

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS**  
**COLEGIO DE GEOGRAFIA**

**ESTUDIO GEOLOGICO ECONOMICO DEL  
CENTRO DEL ESTADO DE OAXACA EN  
EL SUR DE MEXICO.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**DOCTOR EN GEOGRAFIA**  
**P R E S E N T A**

**GENARO CORREA PEREZ**  
**—————**

**México, D. F**

**1967**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

A MIS PADRES

HERMANOS

Y FAMILIARES

A MIS MAESTROS

Y AMIGOS.

## I      I n t r o d u c c i ó n

La cantidad de minerales para el uso del hombre es limitada y constituye el producto de procesos geológicos durante períodos que suman millones de años.

Estos recursos no son renovables. Una vez extraídos y usados, no vuelven a generarse en un futuro previsible.

La civilización moderna utiliza cada día volúmenes increíbles en materias minerales.

El crecimiento demográfico y económico de México plantea un problema decisivo: ¿Con cuánto dispone y por cuánto tiempo dispondrá de los recursos minerales para su progreso creciente?

La respuesta depende de la posibilidad de descubrir nuevas reservas y de aprovecharlas racionalmente.

Como se ha pretendido que existe una riqueza variada e ilimitada del Estado de Oaxaca, es que me tomé la tarea de hacer un estudio que diese a conocer la importancia geológico económica aproximada del centro del Estado de Oaxaca, en el Sur de México.

Para este trabajo hice acopio de materiales, de datos recogidos en el terreno y comprobaciones que realicé en varias excursiones del pasado como del presente lustro, a partir de 1958.

Consulté además, a varias personas conectadas con los trabajos de la Comisión del Papaloapan y con la Comisión Autónoma para la Investigación de Minerales Radioactivos.

El programa de trabajo comprendió las siguientes tareas:

- a) Compilación de datos existentes.
- b) Estudios de mapas.
- c) Mapeo geológico básico.
- d) Exploración de las áreas examinadas y las correspondientes comprobaciones.
- e) Investigación de áreas claves.
- f) Interpretación de resultados sobre perforaciones existentes y efectuadas por las comisiones mencionadas.
- g) Estudio de yacimientos.
- h) Análisis del trabajo desarrollado, preparación de croquis, conclusiones y otros informes.

Hasta donde la investigación personal lo permitió se localizaron principalmente las manifestaciones superficiales en áreas de afloramientos y paralelamente se determinaron las extensiones cubiertas por rocas de distintos tipos, mapeando tales formaciones a lo largo de los caminos y de los ríos.

A esta fase siguió una exploración, muchas veces detallada de los diferentes cuerpos minerales importantes localizados en el terreno.

El costo de lo que significaría una exploración sistemática moderna no permitió que en este trabajo se basara el mapeo en la fotografía aérea, si bien varios de los mapas utilizados son producto de compilaciones fotogeográficas aunque no necesariamente fotogeológicas, que fueron realizadas por dependencias gubernamentales u otras instituciones.

## II Generalidades sobre los recursos minerales

Este capítulo se ha incluido con el propósito de ilustrar sobre ciertos términos que se usan con un grado considerable de anarquía al referirse a los recursos minerales y para que al ser utilizados en algún capítulo de este trabajo, se comprenda el significado con que los mismos se emplean.

En dicha exposición se analizaron brevemente los conceptos elementales para el especialista, pero no para las personas que, no siendo geólogos o ingenieros de minas, tienen que utilizar la información de estos profesionistas, referida a los recursos minerales en general.

El reino mineral, del cual la humanidad extrae los productos indispensables para la industria, comprende la corteza sólida de la tierra, el mar y la atmósfera. Sin embargo la mayoría de los recursos minerales que el hombre necesita se extraen de la corteza terrestre, principalmente de los primeros tres mil metros, que son hasta la fecha los límites accesibles para las operaciones mineras.

Los recursos considerados explotables, son los que se encuentran en los cuerpos geológicos denominados yacimientos. Se caracterizan por tener concentraciones muy elevadas de ciertos elementos o minerales que constituyen la corteza terrestre, y el material mismo que los forma se llama mena o mineral.

La condición esencial para que esos cuerpos geológicos sean clasificados como yacimiento, es que de ellos pueden extraerse uno

o más metales o minerales útiles en forma económica.

Los factores que determinan las posibilidades de explotación económica son numerosos, por ejemplo: la forma, tamaño de depósito, composición y ley de la mena, son de naturaleza geológica; pero las condiciones del mercado, explotación y beneficio del yacimiento, son ajenas a las características del mismo. Factores como distancia, accesibilidad, clima, disponibilidad de agua, que son también independientes de las condiciones del depósito, tienen importancia geográfica decisiva en la determinación de posibilidades de explotación.

Así, por ejemplo, en zonas secas, donde el agua para las plantas de beneficio es indispensable y tiene que ser traída desde largas distancias, la explotación depende de que los yacimientos sean verdaderamente cuantiosos como para justificar la inversión de capital en obras hidráulicas.

Las estimaciones de riqueza mineral, se basan primordialmente en observaciones geológicas de la superficie, apoyadas en datos obtenidos de trabajos o perforaciones que existan. En estas observaciones se compara el área de estudio con otras áreas en que de algún modo el geólogo esté familiarizado, siendo siempre operaciones intelectuales que conducen a estimaciones aproximadas, las que son imprescindibles, porque ayudan a plantear el número mínimo de factores e incógnitas geológico económicas que deberán investigarse.

Los métodos utilizados son diferentes, según se trate de co

nocer las reservas de un yacimiento o de una región.

En las de un yacimiento se realiza una serie de trabajos de exploración que consisten en perforaciones, trincheras, galerías, socavones, etc. Estos trabajos se emprenden solamente si el estudio geológico previo lo indica por las condiciones favorables.

Si es de una región, las incógnitas geológicas no pueden dejarse realizando labores de exploración y los cálculos se hacen basándose en las estimaciones geológicas, y desde luego el trabajo es menos detallado que el del estudio de un yacimiento.

Los términos utilizados en la industria minera para cuantificación de yacimientos, aportados por Leith, en 1939, (Herrera A. O., op. cit. bibl.) son:

a) Positivas (o comprobadas). Mineral delimitado en tres dimensiones por labores mineras o perforaciones, que incluye prolongaciones secundarias en la exploración más allá de las labores y perforaciones, donde los factores geológicos que limitan el cuerpo mineralizado son bien conocidas.

b) Probables (o semicomprobadas). Estas son las que comprenden extensiones a corta distancia, donde las condiciones son de tal naturaleza que se encontrará probablemente mineral, pero donde la extensión y los factores limitantes no se pueden definir con la misma precisión que en el caso del mineral comprobado. Significa también, la presencia de mena por medio de perforaciones dispersas, pero demasiado separadas para garantizar continuidad del cuerpo.



c) Posibles. Cuando las relaciones del terreno con cuerpos mineralizados adyacentes y las estructuras geológicas permiten suponer que se encontrará mineral, pero la falta de datos, impide tener certeza sobre la ubicación exacta o extensión del mismo. En este caso no conviene asignarles cifras al tonelaje de los minerales.

Como estos términos, según muchos especialistas dan margen a error, se ha adoptado desde 1944, una clasificación más flexible, que fue adoptada primeramente por el United States Geological Survey y el United States Bureau of Mines:

a) Medidas. "Son aquellas reservas cuyo tonelaje se computa por las dimensiones reveladas en afloramientos, trincheras, labores mineras y perforaciones, y cuya ley se determina por medio de un muestreo detallado. Sitios de observación, toma de muestras y mediciones están tan próximas, y las características geológicas tan definidas, que queda bien establecido el tamaño, forma y composición de la mena" (17)

b) Indicadas. "Son aquellas cuyo tonelaje y ley se calculan, en parte, mediante mediciones específicas, muestras o datos de producción y en parte, sobre la proyección, hasta una distancia razonable, basándose en evidencias geológicas. Los sitios disponibles para las observaciones, mediciones, muestreos, etc., se hallan demasiado separados o espaciados para poder delimitar los cuerpos mineralizados y sus leyes" (17)

c) Inferidas. "Son aquellas reservas cuya estimación numérica se basa, en gran parte, en un conocimiento general del ca-

rácter geológico del depósito, y de las que no existen o se tienen muy pocas mediciones o muestras. Las estimaciones se basan en una supuesta continuidad apoyada en evidencias geológicas: éstas pueden incluir informaciones sobre los límites específicos dentro de los cuales el material puede estar" (17)

En esta clasificación se tuvo en cuenta que la evaluación la hacen los economistas o técnicos que no tienen acceso a los cálculos detallados y que solo se interesan por estimar la magnitud de los minerales.

El término "reservas" se restringe para el mineral que se considera explotable en las condiciones existentes, incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales especiales. Al mineral cuya explotación necesita condiciones más favorables que las actualmente existentes, así como mayor exploración para poner en evidencia depósitos aun no incluidos en las categorías "posibles" o "inferido", proponen que se le denomine "mineral potencial".

Como hay dificultades para conocer una evaluación "medida" e "indicada", se reemplazan por un único término: "demostradas".

Reservas demostradas, son aquellas en que el tonelaje y la ley se computan en parte mediante mediciones específicas, muestras o datos de producción, y en parte con la proyección a una distancia razonable que se basa en evidencia geológica.

### III Generalidades Geográficas

Como el propósito primordial de este estudio es lo geológico económico, resulta que en el trabajo se abarcan generalidades geográficas sobre la gran región del Centro de Oaxaca, en el Sur de México, ya que mediante ellas se da sentido al espacio, propiciando la investigación de los recursos naturales situados en el medio físico biológico que es escenario de la vida humana.

La clasificación adoptada para la división en zonas económicas que se verá en el presente estudio es la que se acepta por la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, desde enero de 1964, y que se ilustra en la memoria titulada: Salarios Mínimos por Zonas y Municipios. 1964-1965.

La justificación para que en el ámbito territorial estudiado se adoptara la división por zonas, obedece a que la limitación por municipios resulta ineficaz, dado que el desarrollo del Centro de Oaxaca, en el Sur de México no puede estar limitado por divisiones territoriales o municipales que obedezcan a razones históricas y políticas.

La economía siempre está en relación con áreas relativamente homogéneas que rebasan necesariamente los límites municipales y por tanto, las características socioeconómicas están conectadas con el grado de desarrollo económico alcanzado en la totalidad de cada zona.

La estructuración de una región obedece a la existencia de los recursos naturales que permiten el crecimiento económico, a

la necesidad de complementación de las partes de la región (ciudades, pueblos, etc.) a la homogeneidad en el grado de desarrollo de las formas de producción, que pueden diferir de las de regiones vecinas, a la especialización predominante en la producción, determinada de acuerdo con los recursos, la población de acuerdo con sus habilidades y la historia.

Cualquier plan que se desee hacer debe tomar en cuenta los marcos regionales, dado que los fenómenos existentes en estas regiones dependen unos de otros, y el conocimiento, por tanto, debe ser interrelacionado, ya que los problemas a tratar deben resolverse en su conjunto.

Al presentarse la división de una porción territorial que se estudia, en zonas económicas, este facilita la planeación económica, y al localizar los recursos que se encuentran en las mismas, se facilita la estructuración de planes que ataquen los problemas regionales.

La planeación en la actualidad no puede basarse en límites distritales o municipales; el desarrollo económico de México exige que los estudios geográficos se hagan sobre bases regionales, que sean bases firmes y correctas en que se base la planeación.

1) Localización del área estudiada.

El área estudiada abarca parte de cuatro zonas económicas del Estado de Oaxaca, a saber:

a) Zona económica No. 83 (Oaxaca-La Cañada), que se localiza al centro-noroeste de Oaxaca, colindando entre varias zonas

con la 94 (Oaxaca-Sierra de Juárez) y la 95 (Oaxaca-Centro) al sur; con la 91 (Oaxaca-Tlaxiaco) al este; y con la 93 (Oaxaca-Mixteca) al oeste.

b) Zona económica No. 93 (Oaxaca-Mixteca), que se localiza en la parte centro y oeste del Estado de Oaxaca, que limita en pequeña parte con la 92 (Oaxaca-La Cañada) y con la 95 (Oaxaca-Centro).

c) Zona económica No. 94 (Oaxaca-Sierra de Juárez) que se localiza en el centro-norte del Estado de Oaxaca, colindando con la 95 (Oaxaca-Centro) por el sur y el sureste; y con la 92 (Oaxaca-La Cañada) por el noroeste.

d) Zona económica No. 95 (Oaxaca-Centro), que se localiza al centro del Estado de Oaxaca, colindando con las siguientes zonas económicas: al norte, con la 92 y la 94, denominadas respectivamente: "Oaxaca-La Cañada" y "Oaxaca-Sierra de Juárez"; al sur, con la 96 (Oaxaca-La Costa); al este, con la 97 (Oaxaca-Istmo); y al oeste con la 93 (Oaxaca-Mixteca).

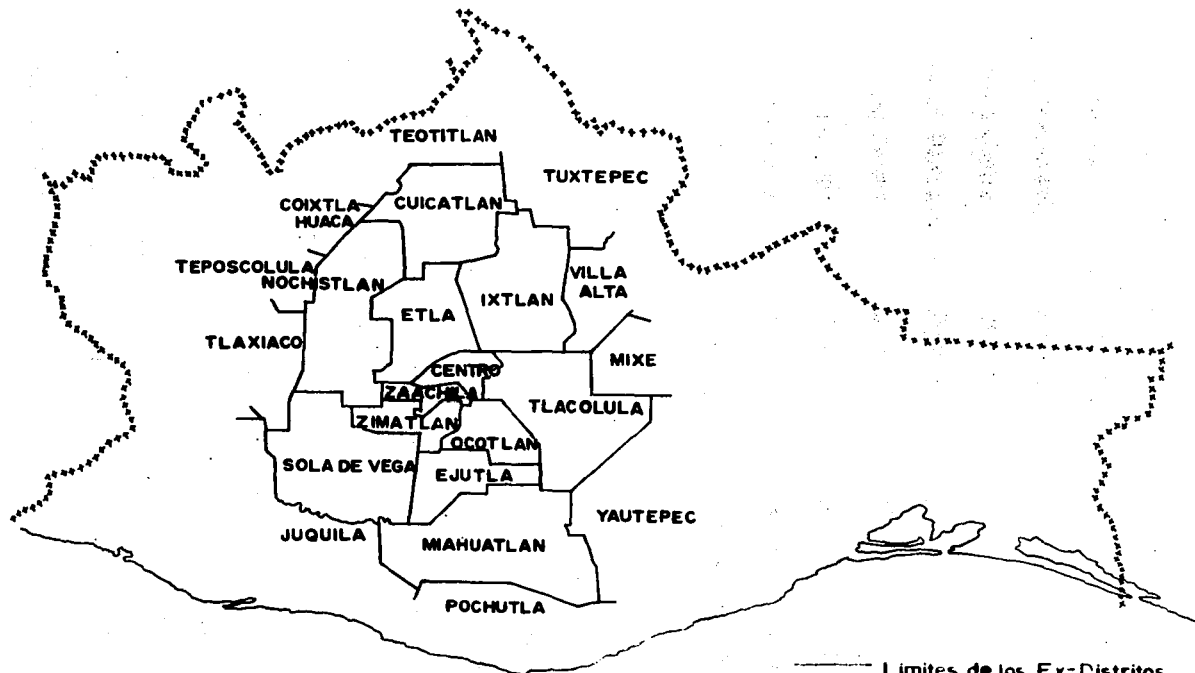
### 2) - Integración territorial.

Las zonas económicas y la extensión territorial de los entes que se incluyen en el área estudiada son las que siguen:

Zona económica	Ex-distrito	Número en el Estado	Superficie en Km <sup>2</sup>
Oaxaca-La Cañada	Cuicatlan	5	2 272.25
Oaxaca-La Mixteca	Nochistlan	10	3 183.18

CENTRO DE OAXACA  
DIVISION POLITICA DE LA ZONA ESTUDIADA

LAM. IV



Oaxaca-Sierra Juárez	Artlán	12	2 372.25
Oaxaca-Centro	Sala de Vega	23	3 719.03
Oaxaca-Centro	Miximatlán	26	3 752.30
Oaxaca-Centro	Tlacotala	27	2 919.15
Oaxaca-Centro	Etla	11	1 750.43
Oaxaca-Centro	Ejolia	24	1 145.60
Oaxaca-Centro	Ocotlán	29	1 097.80
Oaxaca-Centro	Zimatlán	18	739.73
Oaxaca-Centro	Zacachila	17	503.96
Oaxaca-Centro	Centro	19	625.15

### 3) Medio físico.

Este tema ha sido tratado tomando en cuenta los informes de las Comisiones Regionales de la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos y de las Alcaldías Municipales de cada zona geoeconómica y completado con las observaciones fisiográficas que personalmente hizo el autor de este estudio.

#### a) Orografía.

A la zona "Oaxaca-La Cañada" le corresponde del área estudiada, parte de la provincia fisiográfica denominada "Sierra Madre de Oaxaca". Los terrenos que comprende son de un abrupto relieve y abarca parte de las sierras de Nochistlán y de San Juan del Estado.

En la mayor parte hay alturas que van de 1 200 a 2 400 m. sobre el nivel del mar, salvo en el cauce de los ríos.

A la zona "Oaxaca-Mixteca" corresponde una región alta y montañosa en donde el área, conocida como la "Mixteca Alta", tiene una altura de más de 1 500 m. sobre el nivel del mar y abarca el ex-distrito de Nochistlán, en donde se distingue la sierra del mismo nombre.

A la zona "Oaxaca-Sierra de Juárez", la atraviesa parte de la "Sierra Madre de Oaxaca". En el occidente de la zona existen áreas con niveles entre 1 800 y 2 400 m. sobre el nivel del mar.

A la zona "Oaxaca-Centro" también corresponde parte de la "Sierra Madre de Oaxaca" que recibe nombres locales, como los de Sierra de San Felipe y Sierra de San Antonio de Cal, al norte de la zona, y sierra de Miahuatlán, al sur.

En su mayor parte las alturas oscilan entre 1 200 y 1 800 m. sobre el nivel del mar.

La zona presenta un conjunto de valles de extensión longitudinal, con marcada inclinación hacia el sur y sureste, que alcanzan alturas medias de 1 500 m. sobre el nivel del mar.

El fondo de los valles está formado por depósitos aluviales recientes; estos aluviones se deben fundamentalmente a que la zona estuvo formada por cuencas lacustres comunicadas con el Océano Pacífico.

#### b) Hidrografía.

La zona "Oaxaca-La Cañada" tiene un sistema hidrográfico que forma parte de la vertiente del Golfo de México, compuesto, en el ex-distrito de Cuicatlán, por el río Paríán y el río



Grande, que al juntarse forman el río Tomellín.

La zona "Oaxaca-Mixteca", en el ex-distrito de Nochistlán, tiene una hidrografía determinada por pequeños arroyos con caudal apreciable durante la temporada de lluvia y que llegan a ser afluentes y subafluentes tanto del río Verde, de la vertiente del Pacífico, como del río Tomellín, de la vertiente del Golfo, por lo que por esta región pasa la divisoria continental de las aguas.

En la zona "Oaxaca-Miagra de Ixtres", hay afluentes del río Verde, que ha sido considerado río oxaqueño por excelencia por estar totalmente dentro del Estado de Oaxaca y que desemboca en el Océano Pacífico. Dentro de la zona también hay afluentes y subafluentes del río Coahuacoalco y del río Papaloapan, por lo que por esta zona también pasa la divisoria continental de las aguas.

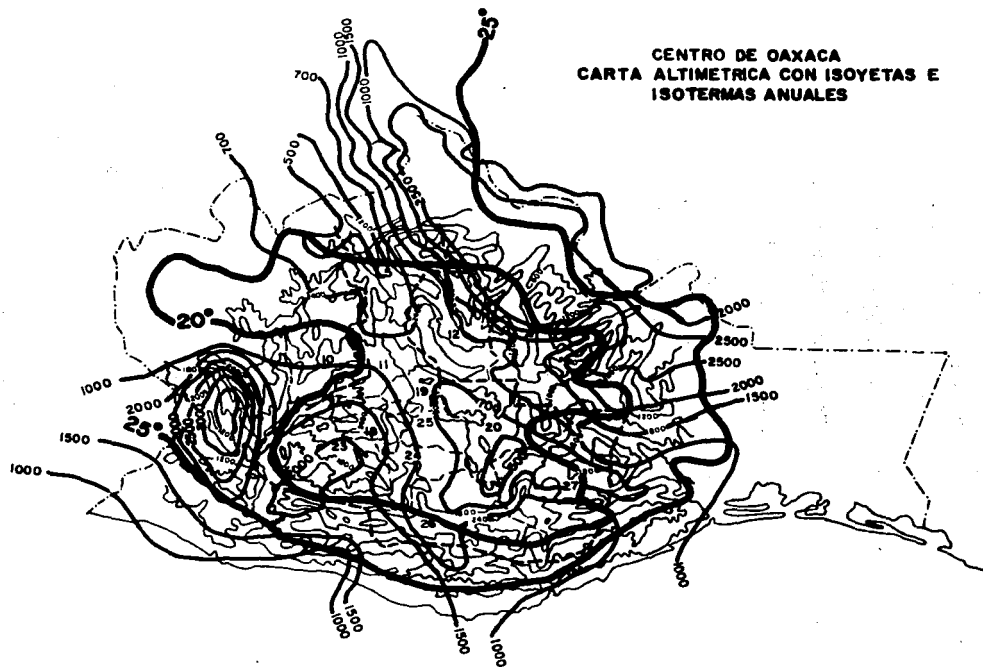
La zona "Oaxaca-Centro" posee, hidrológicamente, buena parte del río Tehuantepec, ya que en el ex-distrito de Miahuatlán nace este río que se dirige al norte con el nombre de río Mijangos, que después de recibir numerosos afluentes y cambiar de curso adquiere casi en su desembocadura el nombre de Tehuantepec.

Es río importante dentro de la zona el Atoyac, que se forma con los ríos Etla y Tlacolula. En el curso el río Atoyac se junta con el río Verde, nombre que recibe desde la confluencia de los dos hasta su desembocadura.

c) Climas, suelos y vegetación.

La determinación de los tipos de clima se hizo directa-

**CENTRO DE OAXACA  
CARTA ALTIMETRICA CON ISOYETAS E  
ISOTERMAS ANUALES**



— DIVISION ZONAL  
 - - - DIVISION ESTATAL  
 ···· DIVISION EXDISTRITAL  
 39 NUMERO DE ZONA EXDISTRITAL

BASADA EN DATOS DE  
 COMISION NACIONAL DE LOS SALARIOS MINIMOS  
 Y LA DIRECCION DE HIDROLOGIA S. R. H.

G. CORREA PEREZ

mente por el autor de este trabajo sobre la base de datos de la Dirección General de Geografía y Meteorología.

El ex-distrito de Cuicatlán, de la zona "Oaxaca-La Cofada" tiene clima predominantemente desértico caliente con lluvia escasa en verano (BWh' wg), salvo pequeñas porciones al este, donde el clima es templado subtropical con lluvia en verano (Cwg).

