



## MADUREZ TERMICA DE LAS SECUENCIAS CENOZOICAS DEL SUR DE CHILE <sup>1</sup>

María Eugenia CISTERNAS <sup>2</sup>, Ursula KELM <sup>2</sup> y Marcos ZENTILLI <sup>3</sup>

**ABSTRACT:** *THERMAL MATURITY OF THE CENOZOIC SEQUENCES FROM SOUTHERN CHILE.* The lower (Oligo-Miocene) continental section of the Cenozoic sequence in the South of Chile (Regions IX and X) carries coal seams, while the upper marine (Mid Miocene) has potential for hydrocarbon generation. Due to the potential economic importance of the Cenozoic strata, the thermal maturity has been investigated by comparison of inorganic (clays, zeolites) and organic (vitrinite reflectance) diagenetic indicators. The diagenetic level of the clays, zeolites and organic matter in samples from drill holes in the Temuco, Valdivia and Osorno provinces indicate that both the lower continental and upper marine sequences are immature. The catagenesis zone has not been reached in any of the drill holes sampled. It seems improbable that any significant quantity of crude has been generated and only sub-bituminous quality coal is expected. The block-controlled post-Miocene tectonic framework, that defines the actual morphostructural landscape, makes areas with thicker overburden (i.e central Valley) a more prospective ground for studies. There deeper burying may have produced higher thermal maturity; therefore favouring hydrocarbon generation and increasing the coal maturity.

**KEY WORDS:** Cenozoic rocks, Diagenesis, Coal seams, Southern Chile.

**PALABRAS CLAVE:** Rocas cenozoicas, Diagénesis, Carbón, Sur de Chile.

### INTRODUCCION

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos respecto de la madurez térmica de las secuencias sedimentarias de edad oligocena-miocena ubicadas entre las localidades de Temuco y Osorno, Regiones IX y X del sur de Chile. La madurez térmica ha sido estudiada sobre la base de comparar indicadores diagenéticos inorgánicos (arcillas, zeolitas) con indicadores orgánicos (reflectancia de vitrinita).

Los afloramientos son escasos e insuficientes para correlaciones, razón por la cual para este estudio las muestras fueron tomadas exclusivamente de sondajes provistos por la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) y Compañía Minera San Pedro de Catamutún en las localidades siguientes: Labranza, cerca de la ciudad de Temuco, Millahuillín, Pupunahue, La Unión, Catamutún y Las Trancas, situados entre la Cordillera

de la Costa y el Valle Central en la provincia de Valdivia y más al sur, en la provincia de Osorno, las localidades de Rahue, Bellavista, Huilma y Río Blanco (figura 1).

El estudio de la evolución térmica se realizó en dos etapas: la primera comprende el análisis de indicadores diagenéticos inorgánicos y orgánicos en diferentes pozos entre Temuco y Osorno. La segunda, representa un trabajo de detalle realizado en la subcuenca de Pupunahue. La determinación de la mineralogía de arcillas y zeolitas, mediante difracción de rayos X, así como las mediciones de reflectancia de vitrinita (en aceite de inmersión) fueron realizadas en los laboratorios del Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción.

### MARCO GEOLOGICO

El Cenozoico del Sur de Chile se caracteriza, desde el punto de vista tectónico, por la formación de una extensa cuenca de tipo semigraben, coincidente con el eje de la actual depresión central, controlada por un sistema de fallas de dirección nornoreste-suroeste a noreste-suroeste. Bloques elevados de basamento, controlados por las estructuras citadas y otras de dirección este-oeste, subdividen longitudinal y transversalmente la cuenca principal. Durante

<sup>1</sup> Contribución al Proyecto IGCP "Paleógeno de América del Sur".

<sup>2</sup> Investigadores Proyecto Fondecyt 91-305. Instituto de Geología Económica Aplicada, Universidad de Concepción, Casilla 4107, Concepción, Chile.

<sup>3</sup> Department of Earth Sciences, Dalhousie University, Halifax, Canada.

