

Nota Preliminar Sobre las Eclogíticas de Acatlán, Puebla.

Fernando Ortega-Gutiérrez

*Instituto de Geología, UNAM Apartado Postal 70-296 México
20, D. F.*

RESUMEN

Se descubrieron por primera vez en México rocas eclogíticas en varias localidades entre Acatlán y Tehuizingo. Las rocas forman parte de un complejo al parecer ofiolítico metamorfoseado y deformado varias veces durante el Paleozoico. Estudios con microsonda electrónica de los minerales eclogíticos permiten clasificar a estas eclogitas dentro de un grupo asociado a regímenes metamórficos en antiguas zonas de subducción litosférica. Las condiciones físicas aproximadas obtenidas para la eclogitización a partir del contenido de jadeíta en la omfacita y de las asociaciones minerales paragenéticas son de 11-12 kilobares y 500-550°C.

ABSTRACT

Eclogitic rocks were found for the first time in México in several places between Acatlán and Tehuizingo. The rocks are part of a seemingly ophiolitic complex repeatedly metamorphosed and deformed during the Paleozoic. Microprobe study of the eclogitic minerals permitted the classification of these eclogites within a group associated with metamorphic regimes in ancient subduction zones. The approximate physical conditions obtained for the eclogitization from the jadeite content of omphacite and from the mineral parageneses were 11-12 kilobars and 500-550°C.

INTRODUCCION

Las rocas metamórficas de Acatlán ("Esquistos Acatlán", Salas, 1949) se han mencionado en numerosos trabajos desde los estudios clásicos de Or-

dóñez (1904), pero nunca se habían estudiado con detalle. Recientemente, el Instituto de Geología inició un programa sistemático para dar a conocer las rocas cristalinas del sur de México; dentro de este programa deben mencionarse en especial los trabajos geocronométricos de C. Fries e investigadores asociados (1962, 1965, 1966, 1970). Desde 1970, bajo la dirección del Dr. Nicholas Rast, profesor visitante de la Universidad de Liverpool en el Instituto de Geología durante ese año, el programa se extendió para abarcar la estructura y la tectónica de estas rocas cristalinas.

Como parte de dicho programa y como tema de disertación doctoral, el presente autor estudió las rocas pre-Mesozoicas de la región de Acatlán donde se descubrieron las eclogitas que de una manera preliminar se describen a continuación y que serán objeto de una publicación más extensa en el futuro próximo.

LOCALIZACION

La región está situada entre Acatlán y Tehuizingo, parte meridional del Estado de Puebla en la Provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur a una altura media s.n.m. de 1100 metros. En la Fig. 1 se muestran las localidades donde afloran rocas eclogíticas, aunque aquellas que contienen la asociación típica *omfacita-granate-rutilo* se encuentran solamente entre Piaxtla y Tecamatlán. En los otros lugares, la omfacita fué al parecer destruida por episodios metamórficos subsecuentes.