El clima seco desértico de esta zona es muy caliente y presenta lluvia escasa en el verano y una temperatura máxima anterior al solsticio de verano. En las porciones de clima templado la temperatura media del mes más cálido es superior a los 22° C.

Los suelos predominantes son los forestales, y los semi-desérticos sierozem.

La vegetación está constituida por mesquites, agaves, huizaches y coníferas (pino, oyamel, ciprés, y cedro blanco).

En los ex-distritos de la zona denominada "Oaxaca-Mixteca", predomina el clima templado con lluvia en verano, y en especial en el ex-distrito de Nochistlán se localiza un clima templado con lluvia en verano, seco en invierno, de pradera, con la temperatura media del mes más cálido inferior a los 22° C. y la temperatura máxima anterior al solsticio de verano (C<sub>w</sub> bg) en su mayor parte. En poca extensión de la zona se encuentra también el clima seco K<sub>g</sub> tepario (BSwg).

Los suelos son negros y principalmente de "complejo de montaña".

La vegetación natural en las sierras de Nochiatán es de coníferas y encinos, habiendo extensiones con vegetación semiesteparia caracterizada por matorrales y arbustos.

En el ex-distrito de Itz'á de la zona "Caxma-Norte de Jajrag", el clima es predominantemente templado con lluvia en verano (Cwg). En el sureste el clima es seco estepario (BSwg), y en el noroeste-centro hay una porción con clima seco desértico, muy caliente, con temperatura media anual de 18°C y temperatura media del mes más caluroso, superior también a los 18°C (BWh'wg).

El tipo de suelo predominante es el denominado "complejo de montaña", existente en terrenos inclinados. Encuentrase también suelo charrasco.

La vegetación de la zona es en su mayor parte de coníferas (pino, oyamel, algarrobo y cedro blanco); templada (encino, madroño, copal, aliso) y en algunas porciones es subdesértica (mesquite, hualicho).

Los ex-distritos de la zona "Caxma-Centro" tienen los siguientes climas:

1) Seco estepario con escasa lluvia en verano e invierno seco y frío, con una temperatura media anual superior a 18°C y la media del mes caluroso, inferior a 18°C (BSwg), en los ex-distritos de Etá, Centro, Zanchila, Zimatán, Ocotlán y Ejutla. Este es el clima más extendido en la zona.

2) Templado con lluvia en verano e invierno seco con tem

peratura media del mes más cálido inferior a 22°C (Cwb<sub>g</sub>), que se localiza en las porciones noroeste de la zona en Etla, Zaachila, Zimatlán y en casi todo Miahuatlán, al sur de la misma.

3) Templado con lluvia en verano e invierno seco, con temperatura del mes más cálido superior a 25°C (Cwag), que se localiza muy al sur de Miahuatlán.

4) Tropical lluvioso de sabana, con lluvia de verano (Aw<sub>g</sub>) localizado en los ex-districtos de Tlaxiaco y Sola de Vega.

El suelo predominante es el chernozem, sigue en importancia el sierozem, correspondiéndole una vegetación xerófila (mezquite, huizache, castaños y agaves).

En el clima templado los suelos son de montaña, con una vegetación de bosque mixto.

En el clima tropical se observa la presencia de la vegetación de sabana y de bosque tropical.

d) Población.

Los informes sobre la estadística de la población fueron proporcionados por las Comisiones Regionales, dependientes de la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, habiendo sido estudiados con algunos datos del VIII Censo General de la Población de 1960 y revisados por el autor de este estudio.

Según datos del VIII Censo General de la Población de 1960, la población total de la zona "Oaxaca-La Cañada" fue de 140 320 ha.

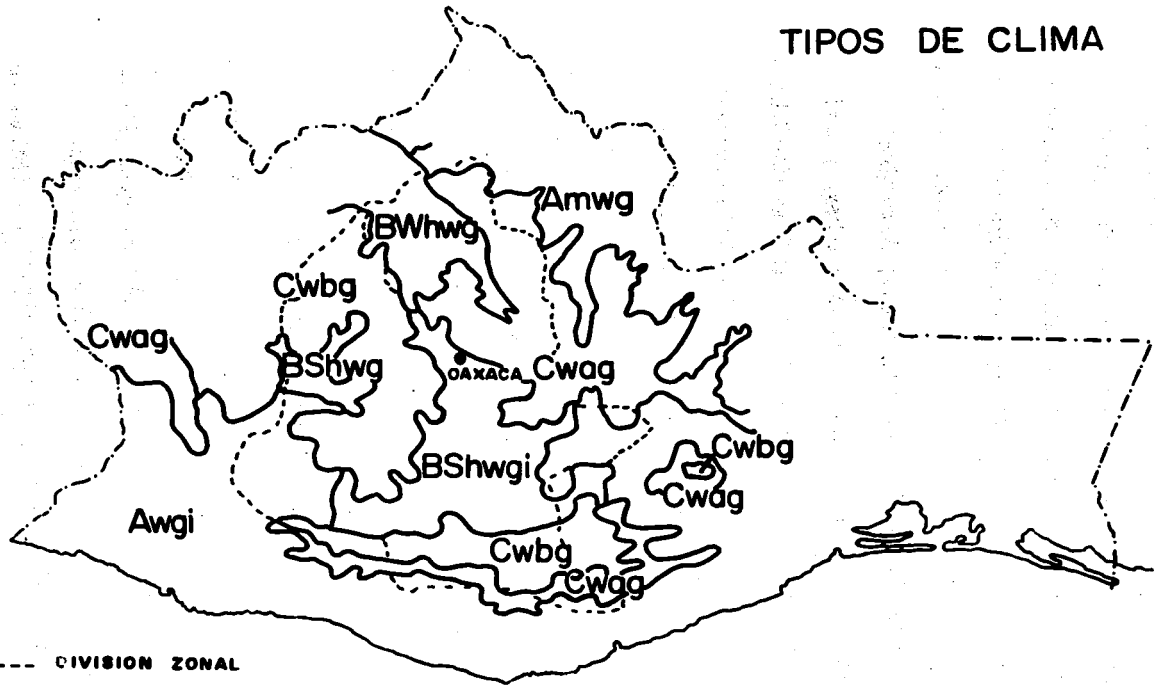
OAXACA CENTRO

TIPOS DE CLIMA

CORREA PEREZ

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA

# OAXACA CENTRO TIPOS DE CLIMA



----- DIVISION ZONAL  
----- DIVISION ESTATAL

G. CORREA PEREZ

bitantes, que representaron el 8.13% del total de la entidad.

En el ex-distrito de Cuicatlán, que correspondía al área estudiada tuvo una población para ese mismo año de 44 534 habitantes, o sea el 31.74% del total de la población de la zona económica a la cual pertenece.

Predomina la población rural en un 88% y la densidad de población de Cuicatlán es de 19.60 habitantes por kilómetro cuadrado, La del Estado de Oaxaca y la del país es de 18.1 y 17.8 respectivamente para el año de 1960.

La mayor parte de la población económicamente activa se dedica a la agricultura, ganadería y silvicultura, en primer término (82.08%), siguiéndole por ramas de actividad, la población que se dedica a industrias de transformación, servicios, comercio, etc.

De la población total de la zona "Oaxaca-Mixteca", en el año de 1960, con 443 073 habitantes, Nochiatlán tenía 61 340 habitantes (14.40%), predominando la población rural en un 80%.

Por ramas de actividad y en orden de importancia, la población económicamente activa se dedica a:

Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (80%) y a industrias de transformación, servicios y comercio (16%).

De la población de la zona "Oaxaca-Sierra de Juárez", en el año de 1960, con 126 871 habitantes, la de Ixtlán fue de 39 704 habitantes, siendo en su mayor parte población rural (90%) y sus actividades principales son las agropecuarias.

La zona "Oaxaca-Centro" es una de las más densamente pobladas del Estado y representa una gran concentración demográfica en el Ex-distrito Centro, donde se ubica la capital del Estado. De la población total, que fue de 491 139 habitantes (28.4% de la población del Estado), el ex-distrito de Centro tenía 112 455 habitantes (27.90% de la población total de la zona).

Las características generales de la población de los ex-distritos que se incluyen en la zona, son:

Ex-distritos	Total	%	Población rural	%
Total de la Zona	491 139	100.00	332 512	100.00
Etla	56 414	11.50	46 976	14.10
Zacachila	17 047	3.50	10 670	3.30
Zimatlán	36 768	7.50	20 234	6.10
Centro	112 455	27.90	32 566	9.80
Tlaxiahuacán	62 373	12.70	45 637	13.70
Ejaltépec	32 594	6.60	27 400	8.30
Sola de Vega	30 825	7.90		
Ocotlán	41 673	8.50	24 752	7.40
Mixtlahuacán	71 072	14.50	63 564	19.40

La densidad de población, en forma decreciente, es como sigue:

El ex-distrito de Centro (112 455 habitantes en 1950), que fue el más denso, con una densidad de 112.455 habitantes por kilómetro cuadrado.



Ex-districto      Densidad por Km<sup>2</sup>

<b>Centro</b>	<b>179.88</b>
<b>Zimatlán</b>	<b>48.86</b>
<b>Ocotlán</b>	<b>46.88</b>
<b>Zacachila</b>	<b>33.83</b>
<b>Ejlatlán</b>	<b>32.88</b>
<b>Ethá</b>	<b>32.33</b>
<b>Tlacoachula</b>	<b>21.42</b>
<b>Mixtlantlán</b>	<b>18.84</b>
<b>Sola de Vega</b>	<b>16.44</b>

La población económicamente activa de estos ex-districtos, en orden de importancia y por ramas de actividad, se dedica a la agricultura, ganadería y silvicultura (55%), principalmente y a la industria de transformación, servicios, comercio, industrias de la construcción, transportes, industrias extractivas y otras, en segundo término.

La zona Centro del Estado de Oaxaca es la que dispone de mayor cantidad y mejor clase de servicios que otras zonas en cuanto a comunicaciones.

Ethá, Tlacoachula y Centro son atravesadas por una carretera federal de primer orden (carretera panamericana), que las comunica con el Estado de Puebla y con el Estado de Chiapas.

Ocotlán, Zanchila, Ejeta y Miahuatlán se encuentran comunicadas con la capital del Estado mediante carretera pavimentada; lo mismo Zimatlán, excepto Sola de Vega que tiene camino de tierra cerda.

El ferrocarril comunica Esla, Centro, Zanchila y Ocotlán mediante el trócal México-Oaxaca, de los Ferrocarriles Nacionales.

Existen aeropuertos, en Sola de Vega, Miahuatlán, Centro y Tlaxiotala. Las aerovías con que cuenta el ex-distrito de Centro son: Oaxaca-México, D. F., Oaxaca-Acapulca, Oaxaca-Veracruz, Oaxaca-Tuxtla Gutiérrez y Oaxaca-Tapachula, habiendo también comunicación aérea a Miahuatlán y a Coahuacalcoas del Estado de Veracruz.

Por lo que se refiere a la actividad comercial y de servicios de la zona, es importante en el ex-distrito de Centro donde se consiguen 804 establecimientos (21.00% de los existentes en la entidad) que obtuvieron alrededor de \$ 131 000 000 (35.00% de los ingresos obtenidos en la entidad por ese concepto). De esta cantidad como el 82% correspondió al comercio de menudeo.

#### **IV Relación geológica de datos existentes y estudios de mapas.**

La presente relación geológica se ha hecho pensando que sirva de punto de partida para los estudios acerca de los problemas geológicos, teóricos y prácticos que a menudo comparan los estudiosos de los recursos minerales.

La reunión de la opinión de varios geólogos que han estudiado la mayor parte del Centro de Oaxaca, se ha incluido además con el propósito de orientar en la materia sobre varios tipos de rocas que se encuentran en esta área de Oaxaca y cuya determinación de edad, se hacía sobre la base, en la relación estratigráfica, cuestión que en la actualidad se hace tomando en cuenta el decaimiento radiactivo de ciertos elementos en las rocas.

Como se estima de incalculable importancia el estudio geocronométrico de las rocas, sobre todo ígneas, dado que sirven de guía para la cronometría de las rocas sedimentarias, en relación a la determinación de edad, se ha encontrado que las combinaciones isotópicas útiles para el análisis de la misma suman seis y suelen llamarse:

- 1) carbón 14, 2) uranio-plomo, 3) plomo-plomo,
- 4) plomo-alfa, 5) potasio-argón, 6) rubidio-estroncio.

El número es reducido debido a la escasez relativa de los minerales que contienen isótopos radioactivos para la determinación de la edad.

En este trabajo se ejemplifica, en el apéndice C, la desintegración de una sustancia radioactiva y en este capítulo se dan las ecuaciones que por el método plomo-alfa se utilizaron al determinar la edad para el zircón y la mica de las pegmatitas estudiadas por Schmitter en el Centro de Oaxaca.

Desde fines del siglo pasado, los geólogos habían reconocido y hacían referencias geológicas de áreas que corresponden a la edad precámbrica en el sur de México.

Aguilera y Ordoñez, a finales de 1880, en su publicación "Datos para la Geología de México" afirmaban que en Oaxaca, Guerrero y Sur de Puebla se encuentran terrenos formados por gnéis, filitas gnéissicas, esquistos micáceos y filitas muy arcillosas, que llegan a tener menos arcilla hacia abajo y descansan en pizarras. Las rocas gnéissicas están cortadas localmente por numerosos diques pegmatíticos, algunas veces con textura "gráfica"; todas estas rocas forman un gran núcleo en partes extensas del sur de México que incluyen Chiapas, Guerrero, Puebla y Oaxaca. (3)

Entre 1880 y 1892, De Lande y Girault investigaron la región de Oaxaca en busca de yacimientos minerales prometedoros, de la ciudad de Oaxaca al oeste-suroeste por algunos kilómetros, encontrando "rocas eruptivas arqueanas", cubiertas en parte por rocas sedimentarias poco metamorfosadas y por rocas volcánicas aún más recientes. Las rocas antiguas incluían granito, pegmatita, granito porfídico, pegmatita con textura granítica, rocas micá-

ceas, mármol cipolino, gneis, diorita y rocas horabléndicas. (12)

Félix y Leak, en 1899, mencionaron la existencia de gneis con características de grafito, pirroesa y mica, en la región entre Ejutla y Miahuatlán, de 65 a 95 kilómetros al sur de Oaxaca. (15)

Ordóñez, en 1906, en su artículo "Las rocas arqueas de Méjico", describe gneises, granito gneáico, granito pegmatítico y pegmatitas en el Cañón de Tomellín, las cuales fueron consideradas por él como de edad arcaica, ubicadas unos 150 kilómetros al noroeste de la ciudad de Oaxaca. Igualmente describió las localidades de la región entre Ejutla y Miahuatlán que ya se mencionaron. (24)

Waiz, en 1912, hace la descripción más detallada de las rocas metamórficas, en la parte central de Oaxaca, a lo largo del río Atoyac, cuya cabecera se halla en el extremo meridional del Cañón de Tomellín, caminando hacia el sur.

Barrera, en 1929, ofrece una contribución importante sobre rocas metamórficas antiguas y hace descripciones detalladas de los yacimientos de mica de Oaxaca, y de rocas metamórficas entre el Cañón de Tomellín y Miahuatlán que ya habían sido mencionadas por otros geólogos. Parte de dichos estudios fueron publicados en 1946. Sobre las pegmatitas, menciona que están compuestas principalmente de cuarzo, feldespatos blancos y rosados y de micas blancas y negras. Otros minerales observados por él son la Wernerita, turmalina, calcita rosada y apatita. (5)

En 1945, se descubrieron minerales radiactivos en algunas

pegmatitas, pero poco se publicó debido al siglo que había acerca de la investigación de todos los yacimientos de minerales radiactivos; pero a pesar de ello, Antón-Echagaray, en 1938, dió una descripción breve de la región granítica con pegmatitas ubicadas en la parte central de Camaná. (1)

Entre 1937 y 1960, Schaffter hizo estudios sobre pegmatitas y colectó casi todos los minerales presentes en la región, incluyendo diques de micasita al poniente de Haito.

En dichas pegmatitas se han encontrado los minerales siguientes:

tes:

Alamita	Esfeno	Monocita
Apatita	Fergusonita	Oligoclasa
Antanita	Flogopita	Psoblanda
Barilo	Fluorita	Titanita
Betafita	Humita	Uraninita
Biotita	Magnetita	Uranotorita
Calcita	Monocita	Wernerita
		Zircón.

En el apéndice A de este trabajo se dan algunas características y las fórmulas de los minerales más importantes del Centro de Camaná que fueron colectados por el geólogo Schaffter.

El zircón y la mica sirvieron para la determinación de edad de las rocas metamórficas con pegmatitas que son base de un sistema en el Sur de México.

La edad de las rocas de Oaxaca, calculada en el laboratorio de Geocronología del Geological Survey de Estados Unidos, para ser analizada por el método plomo-alfa y de acuerdo con la muestra de zircón colectada, en 1957, en el paraje denominado La Joya, a 42 kilómetros al noroeste de la ciudad de Oaxaca, fue de  $1110 \pm 125$  m.a., correspondiendo por tanto al precámbrico.

Las ecuaciones empleadas fueron:

$$C = \frac{C_0 Pb}{\lambda t}$$

En la que t es la edad calculada en millones de años, C es una constante basada en la relación de Th/U; Pb es el contenido de plomo en parte por millón, y  $\lambda$  es el número de partículas alfa emitidas por miligramo por hora; y

$$T = t - \frac{1}{2} k t^2$$

En la que T es la edad aparente en millones de años, corregida de acuerdo con la velocidad de decaimiento de uranio y de torio y k es una constante de decaimiento basada en la relación Th/U.

$$Th/U = 1 : 1$$

$$C = 2485$$

$$k = 1.58 \times 10^{-4}$$

Carl Fries Jr. y Eduardo Schmitter, confirmaron con edad y concluyeron que la formación de las pegmatitas tuvo lugar en una época entre 1 000 y 1 200 millones de años del presente. El metamorfismo no es de edad arcaica, ni paleozoica sino del preterraceno precámbrico.

Fries Jr. en 1962, distribuye en su croquis geológico las rocas metamórficas en la parte central de Oaxaca, siendo de edad precámbrica en el Cañón de Tomellín, al oeste del río Atoyac en su curso hacia el sur, entre Ejutla y Miahuatlán y muy al norte de la ciudad de Oaxaca rumbo a Huilín y Jayaucatlán, principalmente tanto al este como al oeste del Cañón de Tomellín.

Al este de Sedas, norte de Ejutla, este de Zanahua, en parte de Tlaxiotala, Soia de Vega y Miahuatlán, las rocas son del terciario y mesozoico, principalmente volcánicas y sedimentarias.

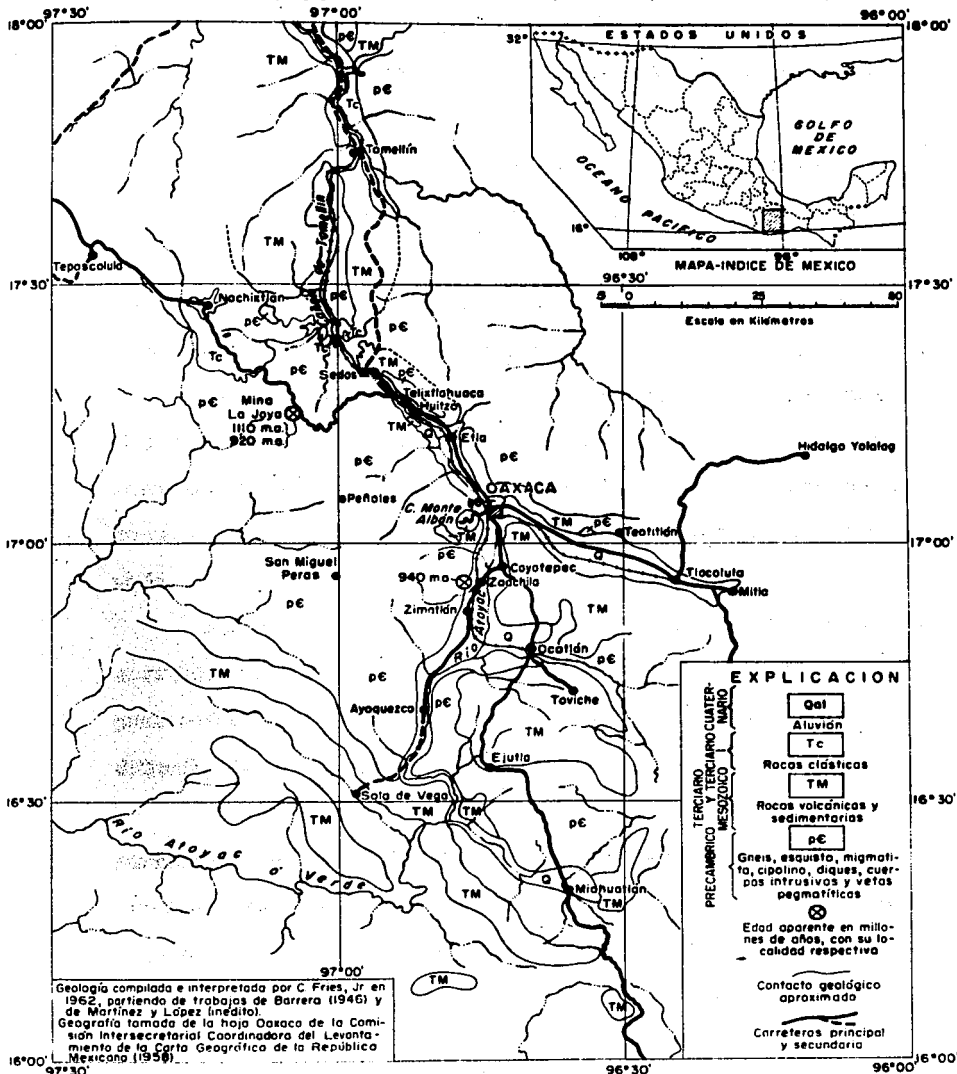
En el ex-distrito de Moctistlán se presentan rocas efémeras del terciario y cuaternario.

En los valles de Etla, Oaxaca y Tlaxiotala, lo mismo que en Ayoquezaco y Miahuatlán, se afitan aluviones cuaternarios. (15)

El mapa geológico más actualizado que se presenta en este trabajo (Lámina 1) se basa en un trabajo de geología compilado por Carlos Fries, Jr., en el año de 1962, partiendo de los trabajos de Barrera (1946) y de Martínez y López (1946). La geología se adaptó a la hoja de Oaxaca de la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana (1958) y fue publicado por el Instituto de Geología de la Universidad en 1963.

Casi todos los procesos geológicos importantes se han verificado alguna vez en el Centro de Oaxaca, en el Sur de México, lo que explica la geología compleja de la región, que en parte se ha





Geología compilada e interpretada por C. Fries, Jr en 1962, partiendo de trabajos de Barrera (1946) y de Martínez y López (inedito). Geografía tomada de la hoja Oaxaca de la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana (1959).

