

1 **El registro lacustre del Jurásico en el subsuelo de la Cuenca Austral-Magallanes y su**  
2 **potencial como roca madre de hidrocarburos**

3

4 Hernán G. DE LA CAL <sup>(1)</sup>, Héctor J. VILLAR <sup>(2)</sup>, Gerardo N. PÁEZ <sup>(3)</sup>, Oscar F. GALLEGO <sup>(4-5)</sup>,  
5 Mateo D. MONFERRAN <sup>(4-5)</sup> y Evgeny V. YAN <sup>(6)</sup>.

6

7 (1) Roch S.A., Avenida Madero 1020, CP C1106ACX, Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
8 Argentina. hdelacal@roch.com.ar

9 (2) GeoLab Sur S.A., Italia 1616, CP B1602DOF, Florida, Buenos Aires, Argentina.

10 (3) Instituto de Recursos Minerales (INREMI), CONICET-Universidad Nacional de La Plata  
11 (UNLP), CP 1900, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

12 (4) Grupo Paleontología y paleoambientes continentales fanerozoicos - Centro de Ecología  
13 Aplicada del Litoral, CECOAL-CONICET-UNNE, Ruta Provincial N° 5, CP W3400,  
14 Corrientes, Argentina.

15 (5) Geología Histórica-Paleoinvertebrados-Micropaleontología (Área Ciencias de la Tierra -  
16 Departamento de Biología), Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura  
17 (FaCENA), Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Av. Libertad 5470, CP W3400,  
18 Corrientes, Argentina.

19 (6) Borissiak Palaeontological Institute, Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya ul.  
20 123, Moscow, 117997 Russia.

21

22 **RESUMEN**

23 La Cuenca Austral-Magallanes se originó a partir de un evento de *rifting* generalizado durante  
24 el Jurásico que afectó, en los sectores orientales de la misma, a un basamento ígneo-  
25 metamórfico de edad paleozoica, y a partir del cual se generaron depocentros en los que se  
26 acumularon sedimentos de naturaleza clástica, volcánica y mixta. Los depósitos volcánicos  
27 han sido agrupados en la Provincia Magmática Chon Aike, los que conforman una LIP (*Large*  
28 *Igneous Province*) ácida, reconocida a lo largo de la Patagonia. Interdigitados con estos

29 niveles, se han documentado otros de naturaleza clástica, asociados en muchos casos con  
30 ambientes lacustres. Si bien, trabajos previos han analizado la capacidad oleogénica  
31 puntual de algunas de estas rocas, no existen a la fecha trabajos que analicen estos depósitos  
32 desde un punto de vista integral a escala de cuenca. En esta contribución se presenta una  
33 caracterización litológica y geoquímica de *cutting* y testigos corona obtenidos de pozos  
34 exploratorios de hidrocarburos, material que correspondería a rocas que, de acuerdo con las  
35 descripciones originales presentes en los legajos de los pozos, tendrían un buen potencial  
36 oleogénico. Se integra, además, material inédito de otros pozos de la cuenca, tanto de su  
37 porción ubicada en Chile, como de sectores costa afuera del Mar Argentino. Finalmente, se  
38 reportan descripciones del material fosilífero presente en uno de los pozos estudiados, el cual  
39 representa el primer registro de este tipo para el subsuelo de la cuenca. Los estudios  
40 realizados muestran que las rocas analizadas poseen buenas propiedades oleogénicas, con  
41 una marcada impronta terrígena y participación de restos de plantas superiores, formadas en  
42 ambientes que varían desde pantanos a lacustres de agua dulce. En cuanto al material fósil,  
43 se reporta para el subsuelo por primera vez su hallazgo en la Serie Tobífera, y se compone  
44 principalmente de restos vegetales indeterminados y restos de invertebrados típicamente  
45 continentales (que coinciden plenamente con el origen terrestre de sistemas de pantanos-  
46 lacustres brindados por los análisis realizados) compuestos por crustáceos (Branchiopoda,  
47 Diplostraca), comúnmente conocidos como “estherias”, “conchostracos” o espinicaudados  
48 asignados preliminarmente a tres familias (Palaeolimnadiopseidae, Fushunograptidae y  
49 ?Eosestheriidae) vinculadas a otras unidades sudamericanas de superficie, e insectos  
50 (Coleoptera) representados por élitros de coleópteros asignados a dos familias: una  
51 (Cupedidae) con registro en unidades triásicas sudamericanas y la otra (Asiicoleidae) cuyo  
52 registro es el primero para el hemisferio sur.