GEOLOGIA GENERAL

Las rocas eclogíticas forman parte de un complejo

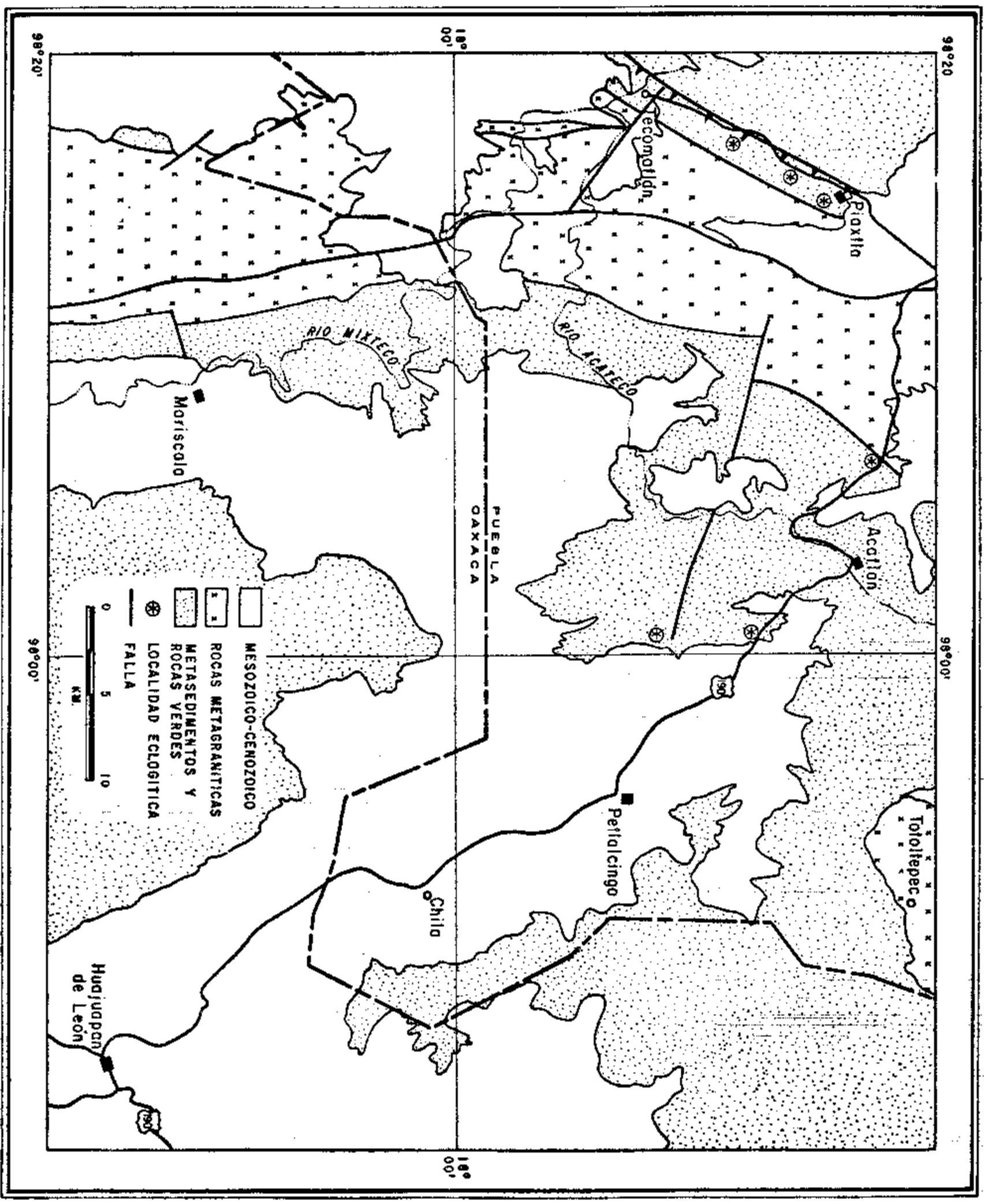


FIG. 1.-PLANO GEOLOGICO DE LOCALIZACION

metaígneo de rocas verdes, aparentemente ofiolítico, que consiste de esquistos verdes, metagabros de hornblenda, serpentinitas, eclogitas y metasedimentos silíceos y aluminosos intercalados. El complejo está a su vez incluido en una potente secuencia de metasedimentos y rocas metagraníticas intensamente deformada. El espesor de las rocas verdes es variable, pudiendo alcanzar en el área estudiada es de unos cientos de metros, hasta 2 km. Los afloramientos del complejo ofiolítico se encuentran distribuidos en fajas paralelas que reflejan plegamientos reiterados en ocasiones recumbente e isoclinal, con ejes orientados de una manera general N-S y de buzamiento escaso. Tomando como base criterios estructurales, estratigráficos, geocronométricos y paleontológicos, la edad del complejo queda situada dentro del Paleozoico Inferior y Medio (Ortega-Gutiérrez, en preparación).

Petrografía:

Por lo menos dos tipos de rocas eclogíticas están presentes en la región de Piaxtla-Tecomatlán, uno contiene fengita (solución sólida de muscovita y celadonita), y el otro abundante hornblenda como minerales esenciales junto con la omfacita y el granate. El cuarzo solo es abundante en la eclogita de fengita, y la anatasa/rutilo es el mineral accesorio característico, mientras que la apatita y la piritita parecen ser de origen secundario. La eclogita de hornblenda contiene además abundante epidota y algo de plagioclasa, ambos de origen primario (eclogítico).

La textura es cataclástica en la eclogita de fengita y granoblástica en la variedad de hornblenda, siendo el tamaño medio de los cristales en ambos casos 1-2 mm. A continuación se describen los minerales más importantes: *Omfacita* (5-30%). Se presenta en cristales prismáticos con un pleocroísmo ligero de tonos verdosos y birrefringencia baja: el ángulo óptico es de aproximadamente 60° y el ángulo máximo de extinción obtenido es de $Z/c = 50^\circ$. Los cristales muestran frecuentes inclusiones de anatasa/rutilo y generalmente su periferia y algunos cristales completos están alterados a simplectitas (texturas finas de intercrecimiento de dos o más minerales) compuestas de plagioclasa y hornblenda, o de plagioclasa, calcita y clorita.