CROQUIS GEOLOGICO DE OAXACA CENTRAL QUE MUESTRA LA UBICACION DE DOS LOCALIDADES DE EDADES ISOTOPICAS Y LA DISTRIBUCION PROBABLE DEL PRECAMBRICO

mencionado. Hay que agregar además, el hecho de que por el Centro de Oaxaca atraviesan tanto límites geológicos como fisiográficos. (1) (capítulo VII)

Salvo la literatura que se menciona al final de este trabajo referente al Centro de Oaxaca, puede decirse que no son suficientes las recopilaciones o resúmenes de la geología del área estudiada y que probablemente se guardan datos de algunas exploraciones por parte de algunas dependencias oficiales y compañías mineras.

Ya pudo notarse al principio de este capítulo, que la mayoría de los investigadores han basado sus estudios en otros, incluyendo algunas de las características geológicas de los lugares adyacentes donde la geología no se basa en suposiciones o no está bien determinada.

El trabajo de campo que hizo el autor de este trabajo, se desarrolló especialmente a lo largo de las redes de comunicación, pues sería excepcionalmente costoso en otros lugares debido a las dificultades del transporte o de las vías de penetración.

El autor atravesó el área objeto de este estudio partiendo del ferrocarril de Tomellín a Oaxaca y las carreteras de Oaxaca a Miahuatlán, Oaxaca a Sola de Vega, Oaxaca a Están de Juárez, Oaxaca a Tlaxiaco, Oaxaca a Nochistlán, Tehixtlahuaca a Tomellín y a Sayacatlán, Nochistlán a Huauclilla, Oaxaca a Monte Albán y Oaxaca a Zaachila.

Un estudio completo de campo de la geología de esta gran

(1) Se mencionan en el capítulo VII algunas referencias y alusiones)

área del Centro de Oaxaca por parte del autor de este trabajo, era imposible totalmente, si se toma en cuenta lo que se ha explicado, así que el autor se limitará a dar su opinión con observaciones personales, no sin dejar de tomar en cuenta la literatura utilizada por los investigadores que se mencionan y la geología compilada por C. Fries, Jr.

En forma general, en las formaciones geológicas que se presentan en el Centro de Oaxaca quedan representadas cuatro éras geológicas: proterozoica, paleozoica, mesozoica y cenozoica.

Las rocas que se presentan de estas cuatro eras constituyen zonas más o menos paralelas, con dirección predominante de noroeste a sureste. Estas zonas, de norte a sur, vienen a ser las siguientes:

- 1) Sedimentaria mesozoica (sedimentos continentales triásico-jurásicos y sedimentos marinos de cretácico) en el oeste y noroeste, norte y noroeste del Centro de Oaxaca.
- 2) Ignea volcánica (rocas efusivas cenozoicas) de las tierras altas del Centro de Oaxaca.
- 3) Metamórfica precámbrica y paleozoica (sedimentos precámbricos metamorfoseados y semimetamorfoseados, en parte del paleozoico) en la mayor parte del área estudiada en el centro y sur del Centro de Oaxaca.
- 4) Sedimentaria cuaternaria (rocas clásticas y aluviones)

en las partes bajas, donde se sitúan los principales valles del Centro de Oaxaca (Lámina III B)

La formación sedimentaria mesozoica está en contacto con la roca de la formación metamórfica precámbrica. Los sedimentos son calizas y areniscas arcillosas o margosas, por lo general.

La formación de rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas, contiene granito, pizarras y gneis como base compleja y subyacente de los sedimentos; calizas metamorfoseadas, pizarras esquizosas y areniscas, también metamorfoseadas. En esta formación se han encontrado pegmatitas de varios tamaños con minerales radioactivos.

La formación de rocas ígneas volcánica consta de lavas basálticas, pero las cenizas y tóbas, probablemente de sedimentación fluvial, se encuentran interestratificadas con algunos sedimentos, que se les puede llamar volcánico-clásticas del terciario.

La formación sedimentaria cuaternaria, presenta sedimentos no muy consolidados o relativamente gruesos de edad reciente.

Las áreas bajas se desarrollaron sobre rocas metamórficas y granitoides, mientras que las eminencias generalmente están formadas por restos de la erosión, de una cubierta, de probable actividad volcánica.

Algunos diques intrusivos y cuerpos ígneos irregulares se presentan en las áreas de afloramiento de rocas mesozoicas y cenozoicas, necesitando de levantamientos más detallados para que



sean mostrados por separado.

La mención aparentemente desarticulada de los estudios de campo hechos en los últimos 85 años, pone de manifiesto la existencia de una gran región con rocas metamórficas en el Centro de Oaxaca, conectada sin duda alguna con partes de los Estados vecinos de Chiapas, Puebla y Guerrero.

La mayor parte de los geólogos que estudiaron el área geográfica del Centro de Oaxaca hacen mención de las vetas pegmatíticas y el metamorfismo lo atribuyen al argonoceno, al paleoceno y al mesoceno, aunque sin datos paleontológicos, siendo las pegmatitas estudiadas entre 1880 y 1889 las que han proporcionado los minerales para determinar la edad, de parte del complejo metamórfico.

Se sabe que las rocas en una región extensa que incluye desde Canadá hasta el suroeste de Estados Unidos fueron metamorfoseadas en un tiempo igual al correspondiente a la llamada Orogenia Oaxaqueña (Tilton, 1960; Long 1960).

Gilpin y Knip (1908, p 212) concluyeron una edad equivalente a la de las rocas metamórficas de Oaxaca para el metamorfismo en el Centro de Colorado, E. U. A. (De la edad de las rocas empujadas se habla anteriormente en el texto)

Así se ha llegado a la conclusión de que las pegmatitas de Oaxaca corresponden a un período de tectonismo equivalente en edad al que se desarrolló en Canadá y Estados Unidos, en el Noroeste de

## Norteamérica.

Dichas creencias posiblemente se unieron en México en su parte central y meridional.

El metamorfismo que ha motivado gran riqueza mineral por lo asignarse a la era preterozoica, pero no a la era arcaica y paleozoica como creían algunos geólogos (Ordóñez, Aguilera, Girault).

Salvo el croquis geológico de Frías, Schmitter, Damen y Lavignat, (Lámina 1) que fue cartografiado por el Instituto de Geografía, el trabajo del autor sobre la geología del Centro de Oaxaca, se realizó teniendo como base cartas topográficas de diversas escalas y como no se dispuso de cartas cuyas escalas sea del orden de 1 : 50 000 ó a 100 000, se tuvieron muchas dificultades para registrar muchos signos precisos y otras observaciones; de allí que el trabajo no se presente con complejidad.

Para el reconocimiento se usaron cartas a escala de 1 : 500 000 y un plano de Oaxaca a escala 1 : 1 000 000 del Departamento de Geografía de la Dirección de Geografía Meteorológica e Hidrología.

Con un mapa preliminar se consignaron todas las unidades diferenciadas del mapa geológico de la República Mexicana publicada en 1942 y conforme el trabajo de reconocimiento fue avanzando, los rangos se fueron modificando.

Las observaciones se hicieron al siguiente orden:

1) Anotar el número de observaciones y su orientación

siguientes aspectos respecto a una vía de comunicación.

- 3) Extensión y distribución de la litología.
- 3) Color y tipo de rocas en un afloramiento específico.
- 4) Algunas características físicas de las rocas. (Apéndice A, Tabla B).
- 5) Aspecto de las materiales no consolidadas.
- 6) Aspectos generales de la topografía.

Estas observaciones constituirán el método de campo que se hace para el mapeo geológico.

Los mapas físicos que registran las unidades litológicas más importantes, junto con la estimación general de los tipos de rocas y yacimientos probables de la zona, sirven de base para ubicar áreas desde el punto de vista de la investigación geológico-minera.

En el estudio de mapas se ha de señalar que el autor se refiere al estado de mapas del área estudiada, siendo éste el principal objetivo que se pasa al conocimiento de los recursos minerales del Centro de Minas, dada la escasez de mapas geológicos en todas las escalas.

Es requisito indispensable que la construcción de tales mapas dependa en la existencia de los mapas topográficos o en la fotografía aérea. La preparación de estos mapas requiere considerable tiempo y dinero, por lo que el autor sólo se basa en mapas por lo general planimétricos y comunes.

El análisis de dichos mapas se basa principalmente los sí --



güentes aspectos:

**1. - Los contactos geológicos.**

- a) Los límites de las formaciones y los afloramientos en su caso.
- b) Los tipos de rocas, ya sean ígneas, sedimentarias y metamórficas.
- c) Los contactos de las rocas intrusivas y las extrusivas entre las rocas ígneas.

**2. - Los rasgos estructurales.**

- a) El rumbo de las rocas.
- b) El echado de los estratos.
- c) Los plegamientos.

**3. - Los rasgos tectónicos.**

- a) Las fallas y fracturas.

**4. - Los fenómenos ígneos.**

- a) Los conos volcánicos.
- b) Los diques y los mantos de lava.
- c) Las intrusiones.

**5. - Fenómenos litográficos.**

- a) Los cursos de los ríos.
- b) Los depósitos lacustres.

## V. Generalidades sobre el legado de la materia inerte.

En toda exploración o estudio geológico, al considerar un fenómeno de este tipo, después de observarlo y analizarlo, para entenderlo, es necesario que se conozcan otros estudios que permitan contribuir a establecer su naturaleza y saber cuándo, cómo y porqué tuvo lugar.

Se requiere por ello de técnicas diversas de observación de campo, de análisis de rocas, de información geológica básica y hasta de deducciones empíricas.

Por lo anterior, se dará brevemente a conocer la naturaleza de la formación de las rocas que integran la corteza.

La corteza terrestre tiene un espesor de 6 kilómetros en sus partes más delgadas y de 60 kilómetros en sus partes de mayor espesor y está formada por rocas compuestas de silicatos complejos que se originaron por la solidificación y cristalización del magma, la recristalización en estado sólido, el intercambio tónico entre rocas y fluidos migratorios y por la sedimentación.

El magma original o material fundido al solidificarse por enfriamiento cristalizó, formando las rocas ígneas plutónicas.

La cristalización del magma también se realiza en presencia de fluidos o de abundante vapor, con lo que se originan las pegmatitas, se forman minerales de diversos caracteres como la uraninita a 900 o 600°C. Entre 600 y 400°C cristaliza la muscovita y el berilo y entre 400 y 200°C (etapa hidrotermal) las arcillas y los sulfuros

(ver el capítulo siguiente).

En la recristalización que se realiza en estado sólido y sin fusión se líquida, sucede un ajuste mineralógico y estructural de rocas y minerales ya formados, en nuevas condiciones físicas y químicas que les son impuestas, tales como temperatura, presión de vapor, compresión, tensión, etc. Siendo las condiciones tan variables, se pueden desarrollar buen número de sistemas minerales, como hornfels, gneises, esquistos y otros.

El intercambio tónico entre rocas y fluidos migratorios, como su nombre lo indica, implica un intercambio de materia durante su desarrollo. Es muy común en los sistemas de albitos, carbonatos, sulfuros y otras sales.

La sedimentación de rocas y de minerales ocurre al quedar los materiales de la corteza terrestre expuestos a la acción de los agentes externos por lo que se descomponen o se desintegran, siendo posteriormente acarreados y depositados en otras partes, formando así el conglomerado, la arenisca, la arcilla, la pizarra, la caliza y otros.

Un estudio más amplio e interpretativo de la formación de los minerales en particular se considera en el capítulo siguiente.

Con referencia a los minerales que se encuentran en la región objeto de estudio y sólo con el propósito de ofrecer una visión general acerca del legado de la materia inerte, se incluyen en seguida algunas generalidades sobre el particular.

El uranio se forma en los granitos arcaicos que afloran en la

superficie de distintas partes del Centro de Oaxaca y que muchas veces se encuentran relacionadas con la formación de pegmatitas.

Este rico mineral se originó en una masa continental del protozoico y que según algunos geólogos pertenece a la antigua península de Oaxaca. Esta región cuenta con rocas metamórficas paleozoicas, principalmente con gneises, que actualmente se sabe son precámbricos, en los que se han encontrado las pegmatitas con contenido de minerales radioactivos.

Otros minerales, como el yeso, se empezaron a formar sobre los granitos y sedimentos metamorfosados de estas tierras precámbricas, que sufrieron una erosión activa durante el paleozoico superior, cuando el mar penetró a dicha región. Esta transgresión no fue prolongada debido a movimientos orogénicos, con fallas e intrusiones de granito, granodioritas y serpentinas (Schuchert, 1938) que ocurrieron durante el pérmico superior; una segunda transgresión, probablemente del cretácico que fue muy extensa, dió origen a la mayoría de las calizas.

En el cretácico medio se inició una regresión del mar, por un movimiento orogénico, en el que se combinaron el diastrafismo y volcanismo, siendo presumible que estas circunstancias persistieron hasta el principio del cenozoico (eoceno), dado que la Sierra Madre del Sur sufrió los plegamientos que elevaron esta región montañosa durante el propio cenozoico. Después del cretácico volvió a haber otra transgresión o invasión del océano (oligoceno, mioceno).

En el cretácico, y con motivo del movimiento orogénico aludido, tuvo lugar el metamorfismo de algunas calizas que originaron en gran parte los ricos mármoles de la región oaxaqueña.

Durante el mioceno ocurrió el desarrollo de intrusiones, predominando el cuarzo y las rocas que tienen minerales claros, como el pórfido granítico; así como rocas con minerales oscuros, en ocasiones con cuarzo, como el pórfido de diorita, y, además tuvo lugar el desarrollo de intrusiones en cantidad moderada de minerales oscuros, con cristales de cuarzo, como la riolita; con muchos minerales oscuros, sin cristales de cuarzo, como la andesita y con predominio de minerales más oscuros, sin cristales de cuarzo, como el basalto.

En lugares donde tuvieron lugar las intrusiones, se desarrolló el proceso de mineralización ocasionado por el metamorfismo en las zonas de contacto de los pórfidos de granito y las dioritas intrusivas, o de basaltos extrusivos con las calizas y areniscas del eoceno, oligoceno y mioceno.

En las tierras montañosas de Oaxaca, que han sufrido una elevación y se han fracturado en parte, es donde se encuentran algunas de las riquezas minerales útiles al hombre.

Esta riqueza metalogénica parece depender de procesos que permiten el ascenso de los metales, desde una capa de sulfuros, que yace debajo de los silicatos, hasta capas cercanas a la superficie, donde se acumulan.

Es en efecto, donde la tierra manifiesta su inquietud a través de la formación de montañas, de fallas, de fracturas y grietas en el terreno, donde se encuentra favorecido el ascenso de los metales.

Por lo anterior, se puede notar que fué principalmente en el período mioceno, en el que parece que se formaron la mayoría de los yacimientos metalíferos del Centro de Oaxaca, es decir junto con el desarrollo de la Sierra Madre.

El oro, que suele encontrarse asociado a los sulfuros de plomo, zinc, plata y cobre, y en minerales silíceos que contienen cuarzo hallase distribuido en el Centro de Oaxaca. Los sulfuros ascendieron desde el interior de la tierra en soluciones calientes que acompañaron a las intrusiones de magma, formando criaderos, que a veces están a poca distancia de la superficie.

En algunos casos los metales que ascendieron, han dejado de ser sulfuros para convertirse en óxidos, como el caso del óxido de manganeso, proveniente del sulfuro de manganeso y que también se encuentra en el noroeste del Centro de Oaxaca.

Durante el plioceno y el pleistoceno, hubieron importantes movimientos epirogénicos. En las depresiones del Centro de Oaxaca se produjeron fallas que contribuyeron a darles el carácter de mesetas interiores, primero de rellenamiento, pero como consecuencia de la captura de los lagos interiores que se habían formado, se convirtieron en mesetas de denudación, al abrirse paso el río Verde

en la Sierra Madre del Sur para desaguar en el Océano Pacífico.

La actividad volcánica se mantuvo y siguió a esa etapa tectónica. Los terremotos aún se suceden, porque Oaxaca todavía actualmente corresponde a una de las regiones con mayor actividad tectónica.

Como resultado de sedimentación se han originado algunas arcillas, calizas y algunos tipos de carbón, pero en ningún caso el carbón es antracítico por ser éste mineral metamórfico, que por el bajo contenido de elementos volátiles y la concentración de carbón es difícil de entrar en ignición.

El grafito, el carbón más metamorfosado que no arde, se cree que debe su existencia en Oaxaca a que es un producto de la segregación de magmas precámbricos o de alguna otra edad.

## **VI Generalidades sobre procesos y origen de los depósitos.**

Los depósitos minerales, tanto propios en el terreno como secundarios o terciarios.

En este capítulo se pretende informar sobre principios generales de los procesos que en el terreno, tanto propios como secundarios o terciarios, determinan la formación de yacimientos minerales. La información de carácter general, sobre la zona mineral.

El autor, en el capítulo anterior y en el presente, ha mencionado ya algunas de las ideas.

Al final de este trabajo se ofrece la relación general de las obras de consulta y de las referencias bibliográficas que se han consultado en las que se basa en parte el autor, y tanto en el desarrollo como al fin de este capítulo se hace figurar una bibliografía que consiste en obras escogidas y otras lecturas seleccionadas para los temas que aquí se consideran.

El autor también hace este capítulo en observaciones y conclusiones, fruto de investigaciones de campo y de gabinete en relación con estudios de este tipo.

Se ha tratado también de establecer una conexión de procesos que pudieran tener lugar en la región objeto de estudio con los yacimientos minerales más comunes que el autor ha localizado, para poder comprender adecuadamente como se han formado, es necesario conocer no sólo la constitución de los depósitos, sino la formación de los mismos.

Los diferentes procesos serán explicados aquí con relativo detalle, pero sí con la suficiente extensión para ser comprendidos, dado que no es este el objeto principal del trabajo.

Entre los aspectos que se tratarán están los siguientes:

1) Los magmas y los minerales.

Los depósitos minerales, tanto propios en el terreno como secundarios o terciarios.



Los minerales tienen una natural relación con las rocas ígneas. Los depósitos minerales se presentan formando grupos en cuerpos ígneos intrusivos e junto a ellos.

Esta relación de los minerales con el magma, junto con la observación de la presencia de depósitos metálicos, como la hematita en fumarolas activas y la de depósitos de minerales de plomo, zinc, cobre, plata y oro en manantiales termales antiguos, ha llevado a la conclusión de que buena parte de los minerales tienen una estrecha relación con los magmas de los cuales se derivan las rocas ígneas.

Se puede decir que está fundamentado por esto todos los geólogos que el magma de origen no sólo a las rocas ígneas, sino también a gran número de yacimientos minerales.

El grado de relación entre los depósitos minerales y el magma varía, pues algunos minerales son parte constitutiva del magma mismo y no pocos fueron depositados en las rocas ácidas, por sí mismos que actúan, procedentes del magma, y otros, son convecciones de diferentes maneras.

La formación de yacimientos minerales es compleja. Se han formado mediante procesos múltiples, tanto que algunos son sólo una parte de los procesos principales que forman los yacimientos minerales.

Entre las agencias que intervienen para formar los yacimientos minerales, el agua desempeña un papel muy importante, ya sea

el agua de un lago o de un río, agua meteórica o agua del mar, o bien agua en forma de vapor.

La **immigración** desempeña también un papel importante y no puede dejarse a un lado, la acción de los gases, vapores, sólidos en solución, la atmósfera y la roca encajante.

El **magma**, que por muchos geólogos también es considerado de agua, es masa de materia en fusión situada dentro de la corteza terrestre, a partir del cual cristalizan las rocas ígneas, pero su composición no es la misma que la de las rocas a que dan origen ya que el magma contiene agua y pequeñas cantidades de sustancias volátiles que escapan antes de producirse la consolidación total de las rocas.

La **húmedad** de los yacimientos puede deducirse basándose en la experiencia lograda en otros depósitos que ya están en explotación, de los cuales se tiene estudiado el proceso de formación y hasta en los más pequeños detalles del yacimiento.

Puede haber diferentes procesos que actúan para producir variedades de yacimientos de un mismo metal, tal es el caso del

**hierro**. La distinción entre los procesos es vital. Un yacimiento mineral formado por procesos de sedimentación presenta las características de una roca sedimentaria que son: continuidad lateral, pequeño espesor y uniformidad de composición; en cambio el formado por sustitución hidrotermal será: vertical o lateral-

mente fragmentado, de pequeño tonelaje e irregular.

En forma simplificada se mencionarían los procesos más importantes de formación de minerales:

1. Concentración magmática o dentro del magma que se enfría.
2. Alteración de la roca en contacto con el magma que se está enfriando.
3. Depósitos por aguas calientes procedentes del magma que se enfría.
4. Depósitos a partir de soluciones en mares y lagos.
5. Concentración por intemperización y por la acción de las aguas subterráneas.
6. Concentración mecánica.

#### 1. Concentración dentro del magma

Cuando los minerales metálicos se funden, los compuestos metálicos pesados se hunden hasta el fondo mientras que los silicatos, que son ligeros, ocupan la parte superior a manera de residuos o espuma.

Los magmas que se forman en depósitos o bolsas, temporalmente, dentro de la corteza terrestre, son empujados hacia arriba y luego se consolidan. La presión es zonal. En la profundidad, la temperatura es superior al punto de fusión de las mismas, pero la enorme presión que motiva el peso de las rocas cercanas a la superficie impi-

de la fusión.

Cuando disminuye esa presión por fallas o por eliminación de la capa superior, por los agentes erosivos, se puede producir la fusión y la formación del magma.

El calor acumulado por radioactividad puede ocasionarlo, lo mismo que el calor generado por los movimientos tectónicos.

El magma líquido, lo mismo que todo líquido a presión, se desplaza hacia el lugar donde es menor la presión, generalmente hacia arriba. Ello puede ser provocado también por movimientos tectónicos a exprimir el magma; porque el magma funde y hace parte suya la roca con la que limita, abriéndose un camino hacia arriba. En su tránsito, el magma llega a remover bloques rocosos del techo con que limita, los cuales caen en el líquido, originando los enclaves. Puede empujar lateralmente las rocas y deslizarse entre fracturas a lo largo de planos estratificados, formando lacolitos o diques. Si llega a la superficie da origen a erupciones volcánicas, o también puede solidificarse en las profundidades formando batolitos.

Los yacimientos minerales se forman de las masas ígneas intrusivas por simple cristalización o por concentración por diferenciación.

Puesto que los magmas pueden ser soluciones, la cristalización de los minerales componentes depende de la solubilidad de los mismos en el resto del magma. Empezará cuando la temperatura

del magma esté por debajo de los puntos de saturación de los constituyentes. La cristalización no está determinada por la temperatura de fusión, aunque ningún mineral puede cristalizar por encima de su punto de fusión. Un magma puede permanecer fluido a una temperatura inferior al punto de fusión de sus componentes. La cristalización comienza por abajo de ese punto y al descender la temperatura se produce la cristalización que da origen a los minerales independientes. Las sustancias más insolubles cristalizan primero (minerales accesorios como zircón, titanita, rutilo, ilmenita, magnetita, cromita, etc.)

La existencia de minerales como el zircón, rutilo, mica, etc. que se encuentran relacionados con la formación de pegmatitas en Oaxaca, se han originado conforme a este proceso en gran parte.

