el área Tenejapa, estado de Chiapas.

Amado Morales

Tesis profesional, IPN, 1986.

Informe final lateritas Tenejapa, Chiapas.

Ings. J. Vargas B., J. Corla C., A. Morales y M. Orozco.

Consejo de Recursos Minerales, 1986.

Estudios por bauxita y procesos de extracción de alúmina.

Ing. Jorge Corla C.

Comisión Federal de Electricidad, 1980.

Geología de México (Tomos I y II).

Eduardo López Ramos.

1979.

Deriva continental y tectónica de placas.

J. Tuzo Wilson, J. R. Heirtzler.

1963, 1968.

Breve resumen de la teoría de la tectónica de placas.
J. C. Carfantan.
Conferencia, 1995.

Rasgos estructurales y paleogeográficos del sureste de México y su paso al Caribe.
J. C. Carfantan.
Conferencia, 1995.

Geología petrolera de la Sierra de Chiapas.
R. Sánchez Montes de Oca.
PEMEX, 1978.

On the conclusions and findings of the Mexican CRMs. bauxitic project.
Drs. Gyorgy Komlossy and Peter Siklosi.
UNIDO mission, 1984.

On findings and conclusions to the CRMs. bauxitic project.
Dr Gyorgy Komlossy.
UNIDO mission, 1985.

Pesquisa de bauxita no México, relatório preliminar.
R. Assad, M. Fiuza, D. H. Lindenmayer.
Consejo de Recursos Minerales, México-Brasil, 1983.

Techno-economic study for the commercial extraction of alumina from bauxitic clays.
Gyorgy Komlossy, Zsolt Csillas.
ALUTERV-FKI, 1987

1^{ER} Simposium sobre aluminio.
Facultad de Química.
UNAM 1985.

Principles of geomorphology.
William B. Thornbury.
John Wiley and sons.

Yacimientos minerales de rendimiento económico.
Alan M. Bateman.
Omega, tercera edición.

Provincias fisiográficas de la República Mexicana.
Humphrey (1958), Raiz (1964)
Modificada por alumnos de campo general y avanzado de la Facultad de Ingeniería,
UNAM.

PLANOS E ILUSTRACIONES

Los planos y las ilustraciones se colocaron en los capítulos correspondientes.