

## GÉNESIS DEL GRAFITO DEL COMPLEJO OAXAQUEÑO Y SUS FACIES METAMÓRFICAS

*Sergio D. Bazán-Perkins*  
*Industria Minera Indio, S.A.*

Dentro de la secuencia arqueana del Supergrupo Pápalo, identificada por Bazán (1984 y 1985) en la sierra de Juárez, existen evidencias residuales para asumir que la actividad micro-orgánica proliferó entre los 3,500 a 2,500 m.a. Igualmente, se han reconocido extensas disseminaciones de thucholita y anthraxolita, en forma de hidro-carbón y kerógenos degradados, asociados al oro detrítico y en las concentraciones bandeadas de los "iron formation" de los grupos El Trapiche y Valdeflores, respectivamente, para representar al Supergrupo Zimatlán del Proterozoico temprano (2,500 a 1,700 m. a.) en el área tipo expuesta en la secuencia de la sierra de Vigallo, al poniente de Zimatlán.

Concentraciones más extensas y potenciales de grafito cristalino del Proterozoico medio, asociado al Fe, Ti, V, Ba, Mo, Mn, F, P, Th, U, S, de origen vulcanogénico, yacen en discordancia tectónica con los anteriores, a través de la Nappa de la Carbonera postulada por Bazán y Bazán Perkins (1984), bien expuestos en los yacimientos de El Hielo en Santa María Peñoles y en La Escondida, hacia la región de San Sebastián Sedas y Telixtlahuaca; supuestamente generados en un rift oceánico y en expansión, entre los 1,400 y 1,100 m.a. De acuerdo con postulados de Bazán-Perkins (1990), estos depósitos formaron kerógenos a partir de mares de circulación restringida, derivados de la actividad micro-orgánica bacteriana y algas, acumulados como lodos sapropélicos subacuáticos para formar limos negros y pizarras en proceso de litificación.

Estudios bioquímicos, petrográficos y litológicos de detalle permiten postular que estos yacimientos bandeados de grafito cristalino, que arman en paragneises cuarzo-feldespáticos de mica y granate, bajo un intenso metamorfismo progresivo, en facies de anfibolita y esquistos verdes, perdieron sus volátiles por la gran compresión lateral desde el oriente, ocurrida por el empuje del extenso Escudo Arqueano del Golfo y Las Antillas (Mexican Shield) que se integraba con África. Este proceso originó un flujo y migración petrolífera en areniscas arcóscas y conglomerados, así como en bancos arrecifales calcáreos de algas cianoficias del Proterozoico medio, dentro de una evolución tectónica análoga a la que se observa en los depósitos

petrolíferos del subsuelo de la planicie costera del Golfo de México, sólo que propiciados por un evento de subducción en sentido contrario (Lámina 1).

Las evidencias directas que definen acumulaciones de petróleo en el Grupo El Hielo, de la secuencia del Supergrupo Telixtlahuaca del Proterozoico medio, se prueban por la presencia de capas sello pelíticas y estériles. Igualmente, por los flujos de migración a través de zonas porosas como areniscas, conglomerados y fracturas, donde las concentraciones de grafito cristalino aparecen hacia los bordes de cuerpos diapíricos de mármol cipolino y con franca movilidad hacia las zonas de menor presión. Asimismo, por el carácter platafórmico de las rocas donde se distribuyen las concentraciones grafiticas con pH y Eh contrastante, que determina una zona de cuenca marina hacia el oriente y la zona litoral en dirección poniente, donde se define un núcleo que se dispersaba hasta alcanzar extensiones de  $5 \times 6 \text{ Km}^2$  (Lámina 2).

Dentro de ese contexto, existen diversas interpretaciones para establecer la naturaleza y condiciones termodinámicas de las facies de metamorfismo, basadas en las asociaciones mineralógicas de las rocas involucradas por la deformación metamórfica del Complejo Oaxaqueño. Así, varios expertos en petrología de rocas metamórficas determinan el grado o intensidad metamórfica a partir de una mezcla de asociaciones mineralógicas que corresponden a diversas clases químicas, pero pasan por alto su diferenciado polimetamorfismo. Tampoco discriminan en el campo y laboratorio el metamorfismo regional de las paragénesis típicas de metamorfismo de contacto y relacionadas con intrusiones ígneas.

Por ejemplo, Ortega Gutiérrez (1977), basado en varias determinaciones paragéneticas de los minerales comunes en las intrusiones de mármoles y calizas magnesianas del Complejo Oaxaqueño, movilizados en flujos de diapirismo gravitacional en facies de anfibolita y esquistos verdes, los confunde con episodios de anatexis, a temperaturas del orden de  $750^\circ\text{C}$  y en facies de granulita.