Entre los minerales esenciales que cristalizan primero siguiendo un orden de basicidad decreciente, tenemos: olivino, piroxeno, plagioclasa, ortoclasa, mica y cuarzo, siguiendo esta una sucesión normal, desde las rocas ultrabásicas hasta las silíceas.

Subtraídos los minerales más básicos del magma, el magma-residuo se convierte progresivamente en más silíceo. Tal es el caso de los magma-residuo graníticos, los cuales al penetrar en fisuras por presión, forman pegmatitas.

En magmas básicos, el magma-residuo puede ser rico en hierro. Las sustancias volátiles o mineralizadoras se concentran

en los "líquidos madres" de los magmas silíceos restantes y pueden diferenciarse formando minerales raros.

Los "líquidos madres" constituyen soluciones magmáticas que dan origen a la mayoría de los yacimientos minerales.

Puede suceder que un magma no solamente cristalice formando primero ciertos cristales, quedando la porción líquida del mismo empobrecida de los componentes que integraron los dichos primeros cristales. Los primeros cristales son principalmente minerales pesados que caen al fondo del líquido no tan pesado como ellos. Conforme avanza la cristalización, los cristales se solidifican gradualmente y encima de ellos queda un líquido de diferente composición (magma residuo).

Esta última variedad de la cristalización es una teoría que ha ganado muchos adeptos entre los geólogos dado que se ha comprobado que hay diferenciación por cristalización ya que al producirse cristalización tras cristalización, los minerales se separan y reúnen del mismo modo, restando cada vez del líquido residual diferente, sus constituyentes, dejando un magma-residuo de diferente composición. El último magma-residuo se consolida formando rocas de composición completamente diferente a las primeras.

Para concluir diremos que los yacimientos minerales magmáticos se les denomina también segregaciones magmáticas, inyecciones magmáticas o depósitos sinérgicos ígneos.

Muchos yacimientos magmáticos no han permanecido en el

lugar de acumulación original, sino que fueron inyectados en la roca circundante, dado que atraviesan las estructuras que los encierran, teniendo fragmentos de dicha roca, o forman intrusiones en otras rocas. Muchas de las grandes concentraciones de magnetita e ilmenita son inyecciones. (.)

## 2. Alteración de la roca en contacto con el magma

Acontece cuando los minerales que componen la roca por alterar son susceptibles de reaccionar químicamente cuando se calientan (calcita) y cuando son introducidos nuevos elementos, por fluidos gaseosos, calientes, emanados del magma.

Este es el origen de la producción mineral de cobre que está en la caliza en contacto con un cuerpo intrusivo de roca ígnea.

En gran parte el cobre, el azufre y el hierro, ajenos a la caliza inalterada, requirieron gases para su formación y procedieron de los magmas en estado gaseoso.

Parece probable que éste sea el origen de los depósitos de cobre, varios kilómetros al sur de Taviche, puesto que entre Ocotlán, Ejutla y dicho lugar hay rocas ígneas, deformación e intrusiones, aunque la compleja geología del área oaxaqueña hace pensar en que sean diferentes las fases de mineralización que pudieron mezclarse.

La forma principal de alteración es por reemplazamiento. En este proceso los componentes de los minerales de la roca son

... y la mayor a las minerales menores reemplazados, volutas a volutas por minerales valiosos y por otros componentes dados, en forma de fluidos gaseosos.

La temperatura de formación de los minerales de contacto varía entre 500 y 1000°C.

La presencia de ciertos minerales constituye un termómetro geológico, pues las temperaturas a que se forman muchos minerales han sido investigadas a través de experimentos de laboratorio.

Las rocas carbonatadas siempre son muy asociadas por la intrusión del magma. La caliza y la dolomita para recristalizan fácilmente y se recombinan con los elementos introducidos.

Las areniscas resultan muy poco afectadas; recristalizan en cuarzo.

Las esquistos y pizarras resultan calentados y endurecidos o bien alterados.

presencia de inclusiones en rocas por las cuales pue-

2. Depósitos formados por agua caliente que proceden del magma al enfriarse.

3) presencia de depósitos de emplazamiento para la depósitos. Gran parte de los depósitos minerales conocidos son resultado del contenido gaseoso.

los depositados por el agua caliente en los espacios porosos de las

rocas. Con minerales en solución, las aguas se mueven hacia abajo

4) suficiente cantidad de material mineral al depositarse y hacia arriba desde el magma que se enfría.

5) una gran variedad de depósitos minerales depositados.

Los geólogos creen que debido a los procesos hidrotermales más tempranos hidrotermales son aguas calientes cuya temperatura existen gran variedad de depósitos minerales metálicos que proporcionan la mayor parte del oro, plata, plomo, cobre, zinc, mer-



curio, antimonio, molibdeno y la mayoría de los metales menores y muchos minerales no metálicos, del mundo.

Es de la opinión del autor de este estudio, que los depósitos de plata, oro y plomo de Ocotlán, son debidos a este proceso en relación genética con las extrusiones ígneas, ya que cada vez que aparecen perturbaciones orogénicas alrededor del Océano Pacífico, acompañadas de enormes avenidas de lavas se forman ricos filones hidrotermales. Por otro lado, cuando se producen las mineralizaciones son de corta duración y separadas entre sí por largo intervalo de tiempo, lo que prueba su asociación con la actividad ígnea.

Los factores principales para la formación de depósitos hidrotermales son:

- 1) disponibilidad de soluciones mineralizadoras susceptibles de disolver y transportar material mineral;
- 2) presencia de aberturas en rocas por las cuales pueden canalizarse las soluciones.
- 3) presencia de lugares de emplazamiento para la deposición del contenido mineral;
- 4) reacción química cuyo resultado sea la deposición;
- 5) suficiente concentración de materia mineral depositada para llegar a constituir depósitos explotables.

Las soluciones hidrotermales son aguas calientes cuya tem-

peratura oscila entre 500 y 50° C.

Los depósitos más comunes son los filones de fisura.

Un filón de fisura es una masa mineral tabular que ocupa - hasta varias fisuras.

Las fisuras pueden formarse debido a tensiones que actúan en la corteza terrestre, bien haya o no fallas; asimismo, pueden formarse o ampliarse en el momento de la mineralización, por la fuerza intrusiva de las soluciones que empujan desde abajo como en las y separan las rocas siguiendo líneas de debilidad. También la fuerza de cristalización de los cristales al adquirir grosor puede servir como una cuña y formar una fisura más amplia en las rocas que están situadas cerca de la superficie.

Aclarando con más detalle, los efectos de contacto de las emanaciones gaseosas a elevada temperatura que escapan durante la consolidación de las magmas intrusivos son dos:

- "a) efectos térmicos, sin apreciable adición de materias que dan origen al "metamorfismo de contacto" y
- "b) efectos térmicos combinados con adiciones procedentes de la fuente magmática, que originan el "metasomatismo de contacto". (18) y (6)

La distinción que se hace consiste en que el "metamorfismo de contacto" no da origen a yacimientos minerales salvo casos raros de yacimientos no metálicos como los de salmirita (anhidrosil

caso de alúmina,  $2SiO_2 \cdot Al_2O_3$ , refractario), y el "metasomatismo de contacto" puede dar origen a yacimientos de gran valor económico.

El metasomatismo de contacto se manifiesta por:

- 1) Efectos endógenos en las orillas de la masa intrusiva, y
- 2) efectos exógenos en las rocas invadidas por la masa (gnea.

Los primeros consisten en cambios de textura o composición mineral en la zona marginal; pueden presentarse minerales pegmatíticos como los granates.

Los segundos consisten en un endurecimiento de las rocas circundantes y en una transformación de las mismas.

El metasomatismo de contacto difiere del metasomatismo de contacto en que lleva adiciones importantes a partir del magma, las que por reacción metasomática (efectos de contacto de las emanaciones gaseosas a elevada temperatura con las rocas y que escapan durante la consolidación de los magmas) forman nuevos minerales en condiciones de elevada temperatura y presión. A los efectos metamórficos se añaden los metasomáticos que traen constituyentes agregados desde el magma a los nuevos minerales.

En las emanaciones están muy saturadas, de los componentes que forman depósitos minerales, resultan yacimientos metasomáticos de contacto, sobre todo en un medio de rocas calizas.

El metasomatismo térmico sólo implica recristalización y re-

combinación de los componentes reosos.

Los minerales transportados por las aguas magmáticas rellenan aberturas de otros tipos como planes de estratificación, veñitas, cavidades de brechas ígneas, cuernas de solucón y otras.

Los minerales se forman según una sucesión ordenada (secuencia).

En los depósitos que rellenan cavidades el mineral está dispuesto en capas sucesivas, depositándose la más reciente encima de la antigua.

Entre los minerales comunes de los yacimientos de menas, la sucesión comienza con cuarzo, siguen los sulfuros o arseniuros de hierro, blenda, calcopirita, bornita, galena, oro y minerales argentíferos.

En los depósitos de reemplazamiento se forma la sucesión con la substitución de los primeros minerales por los posteriores.

La causa general de esta sucesión en los rellenos de cavidades se considera que se debe, a una disminución de la solubilidad de los minerales solubles a consecuencia del descenso de temperatura y de presión. Así, los minerales más solubles permanecen más tiempo en solución (a consecuencia de que disminuye la temperatura y la presión) y los menos solubles son los primeros que se precipitan.

En los yacimientos de reemplazamiento, el mineral substituido es más soluble que el que se deposita.

Con todo y que varían en detalles los yacimientos resultantes del resque de cavidades, éstos depósitos tienen un origen común general en las aguas que ocupan de los magmas en proceso de enfriamiento.

Se conoce que estas aguas que se forman fueron soluciones de magma porphyre.

- 1) Muchos minerales que se encuentran en depósitos de esta clase son formados artificialmente en el laboratorio por precipitación de soluciones acuosas.
- 2) Los manantiales de aguas termales que son de origen magmático depositan minerales de oro, plata, cobre y otras metales, que son similares a los que se encuentran en vetas de flúor.
- 3) Algunos cristales de las vetas de flúor contienen burbujas de agua atrapadas y el análisis de la misma muestra que contienen disueltos el azufre, el cloro y el fluor, que se encuentran en aguas termales de las regiones volcánicas y no en el agua común.

#### 4. Depósito a partir de soluciones en maras y lagos.

Quando se evaporan las masas de agua salina se origina una concentración de sales solubles, que al producirse la sobresaturación de una sal, ésta se precipita. Las sales menos solubles son las primeras en precipitarse y las más solubles son las últimas. La

lubilidad y la depositación de la sal está afectada por la temperatura y la presencia de otras sales en solución. El tiempo es otro factor importante en la formación de las sales.

Con el agua de mar se produce depositación hasta que por evaporación el volumen de sales ha sido concentrado a casi la mitad del original. El yeso se deposita cuando el volumen queda reducido a una quinta parte de lo que era, y la sal, cuando el volumen es sólo una décima parte.

El volumen total de sales existentes en el océano se calcula en 21.0 millones de kilómetros cúbicos, suficiente para formar una capa con espesor de 60 m. en el fondo del océano. El  $\text{NaCl}$  tendría 47.5 m.; el  $\text{MgCl}_2$ , 5.8; el  $\text{MgSO}_4$ , 3.9; el  $\text{CaSO}_4$ , 2.3.

Cuando se producen lentas oscilaciones de la tierra o del mar, grandes porciones del océano quedan incrustadas y se evaporan gradualmente hasta el punto de depositar yeso y sal común.

Según Posnjak E. (Deposition of Calcium Sulphate from Sea Water) en regiones templadas y áridas cabe esperar la depositación de yeso mediante el efecto deshidratante del agua de mar.

Una depositación todavía mayor de sales crea los ricos depósitos de potasa.

La depositación del sulfato de calcio origina capas de yeso o de anhidrita, de un espesor de decenas de centímetros a decenas de metros. El yeso es uno de los recursos no metálicos más importantes; la anhidrita tiene poco empleo porque absorbe el agua y

se hincha, cosa que no sucede con el yaso propiamente dicho.

El autor es de la opinión de que la existencia de formaciones mesozoicas, las condiciones del clima, y el espesor de las capas de yaso en el norte de la región estudiada, indican la existencia de mares de haza extensivos y que al quedar aisladas, los líquidos residuales se concentraron en subcuencas sominizadas que recibían aportaciones de agua, tal vez a partir del desahue de los ríos, cuando esta región quedó cerrada debido a la formación de las Sierras Madre.

Las sales de los lagos salados son más diversas que las del océano, ya que cada lago es una unidad aislada y diferente, que recoge en ella misma las sales solubles de su cuenca. Como la evaporación es más fuerte en las tierras áridas interiores, en ellas donde se encuentran algunos lagos con una salinidad que puede ser superior a la del océano. Los lagos pueden tener otras sales que no son cloruros (carbonatos, sulfatos, boratos), dependiendo de su localización frente a algunos sedimentos, rocas o fuentes. Una evaporación prolongada da origen a aguas ricas en sales magnésicas. Los lagos ricos en carbonatos y sulfatos sódicos son bastante frecuentes en zonas áridas, donde se hallan rocas ígneas o sedimentarias ricas en sulfatos. Por intemperización algunas rocas ígneas dan sodio y potasio, más abundantemente que las rocas sedimentarias.

## **5. Concentración por intemperización y zona subterránea.**

Estos procesos son químicos; se fundan en el principio de que el cambio en el medio en que está un mineral lo hace presa del ataque químico.

Buena parte de los minerales de vetas de fisura, estables a las altas temperaturas a que cristalizaron en las soluciones, se vuelven inestables en la zona de aeración de la superficie de la tierra.

Cuando la erosión ha desgastado la superficie al grado de que los minerales profundos lleguen a quedar dentro de la zona somera en la cual el aire y las aguas subterráneas los pueden atacar, causan su descomposición, los oxidan y disuelven los elementos metálicos, que son arrastrados hacia abajo a través de la zona de aeración. En un medio fuera del alcance del aire se depositan generalmente como sulfuros.

En una veta de fisura los sulfuros añadidos enriquecen el depósito mineral aumentando la ley del yacimiento. Este proceso de adición se denomina: proceso de enriquecimiento secundario, y es el enriquecimiento natural de un cuerpo mineral por adición de material originado posteriormente.

Algunos minerales, sin embargo se forman por sustracción de mineral antiguo. Esto constituye la concentración residual, que es el resultado de la acumulación de minerales valiosos cuando son



degradados durante la intemperización de los componentes íntiles de los depósitos minerales.

El requisito para la concentración residual es la presencia de rocas o filones de minerales valiosos cuyas substancias íntiles sean solubles y las feldespatos.

Las condiciones climáticas deben ser favorables a la descomposición química. El relieve no debe ser demasiado pronunciado, pues de otra manera las aguas podrían arrastrar el residuo al tiempo de formarse.

Es también necesaria una gran estabilidad para que los residuos tengan tiempo de acumularse en cantidades importantes.

Valores depósitos de mineral de hierro, oro, estaño, feldspato, níquel, arcilla, bauxita, manganeso y otros se acumulan en forma de concentraciones residuales.

En los climas templados, el silice de las rocas silíceas no se degrada enteramente, sino que permanece en forma de arcilla, junto con ácidos hidratados y residuos de cuarzo. La existencia de las arcillas caucásicas y el color de las mismas dependen también de la vida bacteriana y de la formación de compuestos orgánicos, principalmente a base de la vegetación, sobre todo en las partes subtropicales con estaciones húmedas y secas alternadas.

La situación geográfica tiene importancia en la intemperización desde el punto de vista de la formación de depósitos minera

les de importancia económica, pues por ejemplo, una roca silíceas con poco hierro, al ser intemperizada, puede dejar un residuo de arcilla de buena calidad. En climas templados, otra roca rica en manganeso, dejaría un residuo con elevado contenido de manganeso, pero con bastante sílice, lo que la haría inútil como mena de manganeso. Pero si estuviera en clima tropical, el sílice se desplazaría casi totalmente, dejando un residuo de mineral de manganeso explotable.

Los depósitos residuales de manganeso se forman por acumulación de los óxidos insolubles liberados por intemperización de rocas magnésíferas. También se forman por intemperización de calizas, que contienen menor cantidad de manganeso, siendo necesario una reducción mayor de la caliza para llegar a producir un depósito singular de manganeso.

Los agentes de descomposición que actúan en la superficie son: agua, oxígeno, anhídrido carbónico, calor, ácidos, alcalios, vida vegetal, vida animal y una parte de los productos solubles de las mismas rocas.

Sin el agua es casi nula la descomposición. El oxígeno produce la oxidación. El anhídrido carbónico en el agua es un disolvente poderoso. Los ácidos, como el sulfúrico y algunos sulfatos producidos por la oxidación de los sulfuros, son activos agentes de descomposición.

### **6. Concentración mecánica.**

Es la separación natural por gravedad de minerales pesados de los ligeros por medio del agua o el viento, con lo cual los minerales más pesados se concentran en depósitos denominados placeres.

Esta separación implica dos fases:

1) que la intemperización deje libres los minerales está-

bles separándolos de la matriz;

2) La concentración de los mismos que puede producirse

tan sólo si los minerales valiosos poseen peso específico elevado, resistencia a la intemperie y durabilidad.

Los minerales de placer que tienen estas propiedades son principalmente oro, platino, magnetita, cronita, ilmenita, rutilo, cobre, monacita y otros.

Puede ser ésta la formación de los depósitos de ilmenita que se encuentran principalmente en gravas fluviales cerca de Zimatlán, Oaxaca.

Los minerales ya liberados y desmenuzados son arrastrados lentamente por las aguas, hacia el río o playa, más próximos. Las aguas de los ríos barrea los materiales ligeros que constituyen la matriz y los minerales más pesados caen al fondo.

Las olas y las corrientes marinas de las costas separan los minerales pesados de los ligeros, y los granos gruesos de los más finos.

De miles de toneladas de materia inútil, una pequeña canti-

dad de mineral pesado se concentra gradualmente en las gravas, - hasta que ha acumulado en abundancia suficiente para constituir los depósitos llamados placeros.

La explotación de los placeros se hizo primero a mano, lavando simplemente los sedimentos de río en una cacerola. Más tarde se hizo lavando chorros de agua a presión contra bancos de grava y arena para desprender el material, lavando en estrechos canales duros de madera, ligeramente inclinados, con rebordes en los que se retiene el oro, por ser más pesado, que el limo, la arena y la grava, que continúan su curso. Actualmente se emplea el dragado, que es más eficiente.

#### Bibliografía especial sobre este estudio.

Bateman Alan M. Magmas and Ores. Economic Geology. 1942.

Eckel E. C. Cements, Limes and Plasters. Nueva York. 1928.

Hullin C. D. Factors in The Deposition of Hydrothermal Ores. Economic Geology. 48 1950.

Tarr W. A. Introductory Economic Geology. Nueva York. 1930.

## VII Exploraciones, comprobaciones y estudio de yacimientos.

En este capítulo se presenta un estudio por zonas minerales del Centro del Estado de Oaxaca, las cuales se visitaron por el autor de este trabajo años atrás, y el ordenamiento no se hace por tipos de minerales para cada zona, sino siguiendo el orden en que se estuvieron explorando, de acuerdo a un itinerario que fué seguido por el autor de norte a sur en el Centro de Oaxaca.

En el estudio de cada zona no se ha dejado de considerar la situación de las exploraciones, la localización de los yacimientos, la explotación y otros aspectos concernientes.

La mención, en este estudio, de lugares ajenos al Estado de Oaxaca, obedece al deseo de comparar la importancia de la explotación minera de la región con otros lugares de la república, así como de ilustrar lo relativo a este particular.

En las mapas metalogícos que se anexan a este trabajo, se relacionan en algunos casos los depósitos minerales con los factores geológicos y, posteriormente, al ser localizados en el campo, mediante estas posibles relaciones, se ubican en el mapa los lugares así reconocidos.

Como se usaron procedimientos expeditos, el autor no pudo preparar cartas, sino bosquejos geológicos muy incompletos, porque la cubierta destruida, la vegetación, etc., ocultan gran parte del terreno y no se pueden consignar otros datos que los de la superficie.

Como se usaron procedimientos expeditos, el autor no pudo preparar cartas, sino bosquejos geológicos muy incompletos, porque la cubierta destruida, la vegetación, etc., ocultan gran parte del terreno y no se pueden consignar otros datos que los de la superficie.

ficio.

Para un trabajo con mayores alcances se necesitan otros medios, como la prospección geofísica, que sí ofrece datos bastante precisos.

Las zonas que se exploraron por el sur de este estado se localizan entre los meridianos  $96^{\circ} 20'$  oeste y  $97^{\circ} 15'$  oeste de longitud y el paralelo  $16^{\circ} 15'$  norte y el paralelo  $17^{\circ} 47''$  norte de latitud geográfica, correspondiendo en su parte norte a la cuenca del río Paríán o Tomellín y al sur de esta cuenca incluye la zona denominada Región Pegmatítica de Tejixtlahuaca y La Carbonera; las zonas metamórficas de Tejalpa, Zimatlán, Ocotlán-Taviche, Ejutla y Miahuatlán que corresponden propiamente al centro y al sur del área estudiada.

#### TOMELLÍN

Tomellín se encuentra a la altura del kilómetro 288 del ferrocarril Puebla-Oaxaca, hasta este lugar se fue observando un leuconitólito formado en gran parte por conglomerados. Continuando a Oaxaca la vía sigue por la margen del río Paríán que se encañona por muchos kilómetros.

En el kilómetro 260.5 afloran calizas con rumbo este oeste y echados de  $61^{\circ}$  al norte. Más al sur se observó que las calizas hacen contacto con las lutitas carbonosas que presentan algunas y pequeños plegamientos.

En el kilómetro 265 se vió claramente la estratificación de las lutitas negras en contacto con una roca ígnea basáltica de color gris y hasta el kilómetro 276.1 aparece una zona de rocas basálticas rosadas,

que denotan ciertas cantidades de óxidos de hierro. Hasta este kilómetro todavía no se notaba ningún cuerpo mineralizado que llamara la atención.

Del kilómetro 290 hasta la población de Paríán, el autor comprobó como la roca granodiorítica bandeada contiene frecuentes fragmentos de caliza que vienen a ser cantos rodados, ya que en la parte alta de la región es donde se encuentran las calizas.

Entre el kilómetro 281.0 y el 309.0 se ven costados lugares con hilos de mica, algunos con hoja de más de 20 cm. de largo y grueso del cuerpo hasta de 60 cm.