53 **Palabras clave: Serie Tobífera, Chon Aike, Geoquímica Orgánica, Sistema Petrolero,**  
54 **Registro Fósil.**

55

56 **ABSTRACT**

57 ***The Jurassic lacustrine record of the Austral-Magellan Basin subsurface and its***  
58 ***potential as a source rock for hydrocarbons.***

59 *The Austral-Magellan Basin developed as the result of a widespread Jurassic rift event that*  
60 *affected, in its eastern sectors, an igneous-metamorphic basement of Paleozoic age. During*  
61 *this process, several depocenters were developed and filled with clastic, volcanic and mixed*  
62 *sediments. The volcanic deposits originated during this event were grouped by other authors*  
63 *in the Chon Aike Magmatic Province, which represents a large felsic LIP that can be*  
64 *recognized throughout Patagonia. Interdigitated within these volcanic rocks, some clastic*  
65 *continental deposits were documented, associated in many cases with swamps and/or*  
66 *lacustrine environments. These deposits have been poorly studied as possible source rocks*  
67 *for the hydrocarbons generated in the basin, so in this paper we present an integral study*  
68 *analyzing the oleogenetic potential of these rocks in a basin-wide context. This contribution*  
69 *presents a lithological and geochemical characterization of cutting and drill-cores obtained*  
70 *from exploratory hydrocarbon wells, material that was preliminarily assigned to a good*  
71 *oleogenetic potential in the original well description files. This study also includes new,*  
72 *previously unpublished, material from other wells across the basin, including wells located in*  
73 *Chile and offshore Argentina. Finally, descriptions of the fossil content found in one of the wells*  
74 *are provided, being the first record of this kind for the basin subsurface. Results show that the*  
75 *studied rocks have good oleogenetic properties, with a strong terrigenous imprint and*  
76 *presence of plants-derived material, denoting a lacustrine and/or swamp environment. The*  
77 *reported fossil material represents the first mention of this kind of remains for this unit. In*  
78 *agreement with the terrestrial origin of swamp-lacustrine systems suggested by the analysis*  
79 *carried out, fossil remains are mainly unknown plant debris accompanied by typically*  
80 *continental invertebrates, such as crustaceans (Branchiopoda, Diplostraca) and insect*  
81 *remains (Coleoptera). The identified crustaceans, commonly known as “estherias” or*  
82 *“conchostracans” were preliminarily assigned to three families (Palaeolimnadiopseidae,*  
83 *Fushunograptidae and ?Eosestheriidae) as in other South American findings. Finally, the*  
84 *insect remains (Coleoptera) are represented by two sets of elytra that can be assigned to two*

85 *families, one (Cupedidae) with a known record in some South American Triassic units and the*  
86 *other (Asiicoleidae) representing the first record of this family for the Southern Hemisphere.*

87 **Keyword: Serie Tobífera, Chon Aike, Organic Geochemistry, Petroleum System, Fossil**  
88 **Record.**

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

MANUSCRITO ACEPTADO

## 113 **INTRODUCCIÓN**

114 La Cuenca Austral-Magallanes se encuentra ubicada en el sector austral de la Argentina y  
115 Chile (Fig. 1). Esta región fue convirtiéndose, a lo largo de su historia, en una importante  
116 cuenca productora de petróleo y gas, que se inició en el sector chileno (zona de Manantiales  
117 en el año 1945, de acuerdo con Thomas 1949). Numerosos trabajos se han ocupado de  
118 caracterizar a la Fm. Springhill (Thomas 1949), principal reservorio de la Cuenca (depósitos  
119 cretácicos de naturaleza clástica) y a las rocas marinas cretácicas responsables de la  
120 generación de la mayoría de los hidrocarburos producidos hasta la fecha (Arbe 1986, 1987,  
121 1989; Arbe y Fernández Bell Fano 2002; Pittion y Goudain 1991; Pittion y Arbe 1999; Robbiano  
122 et al. 1996; Rodríguez et al. 2008; Schwarz et al. 2011) (Fig. 2).

123 En este trabajo se presentan los resultados de estudios geoquímicos realizados sobre rocas  
124 (*cutting* y coronas) recuperadas de niveles pertenecientes a la Serie Tobífera en los pozos  
125 A.xp-5 (Angostura), EM.x-2 (El Monte) y ESM.es-1 (Estancia San Martín), perforados en la  
126 provincia de Tierra del Fuego (Fig. 1), junto a resultados de otros pozos de la cuenca obtenidos  
127 previamente por diversas compañías que operan en la zona (inéditos). El objetivo principal  
128 del estudio es caracterizar la capacidad oleogénica y la madurez térmica de la materia  
129 orgánica presente en los intervalos lacustres del Jurásico del subsuelo de la Cuenca Austral,  
130 donde escasos informes han sido publicados al respecto. En este sentido, las contribuciones  
131 de Cagnolatti et al. (1996) y Bravo y Herrero (1997) han propuesto que la Serie Tobífera puede  
132 presentar buenas condiciones como roca madre, por lo que este trabajo busca realizar una  
133 caracterización detallada de estos depósitos.

134 Finalmente, y como parte de los estudios realizados sobre este material, se reportan los  
135 primeros hallazgos de restos fósiles de invertebrados para la Serie Tobífera en el ámbito de  
136 la provincia de Tierra del Fuego, hallazgos con una importante connotación paleoambiental y  
137 bioestratigráfica para los depósitos jurásicos de la Patagonia.