Por otra parte, Ortega Gutiérrez (1981) y Mora *et al.* (1986) determinan un metamorfismo regional en facies de granulita para el Complejo Oaxaqueño, cuando éste sólo ha sido identificado en las aureolas de contacto de

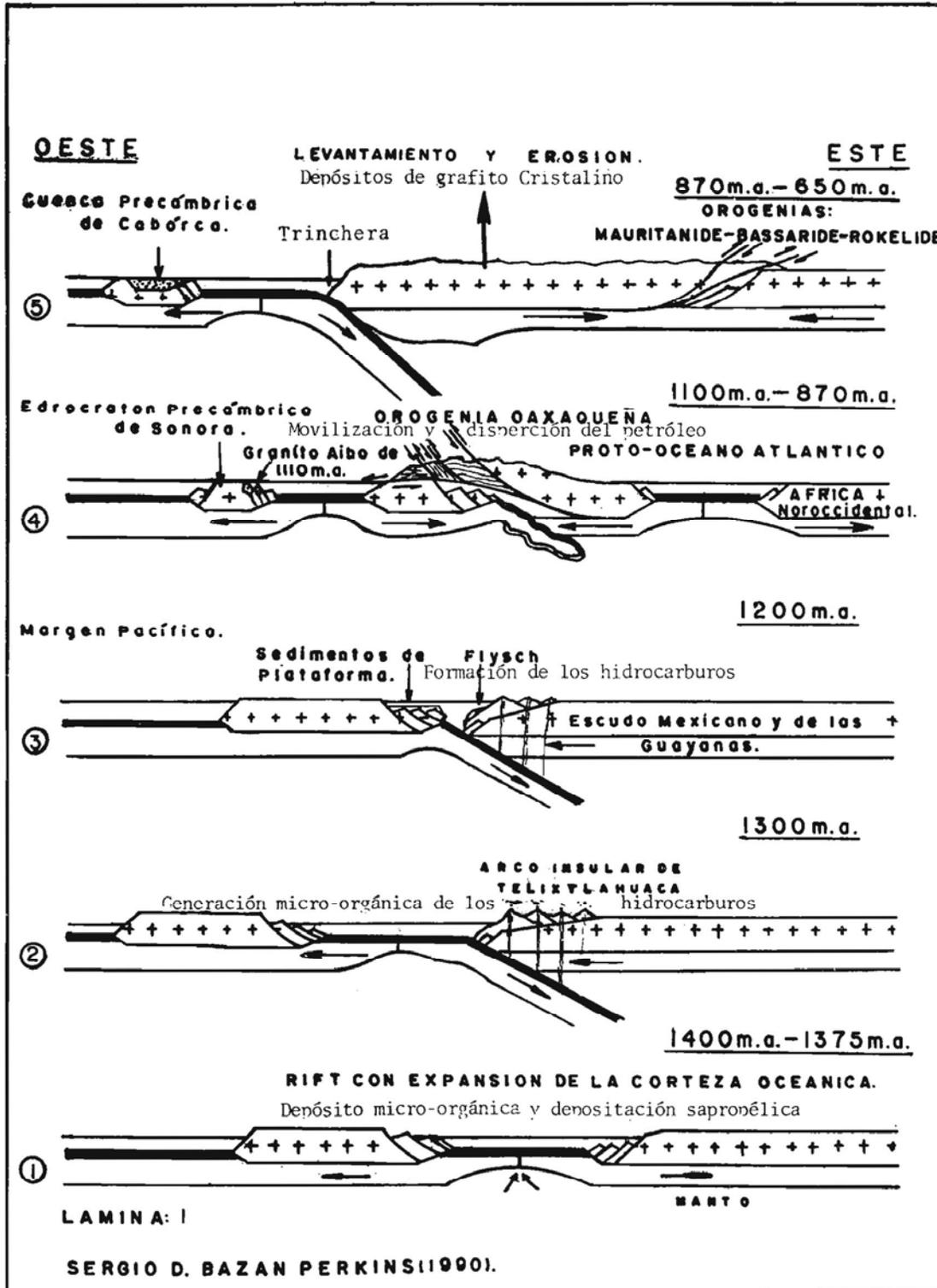


Lámina 1. Evolución tectónica del complejo oaxaqueño durante el Proterozoico medio-tardío (1400m.a.-650m.a.).