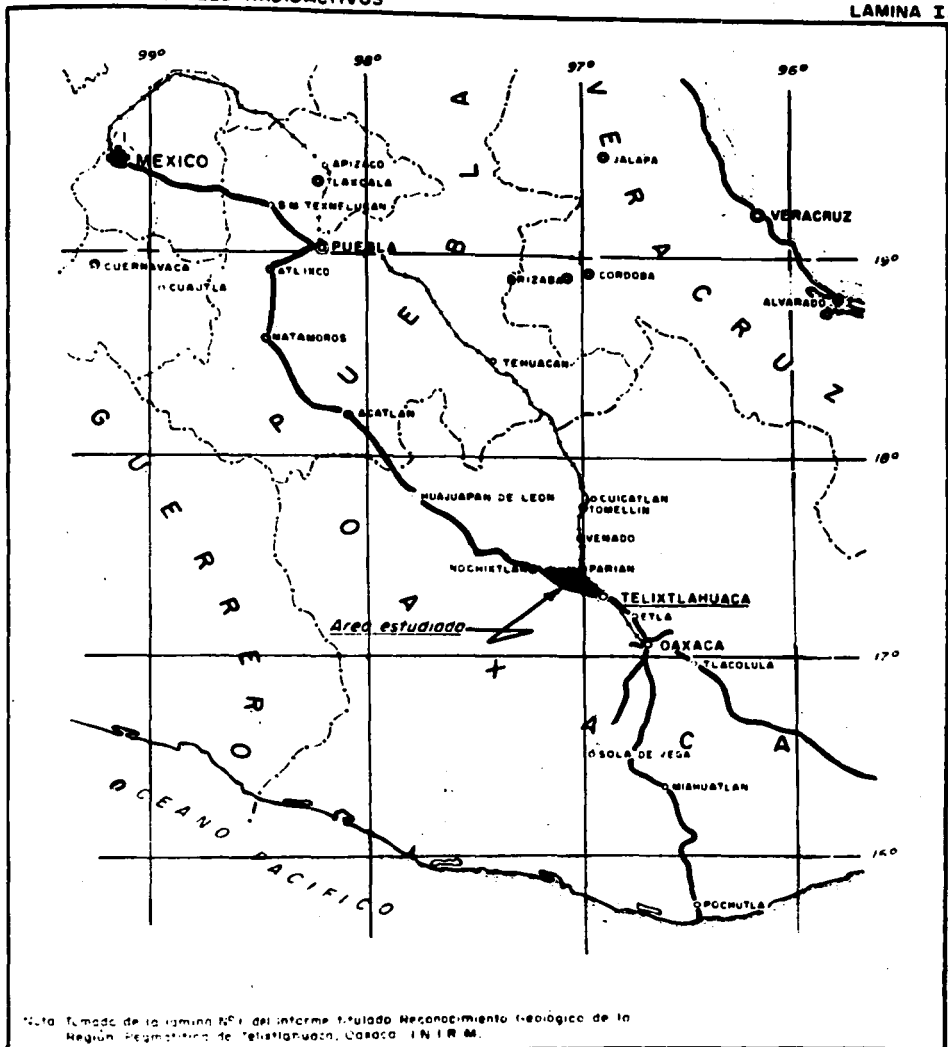
#### PARIAN

Paríán es una zona aurífera y en el "Resumen del informe correspondiente a la exploración geológica minera de la Mixteca de Oaxaca", publicado por el Instituto de Recursos Minerales no Renovables (28), al mencionarse las "Vetas de Paríán", se dice lo siguiente:

"Se localiza en el kilómetro 309 de la vía del Ferrocarril Mexicano del Sur, cerca de la ciudad de Oaxaca...

"Las rocas son graníticas y pegmatíticas. En algunos lugares aparecen en contacto con las calizas. El sistema de vetas de cuarzo con leyes de oro, ha sido trabajado en 22 lugares distintos, siendo todas las vetas persistentes a rumbo de profundidades sus potencias son variables entre 5 y 50 cm. Los rumbos varían de norte  $40^{\circ}$  a este  $65^{\circ}$  y los echados de  $62^{\circ}$  a  $65^{\circ}$  norte."

PLANO DE LOCALIZACION



Nota: Tomado de la lamina N° 1 del informe titulado Reconocimiento geológico de la Región Regiomontana de Tlaxiahuaca, Oaxaca. I.N.I.R.M.

PLANO DE LOCALIZACION





"Por informes se sabe que entre Sedas y Paríán se trabaja antiguamente algunas vetas angostas de cuarzo argentífero, en contrándose actualmente abandonadas y derrumbadas".

En efecto, pocos kilómetros al norte de Paríán, junto a Santa Catalina y cerca del ferrocarril, se han encontrado vetas de cuarzo auríferas, con potencia de un metro y que el autor tuvo la oportunidad de comprobar que no se trabajan.

"Las características de las vetas de Paríán permiten crear que las posibilidades de esta zona son buenas y es de recomendarse un estudio geológico detallado, así como un muestreo completo"

Paríán pertenece al municipio de San Francisco Telintahuaca y se considera zona aurífera. La Dirección General de Minas y Petróleo tiene desde 1929 en este municipio cerca de 70 solicitudes para explotar oro; para la explotación de mica cerca de 20 solicitudes y para explotar grafito, 6 solicitudes. Asimismo hay solicitudes para explotar manganeso y feldespatos.

La Estación de Paríán está en la margen derecha del río del mismo nombre y unos quinientos metros arriba de la confluencia del río Paríán con el río Santa María que baja del noroeste. Paríán descansa sobre rocas granodioríticas, aunque en los cerros del lado poniente se presentan las calizas.

Al noroeste de Paríán el autor encontró varias minas antiguas, derrumbadas e inaccesibles. La gente de estos lugares asegura que hay mineral suficiente para instalar plantas de beneficio,

ya que se explotaban minerales de alta ley de oro. Entre las minas más famosas de la zona están: El Rescate, La Párisima, La Casta, El Barril, etc.

La mina de El Rescate, considerada la principal, se localiza cerca del kilómetro 306.8 de la vía del ferrocarril a Ocuca y el autor pudo comprobar que se inicia con un socavón que está a cinco metros arriba del lecho del río en la margen derecha.

La boca queda abajo del piso de la vía y el resago se tiraba directamente al río. El socavón está colocado sobre una veta de cuarzo que se introduce en una fractura angosta. El mineral se obtenía de hilos de piritas que se encontraban en el respaldo del cuarzo.

La mina de La Casta la constituyen cuatro socavones. El socavón principal tiene una fractura en la diorita que presenta algunos hilos de cuarzo como de unos 12 cms. de ancho. El oro que se encuentra en esta mina viene con las piritas y éstas se presentan formando embarraduras en el respaldo de los hilos. Este oro tiene una ley como de 15 kilates e sea un 60% de oro.

Hay otras minas que cuentan con hilos angostos de cuarzo informales y solo se justificaría su explotación mediante el trabajo de gambusinas.

En esta zona de Paríam se encuentra yuzú y al respecto, el Consejo de Recursos no Renovables afirma lo que sigue:

"Los criaderos de yeso de Paríam quedan a dos kilómetros

de la estación del Ferrocarril Mexicano del Sur.

"Presentan la forma de manto contenido en rocas calizas, con potencias de 69 metros y han sido reconocidos en 500 metros de longitud. El yeso es de buena calidad. La falta de obra impidió estimar el tonelaje, pero se cree que son varios millones de toneladas".

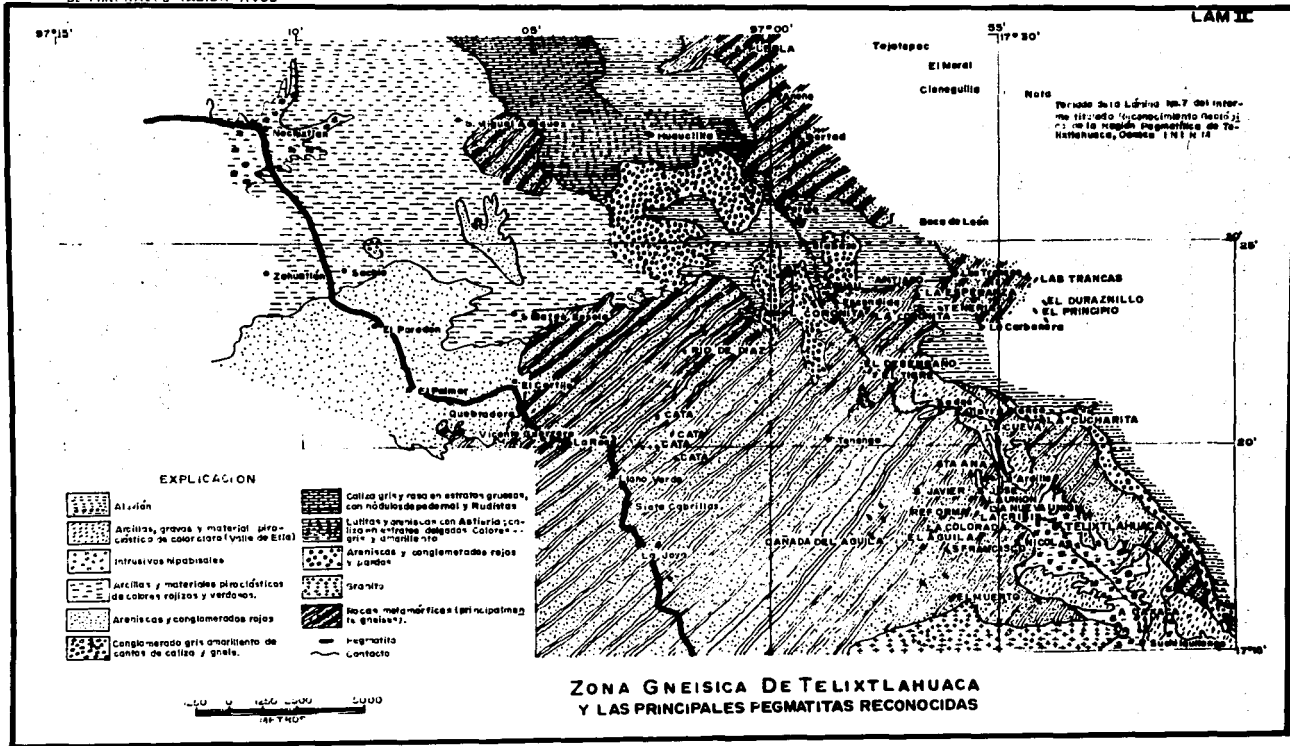
"Por el inmenso tonelaje que guarda y su cercanía a vías de comunicación constituye una excelente reserva para el abastecimiento de la ciudad de México en el futuro".

En ésta, de Parícutin a Buechilla, se notan yacimientos de yeso que presentan unos 50 metros de espesor con rumbo de sur a norte y echado de 40° al este, intermedio entre las granodioritas y las calizas.

Es importante aclarar que la producción de yeso de importancia nacional se localiza en Baja California Sur, que en el pasado lustro llegó a producir el 80% del total que se produjo en el país; en la misma proporción se exportó a los Estados Unidos.

En el año de 1958, de las 33 251 000 toneladas métricas de yeso crudo que se produjeron en el mundo, México contribuyó con 747 000 toneladas, ocupando el octavo lugar mundial; en 1959 fue de 785 000 toneladas esta producción.

Es conveniente hacer notar que el impuesto de producción que se ha venido pagando en México para el mineral de yeso es muy bajo, que un alto porcentaje de la producción se ha exportado y que



ha habido empresas que no pagan impuestos de exportación.

El yeso cazaqueño no se ha cuantificado convenientemente y para esta zona de Paríán el autor estima un tonelaje de cerca de - 3 000 000 de toneladas.

Otro mineral existente en la zona de Paríán es la mica que se encuentra en casi todos los lugares donde aparecen las rocas - gneílicas con intrusiones de diques pegmatíticos, pues con ellos se encuentra la mica que por su origen se liga íntimamente (Láminas II y IIIA).

"Durante la Segunda Guerra Mundial la mica constituyó un factor de bonanza en Oaxaca, pues había pedidos por toda la que pudiera producirse. . . El fin de la guerra trajo como consecuencia el término de la demanda. . ." (28) según lo que indica el Consejo de Recursos no Renovables. En la actualidad vuelve a tener la mica una pequeña demanda local, pues su explotación tiene lugar en pequeña escala.

El grafito es otro mineral que también se encuentra en la zona de Paríán. Se localiza entre las poblaciones de Sedas y Paríán, constituyendo bolsas de grafito amorfo, así como láminas de grafito cristalizado. El mineral se presenta principalmente en las pegmatitas, cerca del contacto con las calizas. El autor es de la opinión de que son tan pequeños los bolsones que se encuentran que no permitirían una explotación regular por el contenido tan reducido de ese mineral, pese a que es de muy buena calidad.

Es conveniente aclarar que el grafito es un carbón puro y por tanto es químicamente igual al diamante, pero su estructura atómica es notoriamente diferente, por lo que son distintas sus características físicas.

Es buen conductor de la electricidad y llega a contener impurezas de óxido de hierro. A altas temperaturas es más combustible que el diamante y no lo afectan los ácidos. Es casi cristalino en cuarcita y también en algunas rocas metamórficas. Se forma de muchas maneras, pudiendo presentarse como una segregación del magma silíceo, una segregación de las materias carbonosas del magma original y resultado de una acción pneumatológica que ocurre dentro de las pegmatitas. Se obtiene también en algunos depósitos por metamorfismo de contacto y en ocasiones resulta como producto de alteración del carbón por calentamiento.

Comunemente se encuentra asociado con: el feldespato, la cuarcita, el rutilo, el titanio, la pirita, la mica y la apatita.

El uso principal del grafito cristalino está en la fabricación de crisoles para aceros, para lo cual se usa el grafito en fibras y escamas.

El grafito amorfo es mejor para otros usos: pinturas, calderas, lubricantes, lápices, aparatos eléctricos y fabricación de metales autolubricantes.

El grafito amorfo artificial se fabrica en los Estados Unidos en gran escala y se usa para electrodos.

El mejor grafito amorfo lo produce México y Corea. México produce menos de 30 000 toneladas métricas de grafito amasado.

Oaxaca junto con Seneca es uno de los principales productores. Al norte de la población de Teixtlahuaca, una compañía explotadora de grafito de Seneca, lleva ya varios años explorándolo y ha cuantificado varios millones de toneladas de mineral, (36) y que según la compañía es considerado como el mejor grafito del mundo, mejor aún que el de Madagascar y Ceilán. A estas fechas, probablemente la compañía ya empezó a producir importantes cantidades de grafito cristalino.

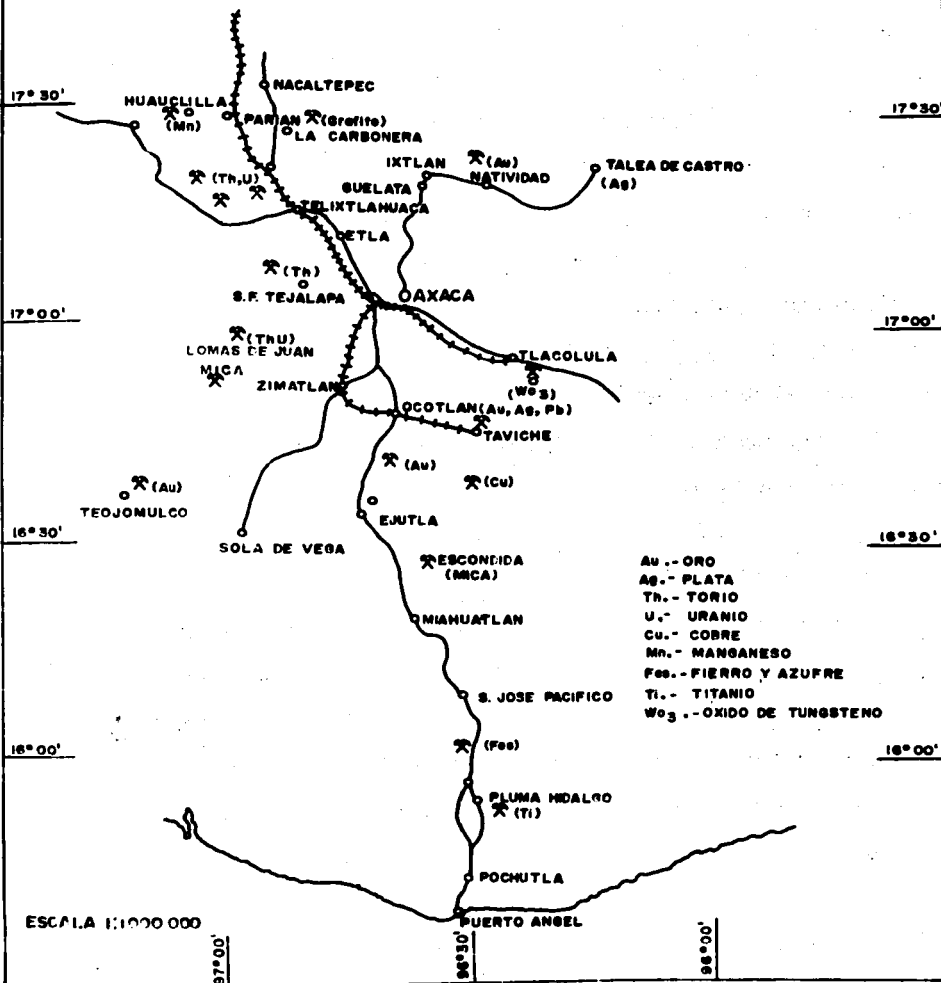
En esta zona de Oaxaca se espera una producción de 1 400 toneladas al año, con ley de 85 a 90 % de contenido de grafito, durante los primeros años. (36)

El grafito tiene dentro de la industria una clasificación convencional, llamándolo grafito cristalizado y grafito amorfo, con una diferencia de precios entre ambos de uno a diez. El de mayor valor es el cristalizado. Para diferenciarlo se someten durante quince minutos a temperatura de 1 000° C, con lo cual el grafito amorfo se quema - mientras que el grafito cristalizado permanecerá incombustible.

#### LA CARBONERA

En estas que se hicieron por la Comisión del Papaloapan en la zona de La Carbonera se encontraron cuerpos de grafito que se mantienen todavía con un contenido de 12 a 15% de grafito y el autor pudo comprobar que el espesor de los cuerpos tiene varias decenas de metros con características de gases granular cuarzo.

## PLANO DE LOCALIZACION





Se ha asegurado un positivo tonelaje del cuerpo de La Carbonera de 1000 000 toneladas de mineral, con un contenido mínimo de 10% de grafito (mina El Principio).

En el paraje La Cucharita, más al sur, también se encuentra grafito, habiéndosele asegurado al autor que el contenido de grafito en la superficie del suelo es de más de 12% y que a 10 metros de profundidad disminuye a 8%. Este yacimiento corresponde a una fractura dentro del gneis en la que se tiene una concentración de grafito amorfo. El autor calculó un tonelaje de 200 000 toneladas.

Se ha llegado a creer que el tonelaje garantizado de esta zona perteneciente a la cuenca alta del río Papaloapan es como de 300 000 toneladas métricas de gneis grafitico, el cual sería de explotación fácil debido a su localización superficial, pero es de suponerse que en esta zona de rocas metamórficas existen otras localidades con importantes yacimientos de grafito no solo amorfo sino cristalino.

El nombre que recibe La Carbonera se debe al aspecto negro de la tierra, sobre todo de su falda sur, pues prácticamente es un cerro y da la impresión de que la tierra es residuo de hornos de carbón de tierra.

Este polvo lo han confundido con mineral de manganeso que se lo se ha explotado con éxito en Haanchilla, el lugar donde se encuentran depósitos de acarrees como mineral de polvo dentro de las calizas y con leyes de hasta 58% de óxido de manganeso.

El grafito de La Carbonera se presenta dentro del gneis grafi-

tico, pero no es raro encontrarlo en pequeñas ocurrencias dentro de un mineral cipolita.

Un reconocimiento superficial de La Carbonera que hizo el autor, permite indicar que los afloramientos del grafito son abundantes, principalmente sobre el antiguo camino de diligencias de Puebla a Oaxaca, a 15 kilómetros de Tehuixtlan.

Existen otros afloramientos de grafito en lugares como San ta Ana, La Tuzarín, El Quince y otros de menor importancia.

En esta zona el consumo mayor que se hace del grafito es para fabricar lápices y se considera que este es de 60 toneladas anualmente, abasteciéndose los fabricantes directamente de los productores.

En Oaxaca se vende en ferreterías en cañotas de 35 kilos que llaman plomografía, con valor hasta de \$5.00 kg. El grafito en ocurrencias se vende en lotes de una libra con precio de casi \$60.00 libra. Este tipo de grafito se consume por los ferrocarriles de México a razón de varias toneladas anualmente.

Este grafito en polvo que produce Oaxaca se llegó a ofrecer en el extranjero a varias lapiceras que señalaron precios de \$ 750.00 por tonelada, pero de hecho ninguna lapicera lo aceptó pues "no deseaban hacer pruebas, mínimo que se trataba de un material del país".

Como consecuencia de las exploraciones geológicas efectuadas en la región, el autor de este estudio pudo localizar varias por

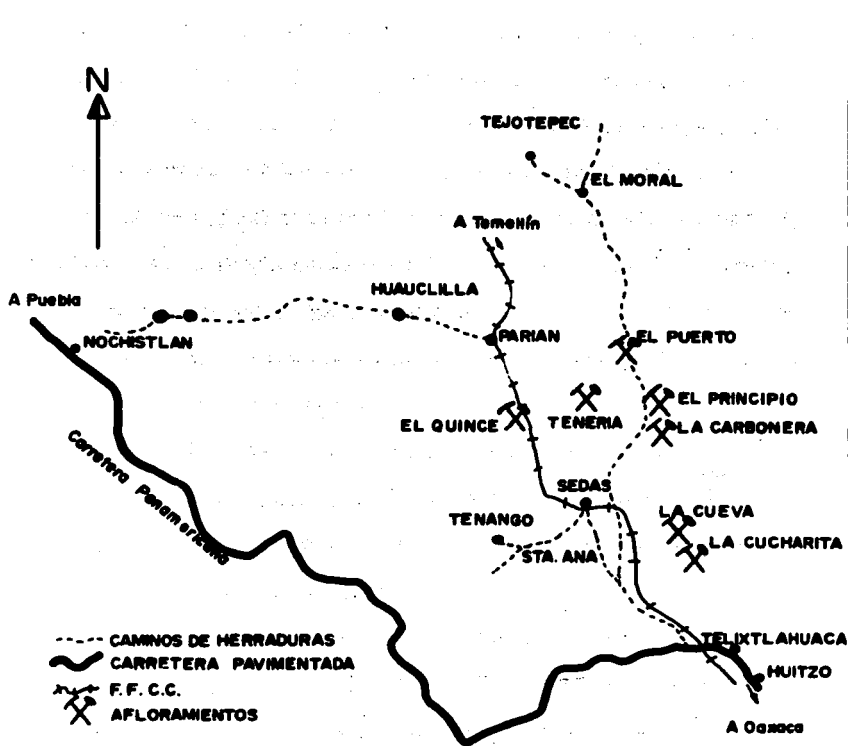
minas dentro del gasa, de las cuales se han estado extrayendo **el diamante**, explotación que se hace en forma de busconaje y que **inevitablemente** se ha estado exportando al extranjero a bajo precio, sin sospechar la presencia de **uranio** y de otros elementos como las "tierras raras".

### TEIXTLANUACA

Para aclarar diferencias de opinión que existieron entre la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Secretaría de Economía, en tre mayo y julio del año de 1953, referentes a la existencia de **minerales radiactivos** en el Estado de Oaxaca y queriendo saber la importancia de ellos y ya que la Secretaría de Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión del Papaloapan, **aseveró** que dentro de la zona pegmatítica de Teixtlanuaca se habían encontrado **minerales radiactivos** de tal importancia, que el gobierno de la república debería darle la atención necesaria a fin de proteger y aprovechar estos recursos mineros en **San Mateo**, se acordó formar una Comisión que dictaminara al respecto, quedando formada en agosto de 1953 con el nombre de **Comisión Autónoma para la Investigación de los Minerales Radiactivos**.