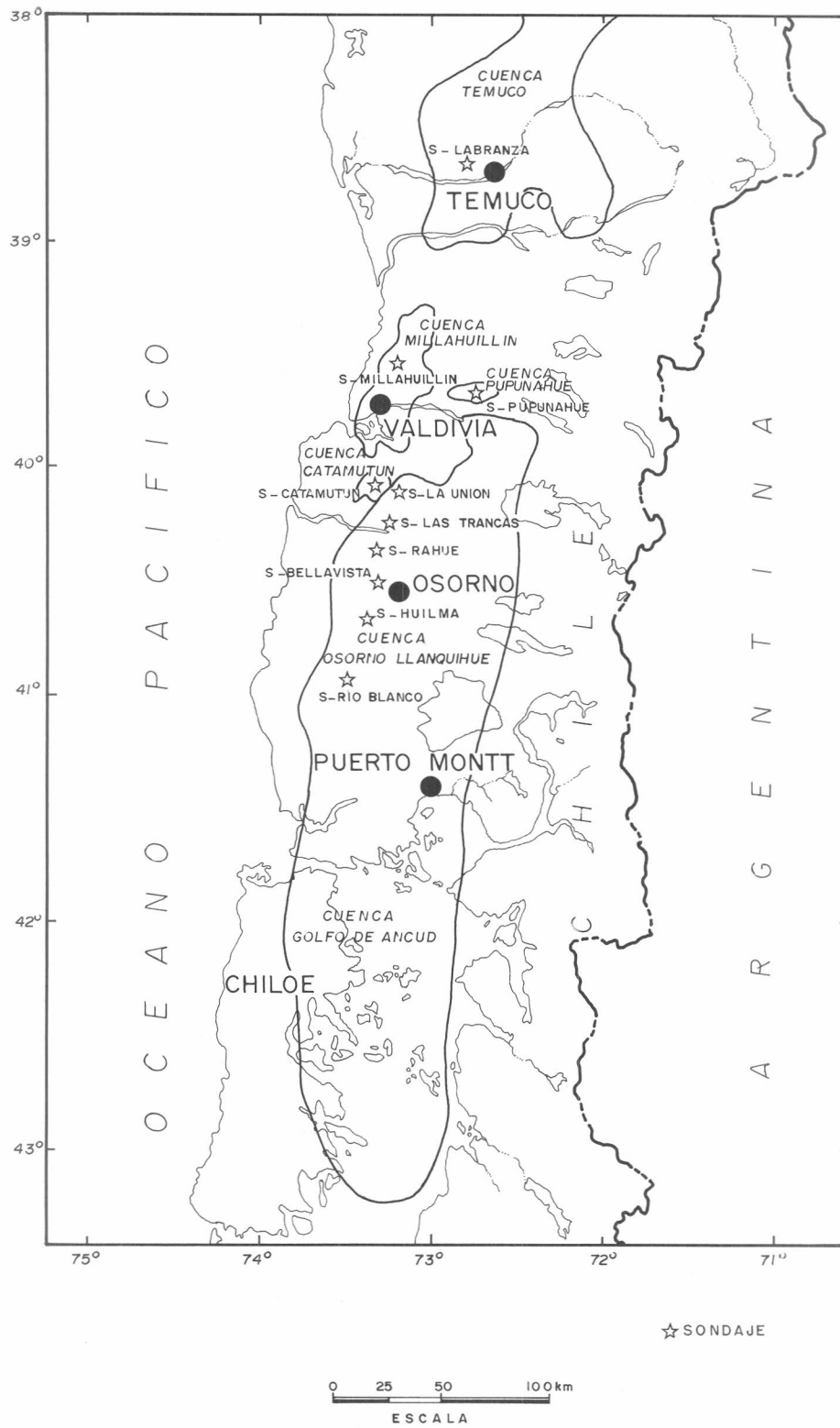


Figura 1. Ubicación de pozos muestreados.

el Oligoceno se habría producido el embancamiento de sistemas de drenaje, con la consiguiente formación de turberas en sectores restringidos desconectados entre sí. La cuenca carbonífera de Pupunahue representa típicamente una paleogeografía fluvial, con su eje mayor elongado en sentido este-oeste, paralelo al curso del río que le dio origen.

El basamento de las cuencas cenozoicas está conformado principalmente por metamorfitas paleozoicas y, sólo localmente, como en la cuenca de Temuco, aparecen unidades de Mesozoico (Triásico).