M.A	EON	ERATEMA	UNIDAD LITOLÓGICA	AMBIENTE PETROLÓGICO
900 +-	P. TRD.		SUPERGRUPO CABORCA	Secuencia no representada
1100		Discordancia Regional		
1400 +- 1800	PROTEROZOICO	MEDIO TELIXTLAHUACA SUPERGRUPO TELIXTLAHUACA ARCO INSULAR DE TELIXTLAHUACA	GRUPO LA JOYA	Subgrupo El Muerto y muy radiactivas, discordantes Subgrupo de Mármoles y Calcosilicatos Domas e intrusiones diapíricas de rocas calcáreas y magnesianas
			OROGENIA OAXAQUEÑA	En facies de anfibolita
			SUBGRUPO PEÑOLES	Ortogneises anatexíticos de tipo monzodiorítico, de la orogenia oaxaqueña, pero deformados.
			GRUPO: EL HIELO	Secuencia de ambiente miogeosinclinal con nappas (zona externa) penecontemporánea al arco insular
			SUBGRUPO VIGALLO	Emisiones volcánicas ultramáficas y máficas calcoalcalinas de arco. Con pegmatitas simples y deformadas
			GRUPO: TEJALAPAN	Secuencia vulcanosedimentaria y marina, de ambiente eugeosinclinal (zona interna cabalgada)
			GRUPO OAXACA	Subgrupo La Unión Derrames volcánicos andesíticos y dacíticos de "pillow lavas", incluye pegmatitas radiactivas
			Subgrupo Tenexpan	Orto y paragneises máficos con diseminaciones vulcanogénicas tipo Kuroko con pegmatitas complejas radiactivas
1800	Discordancia Regional			
2400 +-	PROTEROZOICO TEMPRANO	SUPERGRUPO ZIMATLAN	GRUPO: VALDEFLORES	Paragneises pelíticos y ferríferos de cuencas seniles, con varves, de itabiritas y jaspilitas hematíferas (iron formation)
			GRUPO EL TRAPICHE	Paragneises félsicos y máficos de una potente secuencias de arcosas y grauvacas, de cuencas intercratónicas. Contienen conglomerados con materia carbonosa que incluye diseminaciones de oro y uranio, epigenético.
2600 +-	Discordancia Regional			
	ARQUEANO	SUPERGRUPO PAPALO "GREENSTONES"	GRUPO SUPERIOR	Paragneises cuarzofeldespáticos y pelíticos, de arco insular con concentraciones vulcanosedimentarias de arco insulares.
			GRUPO INFERIOR	Potente secuencia volcánica de rocas máficas y ultramáficas de tipo toleítico y komatítico, que incluye dorsales de cuencas oceánicas (greenstone).
			LAMINA 2	

Lámina 2. Tabla estratigráfica del complejo oaxaqueño, Oaxaca.  
Ref.: Bazán (1984-85-87). Bazán-Perkins (1990).

las rocas afectadas por las intrusiones máficas y ultramáficas del Subgrupo Vigallo, que constituyen las rocas charnoquíticas y enderbíticas que Bazán (1987) refiere como el arco insular de Telixtlahuaca, fechado entre  $1,050 \pm 35$  m.a. Además, estos autores consideran que las rocas plutónicas anortosíticas estuvieron involucradas en un episodio premetamórfico del Complejo Oaxaqueño; cuando en realidad corresponden a un fenómeno de diferenciación pneumatolítica, originado por la intensa granitización y metasomatismo de las rocas precámbricas, hacia el Paleozoico tardío, que Bazán-Perkins y Bazán (1984) relacionan con el emplazamiento del Granito Huitzo fechado por Fries *et al.* (1966) en  $230 \pm 40$  m.a., por relación isotópica de Pb-Alfa y en conexión con la subducción de la placa Nuxiño, bajo la secuencia precámbrica del Complejo Oaxaqueño.

Otra referencia petrológica que involucra al grafito se relaciona con las interpretaciones de Murillo-Mufietón *et al.* (1991) y Prakash *et al.* (1991), donde estos autores determinan que la asociación mineralógica de wollastonita, cuarzo y grafito corresponde a un metamorfismo regional de alto grado de las granulitas, para las rocas involucradas en el área de El Trapiche, Oaxaca. Sin embargo, se debe reconocer que en la referida área, la escasa y local presencia de wollastonita se debe a un metamorfismo de contacto, producido por varios diques ultramáficos que migmatizaron y afectaron a la secuencia huroniana del Grupo El Trapiche y a los mármoles de El Hielo, a temperaturas mayores de  $800^{\circ}\text{C}$ , para producir las típicas granulitas charnoquíticas de hiperstena, con cuarzo, plagioclasa, hornblenda, diopsida y granate, que también se identifican en el Gneis Huiznopala, Hidalgo, y Gneis Novillo, Tamps., como un evento sincrónico de la orogenia.