El área estudiada por esta Comisión queda ubicada dentro de la provincia fisiográfica conocida como "Tierra Madre de Oaxaca", (Lámina III A) abarcando parte de las Sierras de Nochistlán y San Juan del Estado, siendo su relieve muy accidentado y como ya se explicó anteriormente (relieves en dirección noroeste-suroeste,

LOCALIZACION DE LOS AFLORAMIENTOS DE GRAFITO  
EN LA ZONA DE TELIXTLAHUACA



con altitudes, entre 1 800 y 3 200 metros sobre el nivel del mar).

Las depresiones más importantes son los valles de Nechistlán y de Etla y parte de la depresión del Río Tomellán, siendo en sí todos estos valles angostos y encajonados.

Esta región está atravesada fisiográficamente por la divisoria continental que procedente del norte pasa por San Pedro Quilitongo, en donde toma una dirección suroeste hasta cortar la carretera panamericana, 5 kilómetros al suroeste de Nechistlán. Desde este punto sigue aproximadamente el trazo de la carretera hasta el kilómetro 440, de donde se dirige a la cima del Cerro de La Cruz Negra, pasando por Soles, para seguir hasta el sur paralelamente al río de Las Vacinas. Esta divisoria separa las cuencas de captación de los ríos Papaloapan y Verde.

Como resultado de los trabajos efectuados por la Comisión Autónoma para la Investigación de Minerales Radiactivos (1) y que abarcan también áreas fuera del ex-distrito de Cuicatlán, se llegó a las conclusiones siguientes:

"1) Quedó plenamente confirmada la existencia de minerales radiactivos en diversas regiones del Estado de Oaxaca."

"2) Dichos minerales radiactivos solo se han encontrado armando en las pegmatitas, las que a su vez se encuentran distribuidas en las zonas gálicas, sin que se haya encontrado hasta la fecha una ley, ordenamiento o secuencia de presentación de ellas."

"3) Per los estudios hasta ahora efectuados, se han en-

contrado que leyes, toneladas y especies minerales radioactivas localizadas en las pegmatitas han sido de leyes bajas, toneladas bajas y especies distribuidas irregularmente, lo que corrobora los estudios efectuados en otras zonas pegmatificas de diversas partes del mundo, por lo que los minerales sólo podrán explotarse económicamente como subproductos de extracción de feldespatos y otros minerales diversos de las pegmatitas. Abundan más los minerales radioactivos de torio que los de uranio en las mismas pegmatitas".

"4) En las regiones gneíscas de Oaxaca son muy abundantes las pegmatitas, lo que puede cambiar lo expresado en el párrafo 3, en lo relativo al bajo tonelaje de minerales radioactivos, tomándolos en conjunto de todas las pegmatitas... hay una anomalía en el aspecto legal de las denuncias de lotes mineros en las regiones gneíscas. La mayoría han sido por titanio o por feldespatos".

Las pegmatitas propiamente de Teixtahuacan y Huixtla poseen minerales radioactivos y arman, según algunos ingenieros de minas, en una roca metamórfica clasificada como gneis y las pegmatitas son de tipo granítico, estando constituidas por grandes masas de los elementos característicos del granito que son: mica, cuarzo, feldespato.

Los minerales radioactivos más importantes que fueron encontrados por la Comisión Autónoma han sido: la allanita y la bastnaesita. La allanita es un silicato hidratado de alúmina, calcio, hierro y el grupo de cerio de las llamadas tierras raras con más de 3% de

bióxido de torio y más de 1% de  $U_3O_8$ , de color café negro, lustre submetálico, resinoso, fractura subconcoidal, cristaliza en un monoclinico, en cristales tubulares.

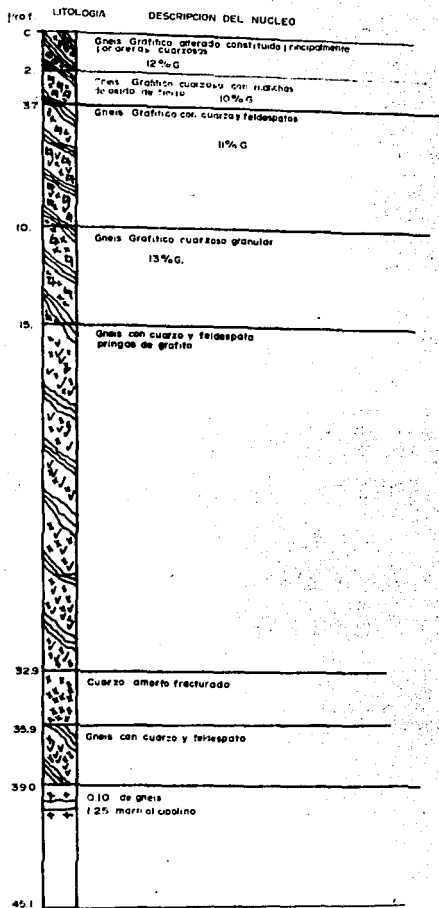
La betafita es un óxido de columbio, tántalo, uranio, con menor cantidad de calcio, hierro tierras raras y titanio; con 15 a 20% de  $U_3O_8$ , de color café negro verdoso, fractura concoidal y cristaliza en octaedro.

"Por la forma en que se han encontrado varios cristales de betafita y allanita dentro de las masas del feldespato y cuarzo, parece ser que estos minerales fueron singenéticos con la pegmatita".

(1)

Al comprobarse la existencia de minerales radioactivos en la zona pegmatítica de Telixtlahuaca se llegó a sospechar que también podían encontrarse más al sur de esta zona. En efecto muy al sur, cerca de Pluma Hidalgo están unos yacimientos de rutilo que se han considerado los más importantes mundialmente.

De la geología de las pegmatitas en particular, se puede decir que son cuerpos de rocas ígneas, intrusivas, pues se han consolidado a profundidad bajo la superficie terrestre, y filonianas, dado que se presentan en forma de diques. En su mayoría son leucofiros, es decir rocas de colores claros y pertenecen, en la generalidad de los casos, a las rocas graníticas sieníticas. Dentro de sus características destaca su textura, pues las pegmatitas son faneritas puegto que los cristales de estas rocas en su mayoría son visibles y de



CORTE LITOLÓGICO DE LA MINA "EL PRINCIPIO"



tamaños mayores a un milímetro. En estas pegmatitas el tamaño de sus cristales se mide de centímetros a metros.

"Los cristales y granos de los minerales de las pegmatitas son de gran tamaño. Por un lado estos cristales alcanzan dimensiones estimadas en metros, y por el otro las pegmatitas pueden variar de textura hasta ser aplitas", (1) es decir, pueden ser rocas filonias cuyas cristales tengan dimensiones menores de un milímetro, que se agrupan uniformemente como los granos de azúcar refinada. Las pegmatitas graníticas y las aplitas pueden cambiar en un extremo a pegmatitas silíceas.

"Los cuerpos pegmatíticos difieren en tamaños y formas. Sus ejes mayores oscilan en longitud de 5 a 75 metros pero pueden llegar a alcanzar longitudes de hasta un kilómetro, aunque algunas de ellas no llegan a alcanzar tamaños mayores de cinco metros"(1)

"Sus formas son tabulares, lenticulares, en forma de ramas tubiformes y forma de diques, de vetas, de vetillas, de segregaciones, formas irregulares"; (1) muchas de ellas tienen contactos definidos con los gneises que es la roca encajonante que predomina en la zona estudiada, pero otros han alterado los contactos con los gneises, formando minerales en forma de intrusiones en la roca encajonante cuando es esquisto o de aureola cuando es gneis.

"Los cuerpos pegmatíticos pueden ser tan discordantes como concordantes con la foliación de los gneises; hay una marcada relación entre su modo de ocurrencia y las características estruc-

turales de la roca encajonante y muchas de sus formas han sido nombradas por el tipo de esa misma roca encajonante. Así mismo la composición de la roca encajonante puede influir en el número y diversificación de las especies minerales constitutivas de las pegmatitas". (1) En la región estudiada vemos que las pegmatitas están genéticamente relacionadas con intrusiones graníticas y en menor proporción con cuerpos intrusivos granodioríticos.

"En cuanto a los gneises de las pegmatitas hay diversas hipótesis, de las cuales una de las más modernas establece que el agua y ciertos procesos mineralizadores jugaron un papel muy importante en la oxidación y consolidación de un magma fluido residual pegmatítico derivado de otro magma granítico que a su vez fue producto de la granitización" (1), o sea de una serie de procesos por los cuales una roca preexistente es cambiada a granito y rocas similares, estableciéndose claramente que sólo ha habido un magma terrestre básico, del tipo de composición química similar al basalto y del cual se han derivado por un lado los demás magmas y por otro lado ha sido el origen de los procesos de granitización.

En relación con los minerales de uranio que muchas veces son sintéticos con las pegmatitas podemos decir que: cuantitativamente, el uso más importante del uranio se ha hecho en la fabricación de armas atómicas, pero en la actualidad las aplicaciones pacíficas se están extendiendo rápidamente, sobre todo en la producción de energía eléctrica.

En la actualidad, en muchos centros de investigación se trabaja en el perfeccionamiento de reactores para la producción de energía a precios que puedan competir con las plantas de energía hidráulica.

Debido sobre todo a las posibilidades de aplicación futura, la exploración del uranio se ha convertido en los últimos años en una actividad minera de gran importancia en el mundo.

Los principales minerales comerciales del mundo son la uraninita o pechblenda, la carnotita, la tyuyamunita y la coffinita.

Según la World Power Conference, sólo dos países latino americanos, Argentina y Chile (34), poseen reservas de uranio de cierta consideración. En Argentina las reservas demostradas e inferidas llegarían actualmente a unas 2 500 toneladas de  $U_3O_8$ . Las reservas totales del país alcanzan a unas 25 000 toneladas de  $U_3O_8$  contenidas en "mineral fértil" (concentrado de uranio con calidad comercial y costo suficiente).

Las reservas de Chile, no han sido estimadas, y no son explotables en las condiciones actuales.

En Colombia no se han hecho trabajos para determinar las reservas.

En Brasil y México se han hecho bastantes exploraciones, pero no se dispone de datos completos sobre posibles reservas.

La aplicación de técnicas modernas y sistemáticas a tan escasas regiones inexploradas con que cuenta Oaxaca puede cambiar la



situación actual y proporcionar no sólo la cuantificación de la riqueza de yacimientos de uranio de interés económico, sino utilizar un elemento cuya importancia para el desarrollo tecnológico del país crece constantemente.

En esta misma zona, en San Jerónimo Socon, en el distrito de Etla se ha localizado feldespato. El yacimiento más importante es el conocido como Flor de Peña y contiene alrededor de un millón de toneladas de feldespato y en los que el autor encontró algunas impurezas de niobio y estroncio.

El grafito relacionado con las pegmatitas de esta zona hace como cinco años que se quiso explotar por la empresa minera Aída, S. A. a un ritmo de casi 100 toneladas diarias, pero el proyecto fue desechado.

De la misma zona y cerca del pueblo de Magdalena, sobre la carretera Oaxaca a Etla, se han localizado yacimientos de mírmol y de grafito, los cuales no han sido hasta la fecha cuantificados. Estos yacimientos se han estado trabajando en pequeña escala, habiéndose exportado grandes bloques a Estados Unidos y Europa. A esta riqueza, hubo ocasiones en que el gobierno de México no le prestó atención ya que los lugareños aseguran que el mírmol que México exportaba a Italia era el mismo que después importaba. En la actualidad estos yacimientos están inactivos.

Una empresa italiana, la Cía. Constructora Etla, S. A., tenía proyectada la explotación de 1000 toneladas diarias, lo que será

posible hasta que hubiese un entendimiento entre autoridades locales, estatales, y federales.

### SAN PEDRO TEJALPA

Al sur de Oaxaca y debido a una geología similar a la que se encontró en la zona pegmatítica de Teñitabueno, el trabajo de exploración se continuó por el sur en las zonas de Tejalpa, Zimatita, Ocotlán, Njula y Mlahuatita, que también son zonas graníticas.

San Pedro Tejalpa es un poblado pequeño que se encuentra a 10 kilómetros de la ciudad de Oaxaca. Topográficamente el lugar está constituido por un lombrío de poca altitud formado por un gneis que tiene gran contenido del mineral denominado ilmenita, y que se presenta a veces aisladamente en fragmentos rugados en la superficie de varias partes de el lugar.

El río que se tiene que atravesar para llegar al poblado de San Felipe presenta un color azul-negro que se debe sin duda alguna al contenido del mineral ilmenita. En el gneis de esta zona se pueden ver manchones de hasta 2 metros de diámetro de ilmenita y que al sur se encontró superficialmente.

En esta zona se ha tratado de hacer explotaciones de índole de tinaja, pero como se sabe que el precio de la ilmenita es muy bajo, no se ha desarrollado esta explotación.

La apreciación que han hecho algunos geólogos es de que del lecho del río se pueden sacar toneladas de cierta consideración y de manera relativamente fácil.

En esta misma zona se ha encontrado una pegmatita con cristales grandes de feldespato y minerales de albita y monacita, que es un feldato de tierras raras con torio y uranio.

### ZIMATLÁN

Zimatlán es un poblado que queda a unas 30 kilómetros al sur de Oaxaca, sobre la carretera de Oaxaca a San de Vega y por ahí atraviesa el ferrocarril de Oaxaca-Ocotlán-Taviha.

Se sabe que Zimatlán ha sido uno de los lugares de mayor producción de mica en el Estado de Oaxaca y el mineral se ha obtenido de la parte oriental del lugar, en donde se encuentran largas formadas por gases que también contiene curcio.

Hay informes de que se han estado haciendo toneladas de mica blanca, en la mina denominada La Vida, que se sitúa al suroeste de Zimatlán. Aquí también se encuentra el paraje denominado Lomas de San Juan, donde se localiza una pegmatita con curcio, mica y cristales de feldespato. La pegmatita se explota únicamente para obtener mica y en el contacto con el gas contiene uranio, que es un mineral radiactivo. El autor pudo comprobar que con anterioridad ya se habían llevado muestras de minerales que allí se encuentran pues hay señales de que con anterioridad se hicieron estudios.

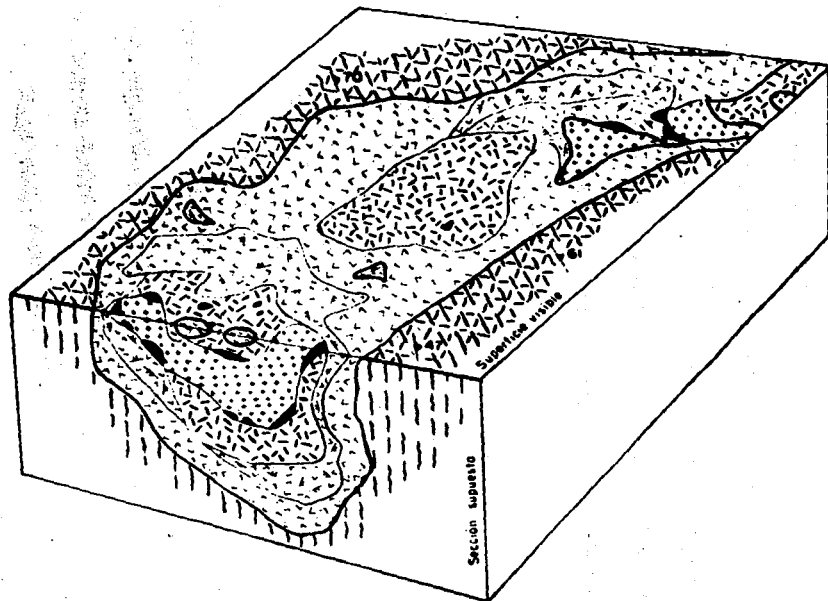
No halla a simple vista acumulaciones aisladas de ilmenita en esta zona en que sin duda alguna se encuentran minerales radiactivos.

Al sur de las denominadas Lomas de San Juan, se puede se-





Eje mayor de la pegmatita 550° W



EXPLICACION



Zona del centro



Zona intermedia



Zona de los respaldos



Zona de los respaldos e intermedia  
con mineral radioactivo



Zona del centro  
con mineral radioactivo



Zona intermedia  
con mineral radioactivo



Gneiss granítico



Dirección de la foliación

Zonas de la pegmatita

Nota: Tomado de la lámina N°4 del Informe titulado Reconocimiento Geológico  
de la Region Pegmatítica de Teixtlahuaca, Oaxaca I N I R M

Preparado por J. Gonzales R  
1952

BLOQUE DIAGRAMATICO DE LA PEGMATITA DE SANTA ANA TELIXTLAHUACA, OAX.



Escala horizontal aproximada

los de México.

Las vetas que se encuentran en Taviche están en rocas andalucitas y contienen plata, oro, plomo, cobre y zinc. En estos lugares el autor observó vestigios de una intensa actividad minera de épocas pasadas.

Las Agencias Ford y Chevrolet de Oaxaca, han invertido dinero en estos lugares desde hace más de 50 años y son de la opinión de que la mina de San Juan tiene grandes reservas de plata, con leyes superiores a 400 gms por tonelada.

El autor de este trabajo pudo investigar que una de las principales causas de inactividad minera de esta zona es que los concesionarios de los actuales fundos mineros exigen demasiado dinero para dejarlos existir, no faltando algunos otros impedimentos de índole económica y fiscal.

El autor es de la opinión de que esta zona es de tenerse en cuenta para una futura producción de plata, oro, plomo, cobre y zinc.

#### EJUTLA Y MIAHUATLAN

Ejutla se encuentra a 61 kilómetros de la ciudad de Oaxaca y al sur de la primera población, como a 9 kilómetros, del lado oriente y muy cerca de la carretera a Miahuatán, correspondiendo a una peguntita granítica se encuentra abundante plata, plomo, que se presenta dentro del cuarzo.

En el paraje denominado Agua de Sal, entreos kilómetros al sur de Ejutla, se ven tajos pequeños y otras que se hicieron para ex

plotar la mica, interestratificada dentro del gneis y en forma errática pero no en pegmatita.

Más al sur se localiza la mina Agua de Nigo, que fue de las de mayor producción de mica en el Estado de Oaxaca.

De Ejutla a Miahuatlán, sin duda alguna, se ha encontrado la zona de mayor producción de mica en el Estado y que tuvo gran desarrollo entre los años de 1940 y 1948.

Veinte kilómetros al sur de Ejutla se pueden ver mayor número de sitios con vetas para la explotación de la mica que por lo general es vermiculita y se presenta dentro del gneis.

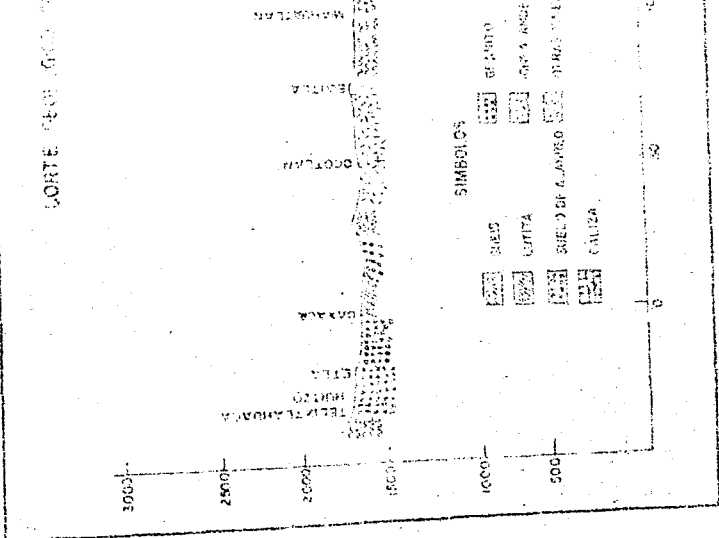
Todas las lomas cerca de el paraje La Escocida constituyen un gneis con gran contenido de mica, probablemente en un 50%.

En la zona hay afloramientos de grandes pegmatitas apáfitas, pues los cristales de los elementos constituyentes son muy pequeños y no se nota la diferenciación en los componentes.

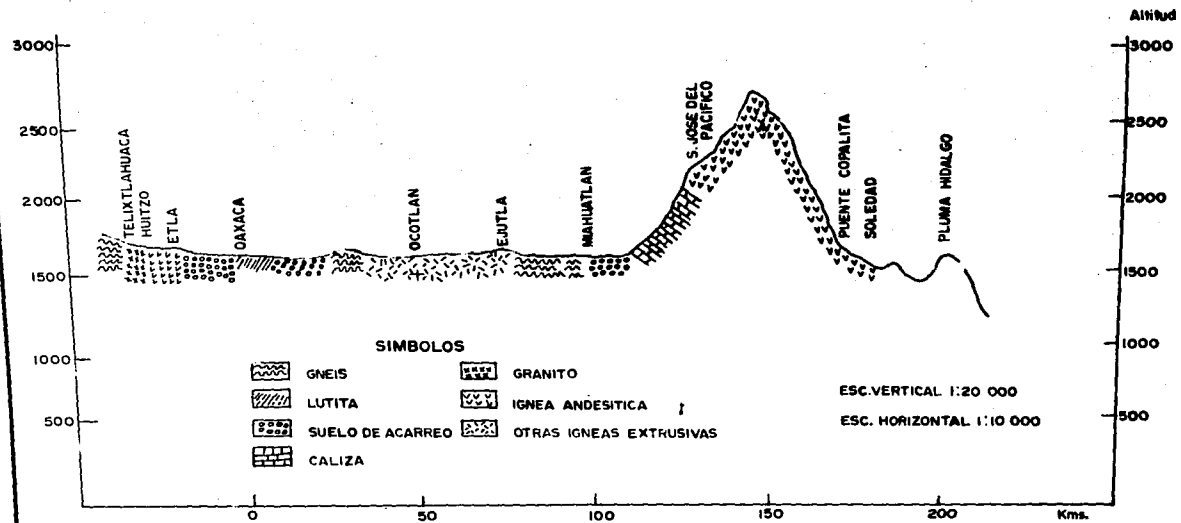
Casi en el kilómetro 23, a partir de Ejutla y para llegar a Miahuatlán, terminan los afloramientos del gneis y queda un terreno con brechas.

Miahuatlán está en el kilómetro 99 de la carretera de Oaxaca a Puerto Angel y a 1 510 metros sobre el nivel del mar; y 12 kilómetros más al sur de esta población se empieza a subir la Sierra Madre del Sur (Santa Lucía de Miahuatlán), en donde afloran calizas grises estratificadas que se extienden algunos kilómetros más al sur. (Lámina).