138

## 139 **MARCO GEOLÓGICO**

140 La Cuenca Austral-Magallanes, con una extensión de 230,000 km<sup>2</sup>, se desarrolla en la  
141 actualidad tanto dentro del continente como en sectores *offshore* en el sur de la Argentina y  
142 Chile. Limita al oeste y al sur por los Andes Patagónicos, y al este con el Alto de Río Chico  
143 (prolongación austral del Macizo del Deseado). Su historia evolutiva puede ser dividida en tres  
144 grandes etapas (Biddle et al. 1986; Robbiano et al. 1996), iniciando con una primera etapa de  
145 *rift*, relacionada a la ruptura de Gondwana durante el Jurásico, en la cual se generaron  
146 numerosos grábenes y hemigrábenes sobre un basamento ígneo-metamórfico paleozoico  
147 (Hervé et al. 2010). Estos depocentros fueron rellenos por depósitos epiclásticos, volcánicos  
148 y volcanoclásticos. A esta etapa de extensión tectónica le siguió una de subsidencia termal  
149 que se inició durante el Títoniano y continuó hasta el Barremiano, y que está representada por  
150 los depósitos transgresivos de la Fm. Springhill, que se depositaron durante una inundación  
151 generalizada de la cuenca. Por último, se ha identificado el desarrollo de varias fases de  
152 antepaís a partir del Cretácico (Rodríguez y Miller 2005, y referencias allí citadas) (Fig. 2).

153

#### 154 **Serie Tobífera**

155 En el subsuelo de la Cuenca Austral-Magallanes, las rocas volcánicas y volcanoclásticas  
156 pertenecientes a la Provincia Magmática Chon Aike (Kay et al. 1989) han recibido la  
157 denominación de Serie Tobífera (Thomas 1949). Estas rocas representan el relleno  
158 volcanoclástico de los grábenes y hemigrábenes desarrollados durante la etapa de *rift*, sobre  
159 el Complejo Ígneo y Metamórfico de Tierra del Fuego (Hervé et al. 2010), basamento  
160 económico de la cuenca (representado por rocas plutónicas de edad cámbrica y gneisses  
161 pérmicos).

162 Afloramientos de esta provincia se distribuyen hacia el norte en el macizo Norpatagónico (Fm.  
163 Marifil, Malvicini y Llambías 1974), la Cuenca de Cañadón Asfalto (Gr. Lonco Trapial) y el  
164 Macizo del Deseado (Fms. Bajo Pobre y Chon Aike), y hacia el oeste y sur, en la zona  
165 cordillerana (formaciones El Quemado e Ibáñez), sectores en donde existe abundante  
166 información geológica de superficie. Sin embargo, la información recogida en el subsuelo se  
167 limita por lo general a escasos registros obtenidos por pozos hidrocarburíferos que han

168 atravesado pocos metros dentro de esta unidad (ya que los mismos tenían como objetivo los  
169 depósitos cretácicos de la Fm. Springhill). Estas perforaciones han aportado información  
170 saltuaria sobre su arreglo de facies y ocasionalmente información geocronológica, como es el  
171 caso del depocentro Gaviota en el sector chileno de la cuenca, donde Pankurst et al. (2000)  
172 reportan una edad de 178 Ma (Jurásico Temprano, Toarciano). De acuerdo con estos autores  
173 se establece un diacronismo en el vulcanismo, caracterizado por el rejuvenecimiento hacia el  
174 oeste para las rocas que conforman estos depósitos (originalmente separado en 3 eventos  
175 magmáticos mayores, V1: 188-178 Ma, V2: 172-162 Ma y V3: 157-153 Ma), culminando con  
176 la apertura de la Cuenca de Rocas Verdes al suroeste de la Cuenca, cuyos afloramientos  
177 indican la generación de fondo oceánico.

178 Asociada a las rocas volcánicas de estas unidades, se ha documentado la presencia de rocas  
179 clásticas y volcanoclásticas retrabajadas, en algunos casos de origen lacustre. Este es el caso,  
180 por ejemplo, de la Fm. La Matilde (Stipanovic y Reig 1957; Lesta y Ferello 1972) en el Macizo  
181 del Deseado, la que forma parte del Grupo Bahía Laura (Lesta y Ferello 1972) junto a la Fm.  
182 Chon Aike (Stipanovic y Reig 1957) y la Fm. Cañadón Asfalto en la Cuenca homónima (Lesta  
183 y Ferello 1972; Lesta et al. 1980; Uliana et al. 2014).

184 Específicamente para la provincia de Tierra del Fuego (sector argentino de la cuenca), el  
185 registro sedimentario de los grábenes y hemigrábenes jurásicos ha sido documentado en su  
186 totalidad únicamente por unos pocos pozos. En este sentido, se han reconocido niveles  
187 portadores de materia orgánica (M.O.) con buena capacidad oleogénica hacia la base del  
188 relleno jurásico, en la denominada Secuencia S1 de Cagnollatti et al. (1996), en el pozo  
189 Angostura.xp-5 (empresa OEA, 1992). De acuerdo con estos autores, la presencia de polen  
190 de gimnospermas tales como *Microcachrydites antarticus* Cookson (Gimnospermae-  
191 Podocarpaceae) en la Secuencia S1, permitiría acotar la edad a un entorno no más antiguo  
192 que Jurásico Tardío (Barreda y Palamarczuk 1992).

193

194 **MATERIAL ANALIZADO**

195 Las muestras analizadas en este estudio corresponden a *cuttings* y coronas recuperadas en  
196 3 pozos exploratorios perforados en el ámbito de la provincia de Tierra del Fuego. Estos pozos  
197 han sido seleccionados luego de revisar todos los pozos que han sido perforados en las áreas  
198 hidrocarburíferas operadas por la empresa Roch S.A.