Las secuencias del Cenozoico entre Temuco y Puerto Montt han sido descritas por numerosos autores, con diferentes fines, lo que ha generado una nomenclatura formacional bastante confusa. Sin embargo, la estratigrafía se hace más comprensible si se consideran unidades genéticas controladas por procesos, en vez de unidades formacionales de roca. En ese contexto, las secuencias del Cenozoico en la región Temuco-Osorno se pueden agrupar en tres unidades principales (clasificación petrográfica según Pettijohn *et al.*, 1987):

**Unidad Genética I** (Oligoceno), inicia el relleno de la cuenca labrada directamente sobre el zócalo paleozoico. Es de carácter continental y representa los productos de sedimentación de sistemas aluviales y fluviales, así como equivalentes volcanoclásticos, derivados de la actividad de un arco magmático contemporáneo. Consiste de litaruditas y litarenitas arcósicas -cuyos componentes líticos son exclusivamente fragmentos de metamorfitas del basamento- y limolitas y arcillolitas micáceas, en parte carbonosas, las cuales localmente portan mantos de carbón de espesor variable entre algunos centímetros y 3,5 m. La porción volcanoclástica consiste de areniscas y limolitas tobáceas y tobas arenosas y limosas.

La edad oligocena se basa en el contenido polínico (Cisternas *et al.*, 1990).

Los equivalentes formacionales de esta unidad son la Formación Temuco en la región de Temuco (Céspedes y Johnson, 1984; Rubio 1990), la Formación San Pedro y los Estratos de Pupunahue, definidos por Illies (1970) en la región de Valdivia y la Formación Osorno (Céspedes y Johnson, 1984) en la provincia homónima.

**Unidad Genética II** (Oligoceno Superior alto-Mioceno Inferior), comprende volcanitas andesíticas, tobas lito- y cuarzo-feldespáticas e intercalaciones de limolitas tobáceas y tobas limosas con flora fósil bien preservada (Elgueta y Rubio, 1989; Rubio, 1990). Esta unidad, equivalente a la Formación Pilmahue, en el sentido de Rubio (1990), se asocia genéticamente al denominado Cordón Volcánico Miocénico de la Costa (Vergara y Munizaga, 1974; Vergara, 1982). Aflora y ha sido descrita en subsuperficie en la región de Temuco, donde sobreyace concordantemente a la Formación Temuco e infrayace discordantemente a la Formación Cholchol (Rubio, 1990).

**Unidad Genética III** (Mioceno Medio), dispuesta en pseudoconcordancia sobre la Unidad Genética I, o la II si ella está presente, evidencia un fuerte cambio de facies de continental a marina. Representa los productos de depositación asociados a un pulso transgresivo que penetró profundamente tierra adentro, de oeste a este y en la parte sur (provincia de Osorno) de suroeste a noreste, razón por la cual, localmente, se la encuentra directamente sobre el zócalo paleozoico. Está compuesta por arcillolitas micáceas, limolitas arcillosas y arcillolitas calcáreas. Contiene restos de moluscos, vermes, equinodermos, briozoos, hojas y abundantes foraminíferos. La asociación de foraminíferos bentónicos (Marchant y Pineda, 1988; Marchant 1990a,b) permite precisar su edad en el Serravaliano y límite Serravaliano-Langhiano. Recientemente, Covacevich *et al.* (1992) han confirmado la edad miocena media mediante el gastrópodo *Struthiolarella chilensis* (Phillippi).

La Unidad Genética III sería equivalente a la Formación Navidad de Chile Central, a la parte inferior de la Formación Cholchol (García, 1968) en el área de Temuco y a la Formación Santo Domingo (Martínez y Pino, 1979) en las cercanías de Valdivia, al "miembro superior de los Estratos de Pupunahue", según la nomenclatura de Palma y Alfaro (1982), Marchant y Pineda (1988) y Marchant (1990a,b) en el sector Valdivia-La Unión y a la Formación Hueyusca y Formación Huilma definidas en la región de Osorno (Céspedes y Johnson, 1984).

#### MINERALOGIA DE ARCILLAS Y ZEOLITAS

Fueron estudiados, mediante difracción de rayos X, preferencialmente los horizontes arcillosos y limosos de las unidades genéticas I (sedimentitas continentales con carbón) y III (sedimentitas). La mineralogía en roca total incluye cuarzo, feldespatos, clorita-muscovita, caolinita y montmorillonita. El estudio detallado en la fracción tamaño arcilla (menor de 4 micrones) indica que la mineralogía está dominada por montmorillonita, illita-muscovita, caolinita, clorita y trazas de cuarzo y feldespatos. Para acercarse a la determinación de la mineralogía de las arcillas diagenéticas y diferenciarlas claramente de las arcillas heredadas o detríticas, se estudió la fracción menor de un micrón, apareciendo, para la mayoría de las muestras con una expandibilidad superior a 80%, como mineral predominante la montmorillonita.