Granate (20-30%). Su forma es idioblástica en la eclogita de fengita o semiesférica y de tamaño más pequeño en la eclogita de hornblenda. Contiene también frecuentes inclusiones de anatasa/rutilo y la alteración no es tan intensa como la de la omfacita

los productos de alteración son, epidota, hornblenda, dorita, cuarzo y estilpnomelano. Algunos cristales muestran dos etapas de crecimiento y otros contienen inclusiones orientadas que definen una foliación interna discordante con la externa; esta última es de naturaleza cataclástica y caracteriza a algunas de las eclogitas, particularmente a las ricas en cuarzo y fengita.

Fengita (0-10%). Ópticamente es parecida a la muscovita, excepto que su refringencia es mayor y su figura óptica uniaxial ($2V = 0^\circ$). Posee una buena orientación preferente y muestra algo de deformación interna. En contacto con el cuarzo, se encuentra rodeada por un fino halo de feldespato potásico.

Hornblenda (0-60%). Es de hábito diablástico con respecto a la omfacita. Su color es verde azulado de pleocroísmo moderado y alterada solo a lo largo de fracturas rellenas de carbonatos, o de anfíbola azul oscuro, posiblemente glaucofano.

Plagioclasa (0-5%). Carece de gemelación y se encuentra en equilibrio textural en contacto con el cuarzo y la omfacita. Su índice de refracción relativo y su signo óptico demuestran que se trata de oligoclasa.

Epidota (0-10%). Este mineral es parte de la paragénesis eclogítica únicamente en las variedades de hornblenda, mientras que en las de fengita es producto de la alteración del granate y posiblemente también de la zoisita, de la cual existen algunos centros relictos en varias de las epidotas.

Cuarzo (5-20%). Se presenta deformado y poligonizado en las eclogitas de fengita, pero carece de deformación en las de hornblenda. En este último caso, se haya claramente en equilibrio textural con la omfacita, mientras que ésta relación no es clara en las eclogitas de fengita.

Anatasa/rutilo (1%). Se presenta como inclusiones xenoblásticas en los otros minerales primarios, o como pequeños prismas idioblásticos cuyas propiedades ópticas son las de la anatasa, aunque se cree que también su polimorfo, el rutilo, está presente.

Las localidades fuera de la zona de Piaxtla-Tecomatlán exponen solamente metaeclogita (amfibolitas granatíferas), generalmente sin plagioclasa pero ricas en clinozoisita/zoisita. Su origen metaeclogítico lo sugieren evidencias petrográficas tales como la presencia del mismo granate, el abundante rutilo y el desarrollo de texturas simplectíticas al parecer re-

lacionadas con la destrucción de la omfacita durante la diaforesis. Por otra parte, la amplia distribución de las rocas eclogíticas demuestran la extensión regional de este período de metamorfismo desarrollado a altas presiones.

Petrogenesis

Los minerales primarios de una eclogita de fengita fueron analizados con microsonda electrónica en la Universidad de Leeds, Inglaterra; un resumen de los resultados obtenidos se da en la Tabla 1.

TABLA 1. Composición molecular media (%) de algunos minerales primarios de una eclogita de fengita, región de Acatlán, Pue.

	GRANATES		OMFACITAS	FENGITA		
	Centros	Bordes				
Almandita	55.5	54.2	Jadeita	40.6	Muscovita	57
Grosularita	35.4	34.6	Diopsida	42.9	Celadonita	38
Piropo	5.5	10.5	Acmita	16.5	Paragonita	5
Espesartita	3.7	0.7				8

A partir del contenido molecular de jadeíta en la omfacita y de acuerdo con los datos experimentales de Kushiro (1969), es factible de una manera aproximada conocer la presión a que fueron formadas estas soluciones sólidas de jadeíta-diopsida, si se tiene una buena estimación de la temperatura de la eclogitización. Para obtener esta última, se utilizaron dos criterios uno cuantitativo y otro comparativo. El primero hace uso del coeficiente de distribución del Fe⁺ y del Mg entre el granate y la omfacita, factor que es una función primordial de la temperatura de formación de los minerales anteriores, ya que se ve poco afectado por la presión y la composición química de la roca (Banno, 1970: 411). El criterio comparativo se refiere a los datos de la estabilidad máxima experimental de ciertos minerales tales como el cloritoide, que profusamente se formó en los metasedimentos intercalados con las eclogitas, así como de las asociaciones paragenéticas *hornblenda-granate-epidota-plagioclasa* y *cuarzo-granate-zoisita* que caracterizan las facies de *Epidota-Amfibolita* y aún de la *Amfibolita*.