199

#### 200 **Pozo YPF.TF.EM.x-1, “El Monte” (EM.x-1), Tierra del Fuego, Argentina**

201 Perforado por la empresa YPF en el año 1973, al Sur de la Ciudad de Río Grande (Fig. 1),  
202 este pozo resultó descubridor de hidrocarburos de la Fm. Springhill, objetivo principal del  
203 mismo, interceptando además un poco más de 65 metros en la Serie Tobífera: en esta unidad  
204 se perforó una sección superior de unos 30 metros de rocas piroclásticas (“tobas blanquecinas  
205 y grises” en los informes originales), seguido de un intervalo de unos 30 metros de arcilitas  
206 carbonosas, para culminar la perforación en terrenos conformados nuevamente por tobas.  
207 Para este trabajo se analizó una corona recuperada a una profundidad de 2,390 metros (Fig.  
208 3), 50 metros por debajo del tope de la Serie Tobífera, la que está representada por pelitas  
209 gris-negruczas con presencia de abundante materia orgánica (M.O.). Es de destacar la  
210 presencia de restos fósiles en las coronas estudiadas, los que serán analizados en esta  
211 contribución. Los mencionados restos fósiles provienen exclusivamente del testigo corona de  
212 este pozo. Dichos materiales se encuentran provisionalmente depositados en las Colecciones  
213 Paleontológicas de la Universidad Nacional del Nordeste “Dr. Rafael Herbst” en el CECOAL-  
214 CONICET-UNNE, hasta tanto se realicen los trámites correspondientes para su depósito  
215 definitivo en las colecciones que correspondan.

216

#### 217 **Pozo YPF.TF.ESM.es-1, “Estancia San Martín” (ESM.es-1), Tierra del Fuego, Argentina**

218 En el año 1990, con el objetivo principal de investigar “los depósitos jurásicos y probar la  
219 existencia de roca madre y roca reservorio dentro de la Fm. Lemaire” (Fig. 1), y con el objetivo  
220 secundario de “investigar la Fm. Springhill” se realizó una perforación que se convirtió en el  
221 pozo que más metros perforó en estos depósitos en el *onshore* de Tierra del Fuego (1,000  
222 metros), alcanzando el basamento ígneo-metamórfico de la Cuenca (Fig. 4). De este pozo se



223 analizó el material correspondiente a unos 3 metros de la cuarta carrera recuperada de la  
224 corona (intercalados entre dos flujos piroclásticos), que conforman un nivel heterolítico de  
225 tufitas y pelitas carbonosas (LCV 2018). Todo el tramo presenta rasgos de deformación  
226 sinsedimentaria por compactación y se interpreta como depósitos generados en un  
227 paleoambiente de sedimentación subáqueo de baja energía (restringido) alternando con  
228 depósitos de flujos densos variablemente diluidos que alcanzan distalmente un cuerpo de  
229 aguas tranquilas restringido, donde dominarían los procesos de decantación ocasionalmente  
230 en condiciones anóxicas que permiten cierta conservación del material carbonoso en las  
231 pelitas de decantación. Este cuerpo de agua habría sido afectado por episodios volcánicos.

232

### 233 **Pozo OEA.TF.A.xp-5, “Angostura” (A.xp-5), Tierra del Fuego, Argentina**

234 Esta perforación fue realizada con el doble objetivo de investigar a la Fm. Springhill y a la “Fm.  
235 Lemaire”; fue perforado por la empresa OEA en el año 1992, al norte de la Ciudad de Río  
236 Grande, cercano al pozo ESM.es-1 (Fig. 1). Con una profundidad final de 2,782 metros,  
237 atravesó un poco más de 800 metros dentro de la Serie Tobífera hasta alcanzar el basamento  
238 de la Cuenca (Fig. 5). Durante su perforación se recuperaron testigos laterales que indican la  
239 presencia de un paquete volcanoclástico conformado por “tufopsamitas, vaques, tufopelitas y  
240 tobas intercaladas” en el tramo final de la Serie Tobífera (LCV 1992). Dado que no se ha  
241 podido acceder a los testigos laterales, se realizaron estudios geoquímicos sobre los  
242 *cuttings* preservados de los intervalos con presencia de materia orgánica.

243

## 244 **METODOLOGÍA**

245 Se realizaron los siguientes análisis sobre el material anteriormente descrito:

246

### 247 **Geoquímica de roca madre**

248 La preparación de las muestras de roca consistió en tres pasos: Limpieza manual con agua  
249 tibia y detergente hasta eliminar la mayor grasitud posible. Previo secado, eliminación  
250 exhaustiva de componentes orgánicos solubles mediante extracción soxhlet (20 horas) y

251 posterior secado. Molienda de roca limpia y tamizado a 50 *mesh*, previo a análisis de COT y  
252 pirólisis.

253

254 **Contenido de carbono orgánico total.** El carbono orgánico total se determinó por  
255 combustión directa. Aproximadamente 0.15 g de muestra se pesaron cuidadosamente, se  
256 trataron con HCl concentrado para remover carbonatos, y se filtraron mediante vacío sobre  
257 papel de fibra de vidrio. El residuo y papel se colocaron en un crisol de cerámica, se secaron  
258 y se combustionaron con oxígeno puro en un equipo analizador de carbono LECO C744-MHC  
259 a alrededor de 1,000°C. Un estándar fue analizado cada cinco muestras. El carbono total  
260 puede determinarse a partir de diferencias de peso de la muestra y el residuo ácido o por  
261 diferencias de contenido en carbono antes y después de la digestión ácida.