Como consecuencia de estas observaciones geológicas que se mencionaron anteriormente en la última parte del recorrido que hizo el autor de este trabajo y habiendo elaborado un corte geológico de Ixilco a Mahanilla se puede decir que Ixilco, Ixilco, Ejeña y Mahanilla poseen formaciones rocas sedimentarias geológicas, que siguienete una página coronan a la estructura de Ixilco a Ejeña, predominan las rocas ígneas sedimentarias de Ejeña a Caman, el resto es de arenoso; en Caman se hallan las lías de Caman a Ocotlán, alternan el resto de arenoso, gres y roca intrusiva; de Ocotlán a Ejeña se encuentra roca estratificada; de Ejeña a Mahanilla, gres y resto de arenoso y de Mahanilla a San José del Pacífico, además de la sierra de Mahanilla hay calizas. (Lamina VII)



### CORTE GEOLOGICO TELIXTLAHUACA COPALITA



## VIII Conclusiones y algunas consideraciones finales.

1. De lo mencionado en anteriores capítulos se desprende que: es al sur de las zonas de Tomellín y Paríán donde se encuentran regiones de importancia mineralógica, pues es reconocida la existencia de mica biotita en láminas de 20 cm. de longitud cerca de Paríán, donde estos yacimientos no se trabajan por falta de mercados y de ayuda oficial para su explotación.

En la parte noreste de Paríán hay varias minas antiguas auríferas, pero sus criaderos son irregulares; y como el oro se presente en hilos delgados o embarraduras, es de suponerse, que casi ningún cuerpo mineralizado garantiza una inversión.

2. Hay cerca de Paríán en camino a Huaucuililla manifestaciones de cuerpos de yeso de buena clase, que debería tomarse en cuenta para posibles industrias que se establecieran en la zona o en la ciudad de Oaxaca; pues hasta la fecha ya se han cuantificado más de 10 millones de toneladas y como mineral industrial es de gran importancia mundial.

No debe dejarse tomarse en cuenta que el empleo del yeso en México crece a razón de 20% al año, mientras que en el resto del mundo el crecimiento es de apenas 4.7% (1958). En relación a la producción oaxaqueña este crecimiento podría ser aún mayor que en el resto del país.

Como la mayor parte del yeso que produce el país es exportado, convendría que el Gobierno Federal realizara este comercio; ya que algunas empresas, como las que han estado en Oaxaca, dan cuenta únicamente del pago de salarios y dejan, por impuesto de exportación, una renta exígua; probablemente por que México tiene un precio de venta al exterior por tonelada de casi \$ 60.00, mientras que en Estados Unidos es de \$ 150.00 la tonelada.

Al aumentarse las actividades industriales de Oaxaca, sin duda alguna se ayudará a la formación de la industria del yeso; y la ciudad de Oaxaca sería el más cercano y lógico centro del comercio del yeso.

3. El grafito de las zonas de La Carbonera y Paríán es, sin duda alguna, de buena calidad y los millones de toneladas que se han cubicado para estas zonas de material - aprovechable llevan a la conclusión de que hay grandes - - perspectivas para su aprovechamiento ya que en los depósitos predomina el grafito cristalino que tiene amplio mercado.

Es conveniente hacer notar que hace más de 20 años México fue el primer productor de grafito, pero nunca había figurado en la estadística mundial de exportación debido a la mala calidad del producto que se exportaba, y a que los compradores de él son los mismos productores aquí. En - - otras ocasiones, como en el caso del yeso, se explotaba en corta escala por empresas con escasos recursos que a su - vez lo vendían a las fábricas consumidoras o a empresas - que les subsidiaban.

En Oaxaca fue importante la producción de grafito durante la Segunda Guerra Mundial, al quedar restringidas - las importaciones que Estados Unidos hacía en Asia y África.

La mina El Principio tiene grafito constituido principalmente por escamas dentro de un gneis grafitico con un contenido de 10 a 12 % de grafito y ha sido una de las más importantes que se ha localizado.

4. Cerca de Telixtlahuaca también se han encontrado afloramientos de grafito como los de La Tenería, La Cucharita, Santa Ana y El Quince, de los cuales el más importante es el de la La Cucharita y fue la falta de inversión lo que impidió que la empresa minera Aida, S.A. siga explotando estos yacimientos.

Es conveniente hacer la aclaración de que mientras en Estados Unidos se cotiza el grafito entre 200 y 1 000 dólares la tonelada, en México alcanza apenas una cotización de 9 a 20 dólares la tonelada y esto se debe a que las compañías mexicanas están subsidiadas por las compañías extranjeras, que en realidad son las que controlan el mercado y los precios.

5. En la zona de Telixtlahuaca hay pegmatitas con minerales radioactivos que todavía resultan difíciles de localizar; prominentes geólogos y especialistas en pegmatitas exponen lo siguiente:

"Bien pudiera resolverse el problema por medio de estudios estructurales o geoquímicos o a través de un método inanticipado. Este problema y otros ya señalados están fundamentalmente relacionados con el origen y modo de desarrollo de los cuerpos pegmatíticos". (1) y (19)

Diferentes consideraciones acerca de la misma génesis de las pegmatitas, dificultades para el descubrimiento y evaluación de los depósitos, falta de personas adiestradas en la identificación de minerales valiosos que son comunes, que la betafita y la huitoita de esta zona de Telixtlahuaca no es comercial, además de que resulta difícil sacar estos minerales de la sierra y a que, como se ha dejado entrever: estudiar y explorar a las regiones gnéissicas tanto en forma geológica como mineralógica, metalúrgica y económica resulta costosísimo. Son éstos algunos de los varios problemas que impiden que de una estima de la importancia económica de las pegmatitas se pase a la explotación económica de las mismas a escala de interés nacional por parte del Gobierno, puesto que ya se han declarado reservas nacionales a los minerales radioactivos en los Estados de Oaxaca y Puebla.

Aunque se propuso que los concesionarios siguieran la explotación sujeta a control y vigilancia estrictos por lo que respecta a los minerales radioactivos, ésta no se ha hecho efectiva, ya que se sabe que en las explotaciones de cuarzo, mica y feldespato se dejan colar elementos radioactivos.



6. En donde hay gneises, como en las zonas de Zimatlán, Ejutla y Miahuatlán, se encuentran varias pegmatitas de donde se han extraído principalmente micas, aunque en algunos sitios también se han explotado en cuerpos interestratificados dentro del gneis y no en las pegmatitas, como en la mayoría de los casos.

En Zimatlán, donde no son tan frecuentes las pegmatitas, se han encontrado minerales y cristales de zirconio.

7. En Tavicha, que pertenece a la zona de Ocotlán se han encontrado vetas que arman en rocas andesíticas conteniendo plata, oro, plomo, cobre, zinc y otros minerales, que permitirían señalados beneficios económicos para la zona, con la reapertura y mayor explotación de sus minas.

8. En San Felipe Tejalpa y donde hay gneis se encuentra con frecuencia ilmenita en fragmentos, pero las perspectivas que el mercado ofrece para este mineral son muy escasas.

9. En general, el área objeto de este estudio, como ya es lógico imaginarlo, no es por lo que se ve extraordinariamente rica; tiene recursos limitados, a buen plazo, pero deben explotarse y preservarse concienzudamente para el futuro, con la decidida y continuada intervención del Gobierno y de la iniciativa privada, pues de otra manera jamás podrá lograrse un beneficio estable, ni preservar para los mexicanos lugareños el dominio de los bienes del suelo y del subsuelo. Si no se coordina y reestructura la minería de Oaxaca como la de cualquier parte del país, la minería jamás será apoyo importante a la economía del país.

La languida economía que se deriva de las apatrimonios de la minería de la nación no podrá jamás desaparecer con auxilios oficiales. Su atraso está íntimamente ligado con la falta de escuelas, de instituciones y personal honrado que satisfaga sus necesidades culturales y sociales.

La languida economía que se deriva de las apatrimonios de la minería de la nación no podrá jamás desaparecer con auxilios oficiales. Su atraso está íntimamente ligado con la falta de escuelas, de instituciones y personal honrado que satisfaga sus necesidades culturales y sociales.

Otras consideraciones de carácter geográfico sobre el Centro de Oaxaca.

En relación con observaciones de carácter geográfico netamente, se concluye que:

A pesar de los ferrocarriles, la Carretera Panamericana, la carretera a Puerto Angel, la carretera a Sola de Vega, así como otras de menos importancia y no transitables en todo tiempo, la gran mayoría de los habitantes del Centro de Oaxaca, viven aislados, que invariablemente el género de vida de la población es atrasado.

Su vida está influida por ~~trad~~ tradicionalismos, que determinan, en la mayoría de los casos, su bajo nivel cultural y económico, que es además pobre a consecuencia de que desconocen mejores métodos de producción tanto agrícola como minera o no tienen la facilidad para ponerlos en práctica. Los esfuerzos para erradicar el alto porcentaje de analfabetismo no son suficientes. Se subestima en algunos casos el valor de la educación por falta de recursos que permitan aprender en las grandes cabeceras municipales o en el exterior.

Los problemas de superación en la cultura y en el trabajo son de índole mental y material. Necesítase por tanto, metamorfosear sus inclinaciones, su cultura social, y para ello los programas educacionales serían nulos si no se mejoran los medios de penetración y comunicación y se aumentan estos medios.

El anquiloso tradicionalismo se superaría si la población llegara a tener más contacto con el exterior. Son los medios de comunicación y de transporte los que pueden lograrlo y cualquiera inversión en este sentido sigue siendo inaplazable.

La lánguida economía que se deriva de las aportaciones de la minería de la región no podrá jamás desaparecer con anuncios oficiales. Su atraso está íntimamente ligado con la falta de escuelas, de instituciones y personal honrado que satisfaga sus necesidades culturales y sociales,

sus métodos de producción, mayor diversidad de otros productos, comunicaciones y transportes, así como inversiones de capital.

Es urgente que al tomarse medidas se de conjunta e integral solución a estos problemas y que nunca las diferentes dependencias encargadas de hacerlo pretendan aisladamente resolverlos.

Es indispensable que se desenmarañen los tortuosos caminos de la burocracia administrativa y que no en "segundas manos" queden los deseos y mejores propósitos de poner en práctica señaladas medidas para el mejoramiento de la minería, que sigue siendo una de las actividades económicas que ofrece amplio panorama tanto a Oaxaca como al país.

Todos estos problemas debieran resolverse dentro de una viva realidad y no dentro de lineamientos teóricos.

Satisfáganse las necesidades de los habitantes de Oaxaca, estimúlense las actividades económicas que son más propias de la región y hasta entonces será factible el verdadero resurgimiento de tan importante y natural actividad económica dentro del territorio de Oaxaca.

El propósito principal de incluir apéndices en este trabajo, es su conveniencia para una referencia que sirva y facilite encontrar el significado esencial y mejor información de lo que se lee sobre algunos puntos importantes que requieren conocimientos previos para el estudio de los aspectos geológicos.

Es posible que los apéndices presenten conocimientos superficiales, pero es siempre conveniente ofrecerlos para hacer accesible la información con que se cuenta.

La tabla A1 del apéndice A se realizó basándose en el Diccionario de química, de Stephen y Muckenzie, México, 1953.

La tabla A2 del mismo apéndice fue basada en la que se presentó con el mismo objeto en Introduction to Physical Geology, de Chester R. Longwell y Richard F. Flint, México, 1963. En esta misma obra se basa el apéndice B.

Para el apéndice C se consultó el libro La radioactividad de las rocas, de Coppens R. Buenos Aires, 1963.

Los apéndices D y E son aportaciones debidas a observaciones y a datos recopilados por el autor de este trabajo.

G.C.P.

Mapas, croquis y láminas del Centro de Oaxaca, en el Sur de México.

El croquis geológico anexo (lámina 1), a la escala de 1 : 1 000 000, corresponde a la geología compilada e interpretada por C. Fries Jr., Schnitter y Livingston, en 1962, partiendo de los trabajos de Barrera (1946) y de Martínez López. Su base geográfica fue tomada de la hoja de Oaxaca de la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana (1958). Muestra la ubicación de dos localidades de edades isotópicas (La Joya y Oeste de Zaachila) y la distribución probable del precámbrico ( $P^{13}$ ).

La interpretación que le da C. Fries es: símbolo  $P^{13}$  para las rocas precámbricas metamórficas (gneis, esquisto, migmatita, cipolino, diques, cuerpos intrusivos y vetas pegmatíticas). Se ve que entre ellas existen rocas intrusivas más jóvenes, pero de muy poca extensión que sería necesario hacer un levantamiento suficientemente detallado para mostrar sus áreas de afloramiento.

Las rocas que cubren el complejo metamórfico constan de capas clásticas del jurásico, las cuales están cubiertas por capas clásticas y calizas del cretácico inferior.

Rocas continentales volcánicas y volcánico-clásticas del terciario están distribuidas ampliamente en los terranos altos.

Rocas pertenecientes al cretácico superior no se han reconocido.

Todas las rocas de edad mesozoica y terciaria, con excepción de algunas rocas efusivas del terciario temprano (20), se han agrupado bajo el símbolo TII.

Con el signo Q se representan depósitos relativamente gruesos de edad cuaternaria.

"Las pegmatitas de esta parte de Oaxaca se supuso que se formaron hacia el final de la época en que las rocas empujadas fueron metamorfozadas para formar esquisto y gneis" (15).

La época a que corresponden estos metamorfismos se denomina Orogenia Oaxaqueña y representa un evento tectónico dentro del precámbrico tardío, empleando la terminología de Goldich.

La lámina I A fue tomada de la lámina No. 1 del informe titulado Reconocimiento Geológico de la Región Pegmatítica de Tlaxiñahuaca, Oaxaca y muestra la localización del área estudiada de las pegmatitas y minerales radiactivos de la zona de Tlaxiñahuaca, Oaxaca.

El croquis I B muestra la localización de los afloramientos de grafito en la zona de Tlaxiñahuaca, Oaxaca.

El croquis I C muestra un corte litológico de la Mina El Principio que es una de las más importantes en Oaxaca por su alto porcentaje de grafito.

La lámina II explica brevemente la zona geológica localizada en Tlaxiñahuaca y las principales pegmatitas reconocidas por la Comisión Autónoma para la Investigación de los minerales Radiactivos y fue tomada de la lámina No. 7 -

del informe titulado Reconocimiento Geológico de la Región Pematítica de Telixtlahuaca, Oaxaca.

La Lámina II A muestra la localización general de los minerales radioactivos de la zona estudiada, y fuera de ella, hasta Pluma Hidalgo, Oaxaca.

La Lámina III representa la altimetría con isoyetas e isotermas anuales de el Centro de Oaxaca. La lámina está basada en datos de la Comisión Nacional de los Salarios M<sup>i</sup>n<sup>i</sup>mos y de la Dirección de Hidrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

La Lámina III A muestra las divisiones fisiográficas adoptadas por la Comisión Autónoma para la Investigación de los Minerales Radioactivos en donde concurre la región objeto de este estudio que comprende en el croquis la Sierra Madre Oriental (Sierra Madre de Oaxaca), la Cofre Oaxaqueño y el Valle de Oaxaca (centro y norte de la zona estudiada).

La Lámina III B muestra un bosquejo geológico de el Centro de Oaxaca que fue preparado por el autor de este trabajo con base geográfica tomada de la Carta Geográfica de la República Mexicana (1953).

La Lámina IV representa la división política por ex-distritos de el Centro de Oaxaca, en el sur de México.

La Lámina V muestra los tipos de climas de acuerdo con la clasificación de Kooppen, que se localizan en el Centro de Oaxaca y que fueron determinados por el autor de este trabajo.

La Lámina VI muestra un bloque diagramático de un

bloque diagranítico de una peñatita de Santa Ana Toluixtlahuaca, Oaxaca, que fue tomada de la Lámina No. 4 del informe Sitio Reconocimiento Geológico de la Región Peñatítica de Toluixtlahuaca, Oaxaca.

La lámina VII representa un corte geológico de Toluixtlahuaca a Puente de Copalita, al sur de la Sierra Madre del Sur, en Oaxaca.



APENDICE A. Identificación de minerales comunes en Oaxaca y de algunos minerales importantes.

TABLA A1 Algunos de los minerales más importantes del Centro de Oaxaca.

Apatita. Variedad del mineral fosfato de cal,  $\text{F(PO}_4)_3 \text{Ca}_5$ . Se presenta en cristales exagonales y piramidales hemidríicos. La forma criptocristalina es la fosforita. Se emplea en la fabricación de fertilizantes.

Berilo.  $\text{Si}_6\text{O}_{16}\text{Be}_3\text{Al}_2$ . Cristales exagonales de color azul, amarillo, verde o blanco; las formas transparentes del berilo son muy raras y cuando se encuentran coloreadas de verde por el óxido de cromo se llaman esmeraldas; si el color es verde azulado, se denomina agua marina. Se emplea el berilo como piedra preciosa en las mencionadas variedades; se usa para fabricar exisoles de berilo después de separar y purificar el óxido.

Biotita. Silicato hidratado de hierro, manganeso y potasio,  $(\text{SiO}_4)_3 (\text{Mg,Fe})_3 \text{K}_2\text{H}$ . Cristales monoclinicos de lustre perloco, color verdinegro. Es muy abundante y está muy repartido.

Caloita. Es una forma de carbonato de calcio natural  $(\text{CO}_3)_2\text{Ca}$ . Se presenta en granos amorfos o en cristales exagonales, blancos, grises, incoloros a veces. En grandes masas constituye la piedra caliza, el mármol y la creta.

Creta. Carbonato de calcio natural procedente de esqueletos o separaciones de microorganismos. Purificado por lociones con agua se obtiene un polvo finísimo. Se usa para

antácido.

Esfeno.  $\text{Si Ti O}_5 \text{ Ca}$ . Es un mineral que se presenta en cristales monoclinicos oscuros. Existe en muy pequeñas cantidades en ciertas arcillas y en algunas sienitas.

Fluorita. Espatofluor,  $\text{F}_2 \text{ Ca}$ . Se presenta en cristales del sistema cúbico, ordinariamente en cubos, los cuales tienen a menudo sus lados truncados. Por lo general se presenta en vetas, asociadas con otros minerales. Los cristales son de ordinario amarillos, azules, verdes o violetas. Se utiliza para obtener fluor y fluoruros; en la fabricación de vidrios y esmaltes.

Ilmenita.  $\text{Fe O. Ti O}_2$ . Forma cristales romboidales negros. Los cristales se ofrecen a menudo granulares o planos y son débilmente magnéticos. Es muy corriente en los detritus minerales de las Artilias.

Magnetita.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Es un mineral de óxido de hierro magnético y negro. Sus cristales son cúbicos. Se beneficia como mineral de hierro. Se utiliza como fundente y como pigmento para vidriar. Algunas veces se emplea como mineral refractario para el revestimiento de hornos de obtención de hierro maleable.

Monacita. Es un ortofosfato de cerio nativo y contiene hasta el 70% de óxido de cerio. Se presenta en cristales monoclinicos pardos amarillentos. Existe en la pegmatita y en algunas arenas de aluvión. Se emplea para obtener el óxido de cerio.

Muscovita.  $(Al Si_3 O_{10}) (Al)_2 K_2 (OH)_2$ . Variedad de mica blanca que se presenta en cristales monoclinicos. La muscovita es un buen aislante electrico por debajo del 110°C. Las laminas son flexibles y elasticas.

Pechblenda. Es un mineral denso, negro, de aspecto de pez; está formado principalmente por óxido de uranio, pero varía mucho en su composición porque puede contener también torio, cerio, plomo, etc. Se distingue por sus propiedades radioactivas y su gran densidad. Es importante como primera materia para obtener uranio y radio.

Pirita.  $S_2 Fe$ . Magníficamente cristalizado en cubos, o en dodecaedros pentagonales, denominados piritoedros por la abundancia de su aparición; algunas veces con cristales de gran número de caras; también en agregados granudos o fibrosos. Color amarillo latón. Brillo metálico. Buen conductor y termoelectrico.

Samarquita.  $Ca_3 Y_2 (Nb Ta) 6 O_{21}$ . Tantalato y niobato complejo de calcio, itrio, uranio y otros metales. Cristaliza en el sistema ortorrómbico. Color negro. Se encuentra también en Estados Unidos como en Madagascar.

Titanita. Titanosilicato de calcio,  $Ti O_2 Si O_2 Ca$ . Forma cristales monoclinicos, brillantes, grises, amarillos, pardos o rojizos. Se encuentra en Norteamérica y Canadá.

Uraninita.  $U O_2$ . Cristales cúbicos en yacimientos enclavados en pegmatitas; color negro de pez a pardo o verde. Se hallan ricos depósitos de uraninita en el Congo (Kinshasa)

y en Canadá.

Zircón. Si  $O_4$ . Zr. Silicato de Zirconio. Constituyente de las rocas de origen ígneo, como el granito, la sienita. Cristaliza en un sistema tetragonal. Se le conoce con el nombre de jacinto, de color rojo amarillento, y el Jargón de Ceilán, incoloro o ligeramente amarillento.

TABLA A2 Propiedades de algunos minerales importantes.

tos.

1. Silicatos comunes y óxidos.

Amfibolo. (Grupo complejo de minerales; la hornblenda es el más común). Silicatos de Ca, Mg, Fe, Al y Na. Fórmula general:  $A_{2-3} B_5 O_{22} (OH)_2$ . Forma: Cristales largos de 6 caras, también en fibras y en granos irregulares. Lustre vítreo. Coloramiento negro, oscuro y verde claro; rara vez blanco.

Biotita. (Mica negra, trioctaedral). Silicato complejo de K, Mg, Fe, Al. Fórmula:  $Al_3 C_4 O_{10} (OH)_2$ . Forma en hojas delgadas, perfectas; cristales de 6 caras. Lustre aporladado o casi vítreo. Negra, café, oscuro o verde; casi o bastante opaca; las láminas son flexibles y elásticas.

Clorita. Silicato variable de Mg, Fe, Al. Fórmulas:  $B_3 C_4 O_{10} (OH)_2$ ,  $B_3 (OH)_6$ . Forma en masas hojosas o en cristales de 6 caras. Lustre grasoso o vítreo. De color verde claro o verde oscuro; las hojuelas son débiles, inelásticas, fácilmente separables.

Gaolinita. (Mineral común de la arcilla). Fórmula:  $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$ . Sueve en masas terrosas, los cristales se aprecian con microscopio electrónico. Lustre opaco. Blanco cuando es puro, usualmente con listas amarillas o de otros colores. Plástico; tiene el color y el olor de la arcilla.

Muscovita. (Mica blanca, mica dioctaedral). Silicato variable de K, Al. Fórmula:  $Al_2 C_4 O_{10} (OH)_2$ . Forma en láminas delgadas uniformes; rara vez en cristales de 6 caras. Inco-

lora y transparente cuando es pura, pero comunmente verdosa y notada. Las láminas de todos estos tipos de micas son flexibles y elásticas.

Olivino. Proporciones variables de Fe, Mg. Fórmula general:  $M_2^{2+} SiO_4$ . En pequeños granos o en masas granulares. Lustre vítreo. Verde olivo o verde amarillento; transparente y translúcido.

Plagioclasas. (Feldspatos de Na-Ca). Na  $Al Si_3 O_8$  -- (Albita) a Ca  $Al_2 Si_2 O_8$  (Anortita). Fórmula general:  $AC_4 O_8$ . Forma, comunmente con granos irregulares o masas que se separan según su clivaje; algunas variedades en láminas delgadas. Lustre vítreo a aperlado. Del blanco al gris oscuro y también en otros colores; algunos planos de cruceo muestran finas líneas paralelas; juego de colores en algunas variedades.