Con respecto a otros minerales diagenéticos los resultados señalan que la presencia de zeolitas clinoptilolita y estilbita, del grupo de la heulandita, no depende de la profundidad de la muestra en el sondaje, sino de la cantidad de material volcanoclástico presente.

Se concluye, entonces, sobre la base de la presencia de montmorillonita y clinoptilolita, que las condiciones diagenéticas alcanzadas por las unidades cenozoicas corresponden a la zona diagenética II (según Kisch, 1987).

Cuadro I. Reflectancia de vitrinita en las facies continentales (Unidad genética I).

PROFUNDIDAD EN METROS (bajo boca pozo)	TIPO DE ROCA	R <sub>0</sub>	S.D.	LOCALIDAD
709.00	Lutita carbonosa	0.41	0.04	LABRANZA 1
600.00	Lutita	0.49	0.03	LABRANZA 7
63.00	Lutita bituminosa	0.42	0.03	MILLAHUILLIN 1
64.80	Carbón	0.57	0.04	MILLAHUILLIN 1
104.90	Lutita carbonosa	0.57	0.02	MILLAHUILLIN 9
71.60	Lutita carbonosa	0.46	0.02	CATAMUTUN 4
82.04	Lutita carbonosa	0.44	0.02	CATAMUTUN 4
105.00	Lutita carbonosa	0.47	0.02	CATAMUTUN 5
121.00	Lutita carbonosa	0.53	0.02	UNION 1
182.90	Granos de bitumen *	0.39	0.03	UNION 4
577.02	Lutita carbonosa	0.41	0.05	RIO BLANCO

\* R<sub>0</sub> medido en granos de bitumen. Valor equivalente de reflectancia de vitrinita es al menos 0.1% más alto.

Cuadro II. Reflectancia de vitrinita en yacimiento Pupunahue.

PROFUNDIDAD EN METROS (bajo boca pozo)	TIPO DE MUESTRA	FACIES	R <sub>0</sub>	D.S.
PUPUNAHUE 3				
188.35	MOD*	Marina	0.53	0.04
195.90	Carbón	Continental	0.47	0.06
200.00	Carbón	Continental	0.45	0.04
219.00	Carbón	Continental	0.43	0.04
PUPUNAHUE 5				
24.38	MOD*	Marina	0.53	0.02
37.45	MOD*	Marina	0.44	0.05
127.00	Carbón	Continental	0.49	0.03
135.00	Carbón	Continental	0.44	0.03
140.00	Carbón	Continental	0.57	0.03
PUPUNAHUE 7				
30.00	MOD*	Marina	0.47	0.03
98.66	MOD*	Continental	0.43	0.04
128.95	Carbón	Continental	0.45	0.05
140.05	Carbón	Continental	0.51	0.04
154.50	Carbón	Continental	0.44	0.03

\* MOD: materia orgánica diseminada, previamente concentrada mediante líquidos densos.

#### REFLECTANCIA DE VITRINITA

El estudio de reflectancia de vitrinita (R<sub>0</sub>) se realizó tanto en partículas carbonosas provenientes de los mantos, como también, en partículas orgánicas dispersas en sedimentos.

Para una evaluación y comprensión global de la evolución térmica en la región comprendida entre Temuco y Osorno se realizaron mediciones de R<sub>0</sub> sólo en la porción continental inferior (Unidad Genética I) de la secuencia cenozoica (cuadro I). En cambio en el yacimiento de Pupunahue se hizo un estudio sistemático,

considerando tanto muestras de las facies continentales inferiores (Unidad Genética I), como marinas superiores (Unidad Genética III), para visualizar la variación de  $R_0$  respecto a la profundidad. Los resultados se presentan en el cuadro II.

Los valores de  $R_0$  obtenidos son en general inferiores a 0,5 %, indicando inmadurez, lo cual es congruente con los resultados de los indicadores inorgánicos y con el rango sub-bituminoso de los carbones de la Unidad continental inferior.