262

263 **Pirólisis programada.** La pirólisis SRA (Source Rock Analyzer) se usa para determinar el  
264 tipo y la madurez del querógeno, así como también la cantidad de hidrocarburos libres.  
265 Alrededor de 0.1 g de la misma muestra utilizada para el análisis LECO se pesó en un crisol  
266 de pirólisis y luego fue calentado a 300°C para determinar la cantidad de hidrocarburos libres  
267 (S1) que se destila térmicamente. Luego, la cantidad de hidrocarburos pirolizables (S2) se  
268 mide cuando la muestra se calienta en atmósfera inerte con una temperatura que aumenta  
269 desde 300°C a 550°C a una velocidad de calentamiento de 25°C/ minuto. Los valores de S1  
270 y S2 se reportan en mg HC/g roca. Tmax, un indicador de madurez, es la temperatura de  
271 generación máxima de S2.

272 El dióxido de carbono generado durante la pirólisis, que funciona como un indicador del grado  
273 de compuestos ricos en oxígeno del querógeno, se reporta como S3 en unidades de mg CO<sub>2</sub>/g  
274 roca. Un estándar de laboratorio se analizó cada 10 muestras. El Índice de Hidrógeno (IH =  
275  $S2 * 100 / COT$ ) e Índice de Oxígeno (IO =  $S3 * 100 / COT$ ) se usan como indicadores de tipo de  
276 querógeno cuando se grafican en diagramas de tipo van Krevelen.

277

278 **Microscopía del querógeno.** Para el análisis visual del querógeno se empleó un microscopio  
279 Carl Zeiss Axiolmager A2m equipado con fuentes de halógeno y mercurio. La reflectancia de  
280 la vitrinita (Ro %) y determinación del tipo de querógeno se realizó sobre probetas epoxi de  
281 concentrado de querógeno (HCl/HF para disgregar la roca), y se complementó con el uso de  
282 microscopía de luz transmitida sobre *slides* de tipo palinológico.

283 La reflectancia de la vitrinita se determinó después de calibrar el microfotómetro TIDAS S-  
284 SMP con un patrón de zafiro sintético de reflectancia 1.65 %. Luego de identificar la vitrinita  
285 “correcta” (indicadora de madurez) se realizaron mediciones (idealmente 50) sobre diferentes  
286 partículas para establecer el valor de reflectancia promedio (Ro %) y su desviación estándar.  
287 La composición del querógeno se informó computando los componentes identificables tanto  
288 en luz incidente como en luz transmitida, bajo luz blanca y luz UV (modo fluorescente), y se  
289 expresa como porcentaje aproximado en volumen.

290

#### 291 **Fósiles bajo lupa binocular**

292 Los invertebrados fósiles se trataron con las técnicas estándar para este tipo de restos fósiles,  
293 que implican sólo un tratamiento mecánico para su limpieza y retiro de residuos de sedimentos  
294 sobre las impresiones o compresiones de los mismos. En algunos casos el testigo fue  
295 fragmentado utilizando martillos y cinceles de diferentes dimensiones para abrir láminas de  
296 menor espesor y así descubrir nuevos niveles portadores de restos fósiles. En esta tarea de  
297 limpieza se emplean, además, pinceles de cerda, pera de aire comprimido, agujas y estiletes.  
298 Se emplearon para la observación y fotografiado un microscopio estereoscópico Leica S8APO  
299 con cámara incorporada (CECOAL-CONICET-UNNE) y una lupa binocular marca Olympus  
300 modelo SZH10 con una cámara Olympus de alta resolución acoplada (INREMI-FCNyM-  
301 UNLP).

302 La metodología de estudio de los crustáceos branquiópodos (“conchostracos”  
303 espinicaudados) sigue las propuestas de Chen y Shen (1985), Tasch (1969, 1987), Shen  
304 (1994), Martin y Davis (2001), Li y Batten (2004), Monferran et al. (2013a) y Scholze y

305 Schneider (2015). En cuanto a los restos de insectos (coleópteros) se sigue las propuestas  
306 de Ponomarenko et al. (2014, 2020).

307

## 308 **ANTECEDENTES Y ESTUDIOS INÉDITOS**

309 A continuación, se presenta una breve descripción de otros pozos de la cuenca a los que se  
310 ha podido acceder mediante convenios de acceso a la información (dado que no es  
311 información pública, de libre consulta) donde también se ha documentado la presencia de  
312 depósitos lacustres, concretamente pelitas negras, en el ámbito de la Serie Tobífera. Aunque  
313 la revisión de sondeos no es completa, a nivel de Cuenca, la identificación de los mismos se  
314 ha realizado a partir del análisis de numerosos legajos de pozos e informes internos, todos  
315 ellos inéditos, y que en su mayoría fueron provistos por la empresa ENAP-SIPETROL.