Podemos resumir que para establecer la naturaleza del grafito cristalino, dentro de las diversas facies de metamorfismo involucradas en la secuencia precámbrica del Complejo Oaxaqueño, en principio, se diferenció el metamorfismo regional del conspicuo metamorfismo de contacto térmico. Asimismo, se definió la clase química de las rocas asociadas para determinar el ambiente de depósito y, en consecuencia, el orden cronológico y estratigráfico para determinar su distribución temporal y espacial, que facilitó interpretar la evolución tectónica.

Por lo tanto, se concluye que el proceso de enriquecimiento del grafito fue por entrapamiento, dentro de un control estratigráfico y estructural existente en las rocas metamórficas del Complejo Oaxaqueño, con una extraordinaria similitud con los depósitos de petróleo de las secuencias de Fanerozoico, que induce a considerar que el proceso de petrolización micro-orgánica pudo acontecer en la corteza desde hace 3,500 m.a. También es posible

considerar que el proceso micro-orgánico de generación petrolífera dependiera en gran medida de los nutrientes y energía calorífica proveniente de la actividad volcánica submarina, bajo las primeras acumulaciones de cuerpos de agua en la corteza.

Finalmente y como resultado de los estudios petrográficos del Complejo Oaxaqueño, se confirma un metamorfismo regional progresivo con temperatura entre  $370$  y  $660^{\circ}\text{C}$  y presiones variables de 3 a 5 Kb, en donde se corrobora que las rocas alcanzaron, cuando más, la parte alta de las facies de anfibolita. En contraste, las rocas granulíticas de tipo charnoquítico y de alto grado metamórfico sólo se distribuyen hacia las zonas de contacto y en torno de las intrusiones ultramáficas y máficas, que constituyen el arco insular de Telixtlahuaca, de naturaleza calci-alcalina y con mineralización vulcanosedimentaria de tipo Kuroko.

Al concluir que el grafito cristalino representa residuos orgánicos de hidrocarburos precámbricos, que perdieron sus volátiles por las elevadas condiciones termodinámicas de la Orogenia Oaxaqueña, se puede enfatizar que el origen del petróleo en la corteza terrestre se remonta a la primera aparición micro-orgánica de nuestro planeta.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Bazán Barrón, S. (1984). Litoestratigrafía y rasgos estructurales del Complejo Oaxaqueño, Mixteca Alta, Oaxaca. *Revista Geomimet* 129: 35-63.
- , (1985). La secuencia basal del Complejo Oaxaqueño y sus implicaciones metalogénicas y tectónicas: sierra de Juárez-Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. *Revista Geomimet* 137: 95-146.
- , (1987). Génesis de las pegamtitas del arco insular de Telixtlahuaca, *Revista Geomimet* 147 y 148, 40p.
- Bazán B., S. y S. Bazán-Perkins, (1984). La nappa precámbrica de la carbonera, durante la Orogenia Oaxaqueña. VII Conv. Nal. Soc. Geól. Mex. Resumen, p. 5-6.
- , 1984. Petrogénesis de las anortositas del Complejo Oaxaqueño. VII Conv. Nal. Soc. Geol. Mex. Resúmenes, p. 187-188.
- Bazán Perkins, S. (1990). Génesis y evaluación del yacimiento de grafito cristalino de "El Hielo", Santa María Peñoles. Oaxaca. Facultad de Ingeniería, UNAM. Tesis profesional, 133 p.

- Fries, C., C. Schlaepfer y C. Rincón-Orta, (1966). Nuevos datos geocronológicos del Complejo Oaxaqueño. *Bol de la Soc. Geol. Mex.* 29: 59-66.
- Mora, C., J. W. Valley y F. Ortega-Gutiérrez, (1986). The Temperature and Pressure Conditions of Grenville-age granulite facies metamorphism of the Oaxacan Complex, Southern Mexico. *Rev. Inst. Geología, UNAM*, V. 6, No. 2, p. 222-242.
- Murillo Muñetón, G., Om Prakash Goel, José M. Grajales Nishimura y R. Torres Vargas (1991). La paragénesis wollastonita-cuarzo-grafito en el Complejo Oaxaqueño; análisis genético. *Mem. Conv. Sobre la Evol. Geol. de México*, p. 128.
- Ortega-Gutiérrez, F. (1977). Los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño. *UNAM. Inst. de Geol., Revista*, v. 1, p. 28-32.
- , (1981). Metamorphic Belts of Southern Mexico and Their Tectonic Significance. *Bol. Geofísica Internacional*, No. 20-3, p. 177-202.
- Prakash Goel, Om; Gustavo Murilloa Nuñetón; J. M. Grajales Nishimura; R. Torres Vargas y Pedro Bosch Giral (1991). A rare Wollastonite-Quartz-Graphite Assemblage from a High-Grade Regional Metamorphic Terrain of Late Precambrian Age in Oaxaca, Mexico. *Revista del IMP*, Vol. XXIII, Núm. 3, p. 5-13