Basándose en estos criterios y en otras consideraciones adicionales (Ortega-Gutiérrez, en preparación), se llegó a una cifra aproximada de 500-550°C para las condiciones térmicas del metamorfismo que produjo las eclogitas. Con estos valores de la temperatura, pudo estimarse que la presión mínima a que se formaron dichas rocas fluctúa entre 11-12 kilobares. Si se desprecian las posibles sobrepresiones tectónicas, estos valores corresponden a una profundidad de 40-45 km bajo la superficie que determinan

un gradiente térmico medio durante la eclogitización de 13°C/km aproximadamente.

Discusión

Las eclogitas, desde su primera referencia (Hauy, 1822: 548) y a través de la gran cantidad de literatura aparecida desde entonces sobre su mineralogía, petrografía, génesis y significado tectónico, han sido motivo de controversia. Al principio se creía que eran condiciones esenciales para la formación de los eclogitas no solo elevadas presiones sino también altas temperaturas. El descubrimiento de rocas eclogíticas en diferentes ambientes geológicos que han incluido desde las kimberlitas hasta rocas débilmente metamorfoseadas, hizo pensar a muchos autores en un posible origen cortical para algunos grupos de eclogitas. Los estudios teórico-experimentales (Ringwood and Green, 1966; Green and Ringwood, 1967) demostraron finalmente que en realidad los minerales de las eclogitas eran los de mayor estabilidad termodinámica, incluso a niveles relativamente someros en la corteza terrestre en preferencia a los minerales de los basaltos, de los gabros y de las amfibolitas, rocas de composición química similar a la de las eclogitas.

Coleman *et al* (1965), tomando como base el ambiente geológico donde se han encontrado las eclogitas propusieron la siguiente clasificación:

Grupo A: Inclusiones en kimberlitas, basaltos y ho-

rizontes en rocas ultramáficas.

Grupo B: Bandas o lentes en terrenos gnéissicos y migmatíticos.

Grupo C: Bandas o lentes en rocas metamórficas de tipo alpino. Estos grupos fueron mineralógicamente caracterizados por el contenido molecular de piropro en solución sólida dentro de los granates eclogíticos de acuerdo a los siguientes porcentajes: *Grupo A* más del 55%, *Grupo B* 30-55% y *Grupo C* menos del 30%. Además se concluyó que el contenido de jadeíta en las clinopiroxenas de las eclogitas, era progresivamente mayor desde el *Grupo A* hasta el *Grupo C*. Por otro lado, Banno (op cit.) llegó a una

clasificación semejante, pero tomando en cuenta el valor numérico del coeficiente de distribución del Fe^{+2} y del Mg entre el granate y la piroxena eclogíticos, definido por la siguiente relación termodinámicas:

$$K' = (XFe/XMg)_{oran} / (XFe/Mg)_{exp}$$

donde K' es el coeficiente de distribución y X es la concentración molecular efectiva del Fe^{+2} y del Mg en el granate o la piroxena.

Dicha clasificación se muestra en la Tabla 2. compilada y simplificada de los datos de Banno (op cit.)

TABLA 2. Clasificación genética de las eclogitas como una función de K'

AMBIENTE GEOLÓGICO	K	EJEMPLO TIPICO
Esquistos azules con lawsonita	30-40	Colombia
Esquistos azules sin lawsonita	20-30	Alpes Occidentales
Facies de Epidota-Amfibolita	10-2	Japón
Facies de Amfibolita	5-11	Escocia
Facies de Granulita	6-7	Noruega
Eclogitas del Manto	2.5-11	Hawai

Con relación a la clasificación de Coleman et al (op. cit.) los primeros tres ambientes de la Tabla 2 definen las condiciones de formación del *Grupo C*; los dos siguientes las condiciones del *Grupo B* y el último ambiente las condiciones de formación del *Grupo A*.

El valor computado para K' a partir de la composición de algunos granates y piroxenas de una eclogita de fengita de la región de Acatlán; fue de 32 ± 12 , el cual coloca a estas rocas dentro del *Grupo C*, es decir, en el asociado a los ambientes alpinos de metamorfismo regional.