316

### 317 **Pozo SJ.SCA.ELAn.x-1, “Estancia La Angelina” (ELAn.x-1), Santa Cruz, Argentina**

318 Perforado por la empresa San Jorge en la provincia de Santa Cruz, al norte de la Ciudad de  
319 Río Gallegos (Fig. 1) en el año 1999. Alcanzó una profundidad final de 1,692 m perforando el  
320 tope de la Serie Tobífera en 1,452 m. Uno de sus objetivos era encontrar secciones volcánicas  
321 alteradas y/o fracturadas, y también identificar secuencias sedimentarias dentro de la misma  
322 Serie Tobífera. De acuerdo al control geológico, el intervalo atravesado se compone de “tobas  
323 arenosas intercaladas con tobas, niveles carbonosos y arcilitas carbonosas”.

324

### 325 **Pozo Calafate-87 o “Calafate PK-1, ex PK-A” (PK-1) (Chile)**

326 Entre los años 1988 y 1989, y con una profundidad total (TD) de 4,375 m se perforaron ~2,070  
327 m del intervalo jurásico a los fines de reconocer el relleno pre-cretácico en la cuenca, en una  
328 posición cercana al depocentro de ésta (Fig. 1). Este relleno se ha separado en cuatro  
329 Megasecuencias denominadas, de base a techo, desde C1 a C4.

330 La secuencia C1 apoyaría sobre el basamento ígneo-metamórfico, encontrándose en este  
331 caso un total de 628 m de lavas y piroclastitas de composición riolíticas. Las otras tres

332 Megasecuencias (totalizan ~1,440 m) son de naturaleza principalmente sedimentaria,  
333 encontrándose de forma subordinada la participación de material volcánico primario.

334 El relleno sedimentario que conforma las Megasecuencias estaría representando un ambiente  
335 lacustre hacia el que concurrirían abanicos deltaicos desde los márgenes.

336 De acuerdo con Moraga Benavides (1996), el relleno de esta cuenca, también denominada  
337 Oriental, tendría ~4,000 m de espesor, donde se distinguirían tres estadios evolutivos: uno  
338 inicial caracterizado por sedimentación continental-aluvial (no perforado por el pozo PK-1); el  
339 segundo, caracterizado por depósitos volcánicos, y un tercer estadio caracterizado por  
340 sedimentación lacustre.

341

#### 342 **Pozo “Las Violetas PK-1, ex PK-A” (LV-1) (Chile)**

343 Enmarcado en el “Proyecto Exploración de Cuencas pre-Cretácicas”, fue perforado en el año  
344 1993 con el objetivo de investigar el entrapamiento de hidrocarburos en reservorios  
345 fracturados desarrollados en depósitos volcanogénicos de las secuencias superiores de la  
346 sección pre-cretácica (Fig. 1). Con una TD de 2,961 m, investigó 630 m de la Serie Tobífera.  
347 Esta se compone por una secuencia de tobas con cristales y “fiammes”, con distintos grados  
348 de soldamiento, en la que se preservó, en su porción central, el registro de un episodio  
349 sedimentario de unos 50-60 m de potencia, constituido por lutitas de color gris medio y lutitas  
350 carbonosas de color gris oscuro con intercalaciones de areniscas tobáceas.

351

#### 352 **Pozo Calafate-88 o “Calafate PK-2, ex PK-B” (PK-2) (Chile)**

353 Perforado entre 1990-1991, con una TD de 2,890 m, fue realizado a los fines de probar la  
354 existencia de roca reservorio clástica en el margen oriental de la cuenca, para la cual se  
355 interpretó un relleno controlado por el desarrollo de abanicos deltaicos con proveniencia del  
356 este (Fig. 1). Penetró unos 960 m dentro de la Serie Tobífera, la cual fue separada en 3  
357 unidades. Una superior, o Sección Sedimentaria (~260 m), caracterizada por una sucesión de  
358 depósitos volcanoclásticos, epivolcánicos y sedimentarios entre los que se reconocen niveles  
359 de lutitas pardo oscuro carbonosa, mantos de carbón, tobas cineríticas y areniscas tobáceas,

360 alternadas irregularmente. La sección intermedia corresponde a unidades de flujo de  
361 ignimbritas con ocasionales coladas de riolita y de dacita (Sección Volcánica) y la inferior a un  
362 intrusivo dacítico. No se cuenta con información geoquímica de los niveles con M.O. para este  
363 pozo.

364

#### 365 **Pozo Gaviota Norte-6 o “Gaviota PK-1” (GN-6) (Chile)**

366 Tercer pozo realizado en el marco de un “Proyecto de Exploración de Cuencas pre-  
367 Cretácicas” (junto con los pozos Calafate PK-1 y PK-2), tendiente a evaluar el relleno clástico  
368 de estas Cuencas con el fin de probar la existencia de roca madre y roca reservorio  
369 intergranular (en este caso, en una posición intermedia entre el depocentro y el margen  
370 meridional de la cuenca). Fue perforado entre 1989 y 1990 (Fig. 1), alcanzó una profundidad  
371 total de 4,074 m, finalizando en el basamento de la Cuenca (en el que ingresó ~30 m).  
372 Documentó ~1,925 m de la Serie Tobífera. Hacia la base de la secuencia jurásica se  
373 observaron ~90 m de limolitas y arcillolitas gris oscuras a negras con delgados niveles de  
374 arenisca arcillosa por encima de un nivel de basalto afanítico (86 m).