### CONCLUSIONES

Los resultados del estudio sistemático de la mineralogía de arcillas y zeolitas y valores de reflectancia de vitrinita, en la subcuenca Pupunahue y en los pozos ubicados entre Temuco y Osorno, permiten señalar que la secuencia cenozoica en su conjunto, vale decir la Unidad Genética I (continental) y Unidad Genética III (marina), es inmadura, no habiendo alcanzado la etapa de catagénesis o ventana de generación de hidrocarburos. Sin embargo, se ha observado hidrocarburos migrados en muestras de carbón del área de Millahuillín (Mafil, Provincia de Valdivia), lo que indica buen potencial de roca madre. Por esta razón se hace necesario estudiar aquellos pozos que tengan una mayor sobrecarga y por ende pudieran haber alcanzado la zona de catagénesis. Al respecto, cabe señalar que la máxima profundidad de los pozos muestreados para este trabajo alcanza los 709 m (Labranza, área de Temuco); por estudios geofísicos se conoce que en el eje de la actual Depresión o Valle Central, la parte basal de la secuencia cenozoica alcanza una profundidad del orden de 1500 m.

### BIBLIOGRAFIA

- CÉSPEDES, S. y JOHNSON, C. 1984. *Cuencas sedimentarias en el valle central entre Temuco y Puerto Montt*. Empresa Nacional del Petróleo. Informe Inédito. Santiago.
- CISTERNAS, M.E., ALFARO, G., PALMA, S. y HELLE, S. 1990. Marco geológico de las cuencas carboníferas de edad terciaria del sur de Chile. *Actas XI Congreso Geológico Argentino* 1:195-199. San Juan.
- COVACEVICH, V., FRASSINETTI, D. y ALFARO, G. 1992. Paleontología y condiciones de depositación del Mioceno marino en las nacientes del Río Futa, Valdivia, Chile. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 43: 143-154. Santiago.
- ELGUETA, S. y RUBIO, X. 1989. *Estudio del potencial petrolero de la Cuenca Temuco-Los Angeles con énfasis en estratigrafía y sedimentología. Parte I: Prospecto Temuco-Huichahue*. Informe 0378/1. Inédito. Santiago.
- GARCÍA, F. 1968. *Estratigrafía del Terciario de Chile Central*. En (Cecioni, G., Ed.) *El Terciario de Chile Central*: 25-57. Ed. Andrés Bello. Santiago.
- ILLIES, J. 1970. *Geología en los alrededores de Valdivia. Volcanismo y Tectónica en márgenes del Pacífico en Chile Meridional*. Universidad Austral de Chile, 64 pp. Valdivia.
- KISCH, H.J. 1987. *Correlation between indicators of very low grade metamorphism*. En (M. Frey, Ed.) *Low Temperature metamorphism*: 227-300. Blackwell. Oxford.
- MARCHANT, M. 1990a. Foraminíferos Miocénicos de los Estratos de Pupunahue (Provincia de Valdivia, X Región): Determinación de la edad probable y paleoambiente. *Actas II Simposio sobre el Terciario de Chile*: 177-188. Concepción.
- \_\_\_\_\_. 1990b. Nuevo registro de foraminíferos colapsados del Neógeno en Sudamérica. *Medio Ambiente* 11 (1): 92-94. Buenos Aires.
- \_\_\_\_\_. y PINEDA, V. 1988. Determinación de la edad del Miembro Superior Marino de los Estratos de Pupunahue, mediante foraminíferos. *Actas V Congreso Geológico Chileno* 2: C311-C325. Santiago.
- MARTÍNEZ, R. y PINO, M. 1979. Edad, paleoecología y sedimentología del Mioceno Marino de la Cuesta Santo Domingo, Provincia de Valdivia, X región. *Actas II Congreso Geológico Chileno* 3:H103-H124. Arica.
- PALMA, S. y ALFARO, G. 1982. Antecedentes palinológicos preliminares para la correlación de los mantos de carbón del Terciario de la provincia de Valdivia. *Actas III Congreso Geológico Chileno* 1: A206-A235. Concepción.
- PETTIOHN, F.J., POTTER, P. E. y SIEVER, R. 1987. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, 618 pp. New York.
- RUBIO, X. 1990. Geología Regional y Estratigrafía del Terciario de la Cuenca de Labranza, IX Región. *Actas II Simposio sobre el Terciario de Chile*: 285-295. Concepción.
- VERGARA, M. 1982. Andesitas subvolcánicas miocénicas del área entre Los Angeles y Temuco, su petrografía y mineralogía. *Actas III Congreso Geológico Chileno* 2:202-233. Concepción.
- \_\_\_\_\_. y MUNIZAGA, F. 1974. Age and Evolution of the Upper Cainozoic Andesitic Volcanism in Central-South Chile. *Geological Society of America Bulletin* 85(4):603-606. Boulder.