Los datos anteriores concuerdan con la naturaleza estructural y litológica reconocida en el Complejo Acatlán, y con la presencia de glaucofano (determinación óptica) en algunas de las rocas asociadas a las eclogitas (Ortega-Gutiérrez, en preparación). La importancia de este hallazgo para la geología de México y de esta parte del continente es obvia si se sitúa en el marco de las teorías sobre tectónica global, la cual confiere especial significación a las

eclogitas del *Grupo C* y rocas asociadas (esquistos azules) que se han formado en condiciones de alta presión y de temperatura relativamente baja (Coleman, 1972). Tales condiciones físicas de metamorfismo comunmente se presentan en zonas de subducción litosférica, donde el descenso de una placa es relativamente rápido comparado con el aumento geotérmico de la temperatura (Miyashiro, 1972: 629)

El hallazgo, además, es de consecuencias sumamente importantes en relación con la arqueología de los objetos de jade de las antiguas culturas mexicanas, ya que nunca se había localizado las posibles fuentes de esos materiales jadeíticos dentro del territorio nacional.

En una publicación próxima se analizarán las consecuencias geológicas de las eclogitas de Acatlán en relación con la posible extensión del sistema orogénico Caledoniano-Apalachiano hasta el sur de México, y también con la posible existencia de un par de fajas metamórficas paralelas de edad Paleozoica en esta parte del continente.

Agradecimientos

El estudio de este material fue posible gracias al interés del Instituto de Geología a través de su director, D. A. Córdoba, y del Consejo Británico, quienes brindaron al autor toda clase de facilidades en México y en la Universidad de Leeds, Inglaterra. En esa Universidad, tuve la oportunidad de beneficiarme con los conocimientos que libremente me ofreció el Dr. R. A. Cliff, a quien expreso mi más sincero y profundo agradecimiento.

BIBLIOGRAFIA CITADA

BANNO, S.

1970 *Classification of eclogites in terms of physical conditions of their origin*, Phys. Earth, and Planet. Interiors 3: 405-521.

COLEMAN, R. G.

1972 *Blue schist metamorphism and plate tectonics*. 24th. Intern. Geol. Congr. Sec. 2: 19-26.

COLEMAN, R.G., LEE, D.E., BEATTY, L.B. Y BRANNOCK, W.W.

1965 *Eclogites and eclogites: their difference: and similarities*. Bull. Geol. Soc. Am. 76, 483-508.

FRIES, C., SCHMITTER, E., DAMON, P.E. Y LIVINGSTON, D.E.

1962 *Rocas precámbricas de edad grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México*, Univ. Nal. Auton. México. Inst. Geol. Bol. 64 (3): 45-53.

FRIES, C. Y RINCON-ORTA, C.

1965 *Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría*. Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geol. Bol. 73(2): 57-133.

FRIES, C., SCHLAEPPEER, C.J. y RINCON-ORTA, C.

1966 *Nuevos datos geocronológicos del Complejo Oaxaqueño*. Soc. Geol. Mex. Bol. 29: 59-66.

FRIES, C., RINCON-ORTA, C., SOLORIO-MUNGUÍA J., SCHMITTER, E. y CSERNA, Z. de

1970 *Una edad radiométrica ordovícica de Totoltepec, Estado de Puebla*. Soc. Geol. Mex., Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca. 164-166.

GREEN, D.H. Y RINGWOOD, A.E.

1967 *An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological interpretations*. Geochim. Cosmochim. Acta. 31: 767-833.

HAUY, R.J.

1822 *Traite de mineralogie* V. 4. 613 pp., Bachelier. Paris.

KUSHIRO, I.

1969 *Clinopyroxene solid solutions formed by reactions between diopside and plagioclase at high pressures*. Mineral. Soc. Am. Spec. Paper 2: 179-190.

MIYASHIRO, A.

1972 *Metamorphism and related magmatism in plate tectonics*. Am. J. Sci. 272, 629-656.

ORDOÑEZ, E.

1904 *Las rocas arcaicas de México*. Soc. Cient. Antonio Alzate, Mem. 22: 315-331.

ORTEGA-GUTIERREZ, F.

En preparación, *Geología premesozoica de la región de Acatlán Pue.*

RINGWOOD, A.E. Y GREEN, D.H.

1966 *An experimental investigation of the gabbro-eclogite transformation and some geophysical implications*. Tectonophysics 3: 383-427.

SALAS, G.P.

1949 *Bosquejo geológico de la Cuenca-Sedimentaria de Oaxaca*. Asoc. Mex. Geol. Petrol. Bol. 1: 79-156.