375

#### 376 **Pozo Nevenka-1 (N-1) (Chile)**

377 También realizado como parte del “Proyecto Exploración de Cuencas pre-Cretácicas”,  
378 pretendía investigar un “horst” con objetivo principal para la Fm. Springhill, y de manera  
379 secundaria, los depósitos dentro de la Serie Tobífera (Fig. 1). Fue perforado en el año 1988,  
380 y con una TD de 3,000 m, investigó 650 m de la Serie Tobífera. Se reconocieron dos  
381 secuencias, una superior conformada por clásticos epivolcánicos (~230 m) y tobas (~130 m),  
382 y una inferior (287 m) constituida principalmente por ignimbritas con intercalaciones muy  
383 subordinadas de clásticos gruesos y finos (16 m). Entre los clásticos se reconocieron bancos  
384 de areniscas y conglomerados de espesores reducidos (0.2-0.5 m) de composición  
385 marcadamente volcánica, y niveles de lutitas gris oscuras de hasta 30 metros de espesor y  
386 bancos de carbón intercalados, los que permitieron interpretar la existencia de un cuerpo de  
387 agua lacustre, al que ingresan sedimentos más gruesos en forma de avalancha.

388

### 389 **Pozo Chañarcillo-35 (Cha-35) (Chile)**

390 Realizado durante el año 1975, este pozo perforó ~1,390 m en el Jurásico, con fondo en 3,717  
391 m (Fig. 1). Los legajos de pozo indican que se atravesaron “tobas cineríticas, tobas brechosas  
392 y en menor proporción tobas arenosas”. En los primeros 231 m se identificaron sedimentitas  
393 lacustres (lutitas gris oscuras y pardas) intercaladas entre estas tobas, y a continuación, por  
394 debajo de un potente espesor de ignimbritas (250 m), se documentó otro intervalo de  
395 sedimentitas lacustres (>150 m de lutitas gris oscuras intercaladas con bancos de areniscas  
396 tobáceas y conglomerados) con restos vegetales. Finalmente, y por debajo de este nivel  
397 volcanoclástico, se perforaron unos 700 m de rocas volcánicas y piroclásticas (Ignimbritas,  
398 lavas andesíticas y riolíticas).

399 El pozo tuvo por objetivo, además de evaluar las posibilidades de producción de la Fm.  
400 Springhill, reconocer la sección sedimentario-volcánica que conforma la Serie Tobífera con el  
401 fin de probar los posibles cuerpos de areniscas intercalados. No se cuenta con información  
402 geoquímica de los niveles con M.O.

403

### 404 **Pozo Tandy-8 (T-8) (Chile, Bloque Fell)**

405 El pozo tiene origen en un proyecto de exploración de los recursos de hidrocarburos en la  
406 “Serie Tobífera”, de acuerdo con Moraga Benavides (1992), encontrándose a la fecha, la Fm.  
407 Springhill (horizonte productor tradicional de la Cuenca) en una etapa madura de explotación  
408 (Fig. 1). El mismo documentó, durante su perforación en el año 1992, una secuencia de  
409 turbiditas lacustres compuesta de “arcillolitas negras y pardo oscuro y areniscas de baja  
410 permeabilidad, que se intercalan entre depósitos “epivolcánicos” de la Serie Tobífera. Perforó  
411 784 m en el Jurásico, pudiendo separarse una unidad inferior compuesta por flujos  
412 ignimbríticos amalgamados (442 m), y una unidad superior (342 m) en la que se reconocen  
413 secuencias “epivolcánicas” y volcanoclásticas alternadas irregularmente. Hacia la base se  
414 intercala una secuencia de turbiditas lacustres (23.5 m). De acuerdo al desarrollo vertical de  
415 facies, se las interpreta como un abanico turbidítico (Moraga Benavides 1992).

416 **Pozo GIA5.x-1 (Nerita.x-1) (Costa afuera, Área Octans-Pegaso)**

417 Perforado por la empresa Shell Hydrocarbons B.V. en el sector de *offshore* en el año 1981  
418 (Fig. 1). Penetró la Serie Tobífera desde los 1,160 m bajo boca de pozo, hasta alcanzar los  
419 1,220 m. De acuerdo con el control geológico de la época, se atravesó por coronas un paquete  
420 volcániclastico con láminas carbonosas, por debajo del cual se identificaron en *cutting* tobas  
421 hasta el fin del pozo.

422

423 **Pozo MFH9.x-1B Conus (Conus.x-1) (Costa afuera, Área Magallanes)**

424 Fue el sexto pozo de nueve pozos perforado por la empresa Shell Hydrocarbons B.V. en el  
425 área Magallanes (*offshore*) en el año 1981 (Fig. 1). Penetró la Serie Tobífera desde los 1,635  
426 m bajo boca de pozo, hasta alcanzar los 2,096 m. De acuerdo con el control geológico de la  
427 época, se atravesó por corona el tope de la Serie Tobífera, caracterizado por areniscas  
428 volcániclasticas con restos vegetales y fragmentos de conchillas probablemente de  
429 gasterópodos de agua dulce, por debajo del cual se identificaron en *cutting* tobas hasta el fin  
430 del pozo.

431

432 **Pozo MGI3.x-1 Murex (Murex.x-1) (Costa afuera)**

433 Séptimo pozo de los nueve perforados por la empresa Shell Hydrocarbons B.V. en el *offshore*,  
434 en el año 1981 (Fig. 1). Alcanzó una profundidad final de 1,624 m, reconociendo 232 m de  
435 tobas, con niveles carbonosos intercalados con restos vegetales cerca del tope de la unidad.