Feldspatos

Potásicos. K  $Al Si_3 O_8$ . Forma: En cristales prismáticos o granos con cruceo. (Ortoclasas, microclina y sanidino) Lustre vítreo. Comunmente de color carne, rosado o gris; hay una variedad verde.

Piroxenas. (Grupo complejo; augita o hiperstena son los más comunes) silicatos de Ca, Fe, Mg, Na y Al. Fórmula general:  $ABC_2 O_6$ . Forma: En cristales cortos de 8 caras; también en masas granulares. Lustre vítreo. Verde claro y oscuro; negro; las caras alternas de los cristales forman ángulos rectos.

Cuarzo. Si  $O_2$ . Forma en cristales de 6 caras, que terminan en pirámides en ambas extremos. También en grandes cuerpos y en masas o granos irregulares. Lustre vítreo o --

a grasoso. Varía de incoloro y transparente a opaco, con amplia variedad de colores.

Calcedonia. (Cuarzo criptocristalino)  $SiO_2$ . Forma: Sin cristales visibles; comúnmente bandeado o en masas informes. Blanca si es pura. Adquiere variados colores si tiene impurezas.

## 2. Carbonatos y Sulfatos.

Calcita.  $CaCO_3$ . Forma: En cristales alargados que rematan en punta; en forma granular. Vidrio, vítreo a opaco o mate. Ingrediente esencial de la caliza; incoloro o blanco, a menos que tenga impurezas. Efervescente libremente en ácido clorhídrico diluido.

Yeso.  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Forma: En cristales tabulares, de forma de diamante; también granular, fibroso o terroso. Lustre aperlado a vítreo. Usualmente blanco o incoloro, transparente a translúcido. Es mineral blanco, siendo posible rayarlo con la uña.

## 3.- Menas de minerales.

Calcopirita.  $CuFeS_2$ . Forma: Masivo o granular. - Brillo metálico. De color amarillo oro o alatonado; raya vez de oscura a negra; es una de las menas de cobre. Es uno de los minerales más frecuentes y es la mena de cobre más difundida, aunque no es la más importante.

Oro. (Nativo), Au. Forma: Masivo o en escamas delgadas e irregulares. Lustre metálico. Bastante maleables

comumente disperso en vetas de cuarzo; en las arenas y gravas de río se encuentran pepitas de oro.

Grafito. C. Forma: en masas oscuras. Lustre metálico o mate. Gris o casi negro; raya negra, grasoso al tacto y alto punto de fusión.

Magnetita.  $Fe_3 O_4$ . Forma variada: nativa, granular. Lustre metálico. Negro y opaco; raya negra, es fuertemente magnético. Haza importante de hierro.

Malaquita.  $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ . Forma: Rara vez en cristales; nativo. Lustre sedoso a opaco, mate. Se encuentra en la zona superior de los depósitos de cobre, generalmente con azurita, comumente con limonita. Haza secundaria de cobre.

Pirrolunite.  $MnO_2$ . Rara vez en cristales; con revagtimiento sobre superficies fracturadas; comumente en concreción. Lustre metálico a mate. Gris oscuro o azuloso; raya negra. Haza importante de manganeso.

Rutilo.  $TiO_2$ . En cristales prismáticos delgados o en masas granulares. Lustre adamantino a metálico. Café rojizo a negro; raya café a negro; grisáceo. Abundante en algunas áreas de playa; es mena de titanio.

Plata. Ag. En placas o láminas y en granos irregulares. Lustre metálico brillante a mate. Generalmente deslustrado, a café gris; blanco limpio a plateado; dúctil y maleable.

El significado de las literales A, B, y C de las fórmulas químicas de los minerales es:



A = elemento de radio iónica grande, tales como K, Ca, y Na. (potasio, calcio y sodio).

B = elementos de radio intermedio, tales como Mg, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, y Al<sup>3+</sup>.

C = elementos de radio pequeño, principalmente Si y Al.

Las valencias están indicadas por los símbolos <sup>+</sup>, <sup>2+</sup>, etc.

APENDICE B Identificación de rocas comunes.

TABLA B1 Las rocas ígneas.

Granito. El feldespato y el cuarzo son los principales minerales del granito. Generalmente se los encuentra algo de mica biotita y muchos granitos tienen cristales de hornblenda. Comúnmente los minerales oscuros se presentan en originales casi perfectos, dado que se forman en primer término. Los feldespatos se forman a continuación. El cuarzo cristalizó al último, rodeando los granos angulares de los primeros minerales. Este entrelazamiento de los granos de mineral visibles es característico del granito y se llama textura granular, granos de tamaño casi uniforme. El término granito se aplica a las rocas cuarcíferas en las que predomina el feldespato potásico. La granodiorita es una roca similar en la que la plagioclasa es el feldespato principal disminuyendo el cuarzo (sílice). Un tipo importante de granito es el granito "pegmatítico", que tiene granos excepcionales por su tamaño.

Diorita. En esta roca el principal mineral es el feldespato plagioclasa. Generalmente los minerales de color más oscuro son más abundantes que en el granito, (sin cuarzo). No es tan abundante como las rocas graníticas.

Gabro. En esta roca predominan los minerales oscuros, pues exceden del 50 % de la roca. La plagioclasa se encuentra en proporción menor. El principal mineral oscuro del gabro es la piroxena, generalmente con algo de olivino. Como estos minerales son más pesados que el feldespato, el gabro es notablemente más pesado que el granito. Tiene tex

tura granular gruesa.

### Peridotita.

Piroxenita. La roca granular compuesta principalmente de piroxena se denomina "piroxenita". En ella los minerales de color oscuro desplazan a la plagioclasa. Si junto con la piroxena hay considerable olivino, la roca es peridotita. Estas dos rocas son muy oscuras y pesadas, estando asociadas con minerales que contienen los metales níquel, platino, hierro y otros. Una roca totalmente compuesta de olivino es la "dunita".

### Pófidos.

#### Rocas porfi-

riticas. Son rocas ígneas granulares con muchos fenos cristales. Si los granos grandes constituyen menos del 25%, la roca es porfirítica y se le da el nombre correspondiente a su pasta: granito porfirítico (mucho cuarzo), diorita porfirítica (sin cuarzo). Si la proporción de fenocristales es mayor del 25%, la roca es un pófido y se combina este término con el de la masa: pófido granítico (mucho acuarzo), pófido diorítico (sin cuarzo).

Riolita. Es una roca efusiva con fenocristales de cuarzo. Generalmente los fenocristales son de feldespato y de biotita. El color de la pasta varía desde casi blanco hasta gris, amarillo, rojo o púrpura. Por lo común tiene bandas irregulares causadas por el flujo de magma espeso poco antes de solidificarse.

#### Andesita.

Es una roca efusiva, similar a la rio-

lita, pero carente de fenocristales de cuarzo. Comumente tiene cristales de feldespatos y minerales oscuros. Sus colores más frecuentes son tonos de gris a verde, pero algunas andesitas son muy oscuras. Rotos los bordes de las andesitas oscuras transmiten algo de luz y aparecen casi blancos cuando se ponen ante una luz muy brillante. Así es como se distingue del basalto, que es opaco aún en bordes delgados. Las andesitas claras frecuentemente tienen un bandeo irregular similar al de la riolita.

Basalto . El basalto es una roca afanítica que presenta un color oscuro. Sus colores comunes son el negro, el café oscuro o verde, y el gris muy oscuro. En la parte superior de las corrientes de lava la roca está llena de vesículas formadas por el escape de los gases.

#### Tobas y

#### brechas

#### volcánicas.

La roca vítrea o afanítica formada por la fusión de la ceniza volcánica durante su depósito se llama "toba". Si aumenta el tamaño de las partículas, la toba pasa a ser brecha volcánica. Muchas tobas y brechas volcánicas están estratificadas y presentan aspectos de rocas sedimentarias.

#### Rocas ví-

#### treas.

Se forman por el rápido enfriamiento del magma. La obsidiana es una de ellas y es sumamente lustrosa. La mayoría son de color oscuro. La obsidiana astillada en delgadas láminas se ve blanca y aún transparente. El color oscu

ro es consecuencia de una materia mineral de ese color, distribuida uniformemente en el vidrio.

La pumicita es una espuma de vidrio, repleta de cavidades formadas por gases al escaparse de un magma viscoso, en proceso de enfriamiento rápido. Como las dolgadas paredes de las cavidades transmiten la luz, la pumicita es casi blanca, aunque puede formar la cubierta de una negra lámina de obsidiana.

El basalto vítreo se forma extensamente en algunas corrientes basálticas. Es opaco como el basalto, pero tiene lustre vítreo.

TABLA B2 Rocas sedimentarias.

1. Rocas clásticas sedimentarias.

Conglomerado. Constituido de partículas cementadas, algo redondeadas; un por ciento considerable es del tamaño del guijarro. Las partículas más grandes tienen más de 2 mm de diámetro; las más pequeñas y el cementante ocupan intersticios.

Brecha. Fragmentos claramente angulosos, con pasta cementante es de lo que está compuesta esencialmente. Las partículas grandes son del tamaño de un guijarro o aún mayores.

Arenisca. Compuesta de fragmentos redondeados del tamaño de los granos de arena, de 0.02 a 2 mm; material cementante. Generalmente los granos son de cuarzo, pero también los materiales derivados de otras rocas caen dentro de la clasificación.

Limolita. Principalmente partículas de limo, con algunas de arcilla. Ingredientes de diversas clases, pobremente clasificadas. La superficie es ligeramente áspera al tacto.

lutita. Principalmente minerales arcillosos son los que la componen. La superficie es suave al tacto, aparenta ser áspera.

2. Rocas de origen orgánico y químico.

Caliza. Compuesta de calcita, puede ser afanítica o cristalina. Se raya fácilmente con la navaja; efervesce con ácido clorhídrico diluido, frío.

Dolomita. Compuesta de dolomita; puede ser afanítica o cristalina. Es más dura que la caliza, más suave que el

seco; se necesita rayarla o pulverizarla para que haya afinidad con el ácido clorhídrico frío diluido.

## TABLA B3 Rocas metamórficas.

### 1. Rocas metamórficas foliadas.

Pizarra. Se separa en láminas planas, delgadas, que tienen mucho lustre; por lo común los planos de estratificación de la lutita con la que guarda relación marca líneas sobre las láminas.

Filita. Las superficies de las láminas son excesivamente lustrosas; las láminas comúnmente están plegadas en forma abrupta; se encuentran cristales de granate y otros minerales en algunas láminas.

Esquistos. Roca bien foliada, con minerales alargados o laminados, visibles (mica, hornblenda); el cuarzo es un integrante principal; puede contener granos de granate.

Gneiss. Generalmente de grano grueso, con foliación imperfecta, pero conspicua; las capas difieren de su composición mineralógica; el feldespato, el cuarzo y la mica son ingredientes comunes.

### 2.- Rocas metamórficas sin foliación.

Cuarcita. Consiste totalmente de arena de cuarzo cementada con cuarzo; los granos de arena se esbozan en las superficies rotas, pasando las roturas a través de los granos. De muchos colores y tonos hay cuarcitas.

Hérmol. Roca caliza o dolomita totalmente cristallizados; el grano varía de grueso a fino; responde a la prueba con ácido clorhídrico como lo hacen la calcita y la dolomita; los minerales accesorios se desarrollan de las impurezas que contiene la roca original.

Cornubianita. Roca dura, maciza, de grano fino, por lo común con granos o cristales dispersos, de kyanita, estaurolita y otros minerales comunes en las zonas de metamorfismo de contacto.



APENDICE C1 Desintegración de una sustancia radioactiva.

Los átomos de un isótopo radioactivo desaparecen obedeciendo, en su conjunto, a las leyes de la estadística. El número  $dN$  de átomos que desaparecen durante un tiempo  $dt$  es proporcional al número  $N$  de átomos presentes:

$$-dN = \lambda N dt;$$

Solución

$$-dN/N = \lambda dt;$$

integrando entre límites ( $N_0$  a  $N$ ) y ( $0$  a  $t$ ):

$$-\int \ln N / N_0 = \lambda \int_0^t dt;$$

$\lambda$  es la probabilidad de destrucción de un átomo por unidad de tiempo. La solución de esta ecuación diferencial es una exponencial de coeficiente negativo:

$$\ln N/N_0 = -\lambda t;$$

$$N/N_0 = e^{-\lambda t}; \quad N = N_0 e^{-\lambda t};$$

$N_0$  es el número de átomos presentes en el origen, en el instante cero, y  $N$  el número de átomos presentes en el instante  $t$ .

Se calcula a menudo el tiempo  $T$  necesario para que el número de átomos decaiga a la mitad:

$$N/N_0 = e^{-\lambda t} \quad (N \text{ va de } N_0 \text{ a } 1/2 N_0 \text{ y } t \text{ va de } 0 \text{ a } t);$$

∴ substituyendo:

$$\frac{1/2 N_0}{N_0} = \frac{N_0}{2N_0} = e^{-\lambda t};$$

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda t};$$

en forma logarítmica:

$$\ln N/N_0 = -\lambda t ;$$

cambiando el signo:

$$-\ln N/N_0 = \lambda t = \ln N_0/N = \ln N_0 / \frac{1}{2}N_0$$

$$= \ln 2 N_0 / N_0 = \ln 2 ;$$

$$\ln 2 = 2.303 \cdot \log_{10} 2 = 2.303 \cdot 0.3010$$

$$= 0.693 = \lambda T$$

$$\therefore T \text{ ( el tiempo )} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$\lambda$

T es el tiempo medio ó período de vida media.

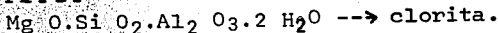
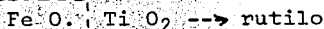
$\lambda$  es una constante radioactiva absolutamente característica de un radio isótopo. T, también es una característica del isótopo: el período. El período de un radio isótopo es, pues, el tiempo necesario para que este pierda la mitad de sus átomos. Es indispensable el número de los átomos iniciales. Prácticamente se admite una destrucción casi completa (hasta  $0/100$ ) al cabo de un tiempo igual a una decena de períodos.

Lo anterior nos lleva a concluir que la desintegración de una sustancia radioactiva, si hay al principio, un número  $N_0$  de átomos radioactivos, al cabo de un tiempo igual al período T, no existe más que la mitad de estos átomos. Al cabo de un tiempo 2 T, no queda más que una cuarta parte de estos átomos, etc.

(  $\lambda$  = Lambda )

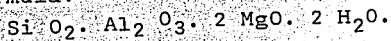
APENDICE D 1 Origen del rutilo.

Debido a que en areniscas metamorfoseadas del paleozoico se encuentran en Oaxaca los minerales de ilmetita y de rutilo, los geólogos creen que al metamorfosearse las areniscas dieron lugar a gneis con alto contenido de ilmenita ( $FeO \cdot TiO_2$ ), la cual se transformó en rutilo ( $TiO_2$ ) al sufrir dichos terrenos metamorfoseados una cloritización. Estas cloritizaciones se han podido observar en Oaxaca en las minas abiertas. El metamorfismo puede ser ocasionado por intrusiones de roca básica, que forma un gneis básico sintético, provocando una cloritización por las piroxenas y hornblendas que transforman el trióxido de titanio y fierro (ilmenita) en bióxido de titanio (rutilo).



La cloritización puede motivarse por los fenómenos pneumatológicos durante la intrusión de un dique andesítico de hornblenda.

Las cloritas son un grupo de monosilicatos hidratados de alúmina, hierro y magnesio, de color verdoso y que tienen la siguiente fórmula:



Se presenta en hojuelas exagonales y su yacimiento constituye frecuentemente capa de unión entre las rocas. Son solubles en ácido clorhídrico, débilmente magnéticas. Las cloritas se parecen a las micas, pero son más ligeras y plegables, aunque no son elásticas. El hierro puede substituir al aluminio.

El rutilo se usa en la fabricación de pigmentos de pintura; para aleaciones de acero y para obtener el metal titanio que se usa en la fabricación de aviones de chorro y de gran velocidad, ya que este metal resiste la tensión, comprensión y las altas temperaturas.

-117-

El rutilo de Oaxaca según se sabe esta controlado por las compañías extranjeras, que son las que determinan el precio y la demanda en el mercado mundial.

APENDICE E. MINERALES EXPLOTADOS EN DEPOSITOS DE PLACER.

Muchos son los minerales que se pueden encontrar en depósitos aluviales.

Los minerales más frecuentes en depósitos aluviales y que han sido en los momentos actuales explotados económicamente, son los siguientes:

Nombre	Composición	Sistemas Cristalinos	Dureza(I)
Oro	Au	Isométrico	2.5-3
Platino	Pt	Isométrico	4 -4.5
Casiterita	Sn O <sub>2</sub>	Tetragonal	6 -7
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Isométrico	6
Ilmenita	Ti O <sub>3</sub> Fe	Trigonal	5.5-6
Rutilo	Ti O <sub>2</sub>	Tetragonal	6 -6.5
Monazita	PO <sub>4</sub> (Ce,La,Y,Th)	Monoclínico	5.5-6.0
Wolframita	WO <sub>4</sub> (Fe,Mn)	Monoclínico	5. -5.5
Cromita	Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Fe	Isométrico	5.5
Torianita	(Th,U)O <sub>2</sub>	Isométrico	5.5-6.5
Torita	SiO <sub>4</sub> Th	Tetragonal	4.5
Cianita	SiO <sub>5</sub> Al <sub>2</sub>	Triclínico	5 -7

(I) Diez son los minerales para formar la escala comparativa de dureza y cualquier mineral desconocido se puede clasificar entre 1 y 10, probándolo con los ejemplares conocidos de la escala, los cuales ordenados de acuerdo con su dureza son en sentido creciente:

1. Talco, 2. Yeso, 3. Calcita, 4. Fluorita,
5. Apatita, 6. Ortoclasa, 7. Cuarzo, 8. Topacio, 9. Corindón, 10. Diamante

B I B L I O G R A F I A .

1. Actividades y resultados de exploraciones efectuadas por la Comisión Autónoma para la Investigación de los Minerales Radioactivos. México, 1956.
2. Aguilera J.G. Sinopsis de Geología Mexicana. México, 1897.
3. Aguilera J.G. y Ordoñez Ezequiel. Datos para la Geología de México, 1953.
4. Antón y Echagaray, Manual de exploración del Uranio. - México, 1958.
5. Barrera Tomás. La mica de Oaxaca. Instituto de Geología. México, 1929.
6. Bateman Alan H. Yacimientos minerales de rendimiento económico. Barcelona, 1961.
7. Bateman Alan H. The formation of mineral deposits. Nueva York, 1951.
8. Bateman Alan H. Magmas and Ores. Economic Geology. 37 - U.S.A., 1942.
9. Bowen H.L. The evolution of the Igneous Rocks. Princeton University. U.S.A., 1928.
10. Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. Estudios Económicos. México, 1964.
11. Coppens R. La radioactividad de las rocas. INDEBA. Buenos Aires, 1963.
12. De Landa y Escandón, Girault, Edmundo. Informe sobre la zona minera de San Miguel Peras, ubicado en el Estado de Oaxaca. México, 1892.

13. Eckel E.C. Gements, limes and plasters. J.W. and Sons, New York, 1928.
14. Font I., Altaba. Atlas de mineralogía. Barcelona, 1960.
15. Fries, Jr. Carl. Estudios geocronológicos de rocas mexicanas. UNAM. Instituto de Geología. México, 1962.
16. González Reina J. Riqueza minera y yacimientos minerales de México. México, 1944, 1947, 1956.
17. Herrera A.O. Los recursos minerales de Latinoamérica. Buenos Aires, 1965.
18. Kulin G.D. Factors in The Deposition of Hydrothermal Ores. Economic Geology. U.S.A., 1950.
19. Johns Richard H. The study of pegmatites. Economic Geology. (Volumen del cincuenta aniversario) U.S.A., 1945.
20. Lyell Charles. Principles of Geology. Londres, 1875.
21. Longwell Chester R. y Flint Richard F. Geología Física. México, 1965.
22. L'Archique du Cañón de Temallín, Congreso Geológico Internacional. Libro Guía Excursión, 102, México, 1906.
23. Neumann Heinrich. On Hydrothermal Differentiation. Economic Geology. U.S.A., 1948.
24. Ordoñez Ezequiel. Las Rocas Arcaicas de México. México, 1906.
25. Pomjak E. Depositio of Calcium Sulfate from Sea Water. American Journal Science. U.S.A., 1940.
26. Pérez Larios José. El Grafito, Minería y Metalúrgica. México, 1965.

27. Ramírez Gómez R. y otros. Estado de Oaxaca, Obras y Servicios Públicos. B.N.H.U.O.P., S.A. México, 1959.
28. Resumen del Informe correspondiente a la exploración geológica minera de la Mixteca de Oaxaca. Instituto de Recursos Minerales. México, 1950.
29. Shand S.J. Eruptive Rocks. J.W. and S. Nueva York, 1947.
30. Stephen Miall, LL.D.B. Sc. y Mackenzie L. Miall, B.A., - F.R.I.C. Diccionario de Química. México, 1953.
- 31.- Tarr W.A. Introductory Economic Geology. Nueva York, 1930.
32. Vogt J.H.L. Magmas and Igneous Ore Deposits. Economic Geology. 21. U.S.A., 1926.
33. Williams, H., Turnes F.J. Petrography. San Francisco, 1954.
34. World Power Conference. Energy Resources. Londres, 1962.



# I N D I C E

- I**    **Introducción.**
- II**   **Generalidades sobre los recursos minerales.**
- III**   **Generalidades Geográficas.**
  - 1. Localización del área estudiada. 2. Integración territorial. 3. Medio físico. 4. Población y algunos aspectos económicos.
- IV**   **Relación geológica de datos existentes y estudios de mapas.**
- V**    **Generalidades sobre el legado de la materia inerte.**
- VI**   **Generalidades sobre procesos y origen de los yacimientos minerales.**
  - 1. Concentración dentro del magma. 2. Alteración de la roca en contacto con el magma. 3. Depósitos formados por aguas calientes que proceden del magma al enfriarse.
  - 4. Depósito a partir de soluciones en mares y lagos.
  - 5. Concentración por intemperización y aguas subterráneas.
  - 6. Concentración mecánica.
- VII**   **Exploraciones, comprobaciones y estudio de yacimientos.**  
Zonas de Tomellín, Parífan, La Carbonera, Telixtlahuaca, San Pedro Tejalpa, Zimatlán, Ocotlán y Taviche, Ejutla y Miahuatlán.
- VIII**   **Conclusiones y algunas consideraciones finales.**

## **APENDICES**

**Mapas, croquis y láminas del Centro de Oaxaca en el Sur de México.**

- A. Identificación de minerales comunes en Oaxaca y de algunos minerales importantes.**
- B. Identificación de rocas comunes.**
- C1. Desintegración de una sustancia radioactiva.**
- D1. Origen del rutilo.**
- E. Minerales explotados de depósitos de placer.**

## **BIBLIOGRAFIA**