436

437 **Pozos Dungeness XE22 y XE24 (Costa afuera)**

438 Pozos estratigráficos perforados entre los años 1986 y 1987 (Fig. 1). Cerca de los 1,600 m de  
439 profundidad, atravesaron entre 100 y 200 metros de la Serie Tobífera por sobre el basamento  
440 de la Cuenca (gneisses). Dentro del Intervalo Jurásico, se reconoció la presencia de niveles  
441 clásticos conformados por areniscas, conglomerados, limolitas y lutitas gris oscuro con restos  
442 carbonosos. No se cuenta con información geoquímica de los niveles con M.O.

443



444 **RESULTADOS**

445

446 **Geoquímica de roca madre: Contenido orgánico, pirólisis programada, microscopía del**  
447 **querógeno y madurez térmica.**

448

449 **Pozos EM.x-1, ESM.es-1 y A.xp-5.** En la tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para  
450 las muestras estudiadas de los tres pozos de Tierra del Fuego. Los gráficos de las figuras 6 y  
451 7 sintetizan los parámetros básicos de contenido orgánico y pirólisis programada reunidos en  
452 la tabla.

453 El estudio geoquímico para las muestras de corona (0.4 m) del pozo EM.x-1 muestra valores  
454 de carbono orgánico total (COT) superiores a 4 % asociados a índices de hidrógeno (IH) en  
455 el rango de 183-243 mg HC/g COT e índices de oxígeno (IO) inferiores a 10 mg CO<sub>2</sub>/g COT,  
456 indicando buenas características como roca madre de hidrocarburos con capacidad de  
457 generación mixta (gas y petróleo), típico de un querógeno de tipo II/III.

458 En el caso del pozo ESM.es-1 (3 m de testigo corona) se observan valores de TOC entre 0.27-  
459 2.68, con IH entre 50 y 110 mg HC/g COT e IO en el rango de 8-100 mg CO<sub>2</sub>/g COT, excepto  
460 una muestra que arrojó un elevado valor de COT (25.55 %) y que se caracteriza como una  
461 lutita carbonosa. En este sentido, las rocas poseerían pobres a regulares características como  
462 roca madre de hidrocarburos.

463 Finalmente, en el caso del pozo A.xp-5, las muestras analizadas (*cuttings* del tramo 2,535-  
464 2,721 m) muestran dos intervalos con buenos valores de COT, uno superior con valores entre  
465 1.63 % y 6.2 %, IH superior a 90 mg HC/g COT e índices de oxígeno (IO) inferiores a 13 mg  
466 CO<sub>2</sub>/g COT, indicando buenas características como roca madre de hidrocarburos con  
467 capacidad de generación mixta (petróleo/gas) a generación de hidrocarburos gaseosos  
468 (querógeno de tipo II-III a III). El intervalo inferior se caracteriza por valores de COT entre 1.17  
469 % y 1.96 %, IH superior a 261 mg HC/g COT (hasta 413 mg HC/g COT) e índices de oxígeno  
470 (IO) inferiores a 16 mg CO<sub>2</sub>/g COT, indicando moderadas a buenas características como roca

471 madre de hidrocarburos (petróleo), a partir de querógeno interpretado como mezcla de  
472 querógeno de tipo I y III (propenso a generar petróleo y gas).

473 Para los tres pozos, hay que tener en cuenta que los valores originales, post deposición,  
474 deben haber sido mayores, y que, debido a la madurez alcanzada, se encuentran deprimidos,  
475 por lo que la valoración del tipo de querógeno y calidad de generación presenta un sesgo.  
476 Además, los valores actuales poseen cierto grado de depresión debido a que las muestras  
477 utilizadas no fueron preservadas, situación demostrada por Jarvie et al. (2012), donde se  
478 observa que los valores obtenidos por pirólisis podrían haber sido hasta cientos de veces  
479 porcentuales mayores de haber utilizado muestras preservadas.

480 El análisis microscópico del querógeno indica, para todos los pozos, una composición mixta  
481 de materia orgánica terrestre derivada de plantas superiores y materia orgánica amorfa  
482 posiblemente de origen acuático (Fig. 8).

483 La asignación de madurez térmica apunta a etapas tempranas a medias de la ventana de  
484 generación de petróleo, con valores de Ro % entre 0.85-0.89 % para EM.x-1, 0.66-0.76 % en  
485 ESM.es-1 y 0.69-0.79 % en el pozo A.xp-5 (Fig. 9).

486

487 **Pozos con estudios inéditos.** Para el pozo ELAN.x-1 (provincia de Santa Cruz, Argentina),  
488 Villar (2000) sobre el análisis de *cutting* y testigos laterales, observa que el intervalo analizado  
489 (>150m) posee un amplio espectro de valores de TOC (0.03-28.36 %) y muy variable potencial  
490 generador. Las muestras plotean en querógeno de tipo II a II/III (Fig. 6b), implicando capacidad  
491 de generación mixta (petróleo/gas). Los datos de pirólisis de las muestras más ricas indican  
492 interesante calidad como roca madre, con picos de S<sub>2</sub> de hasta 87.06 mg/g. Por microscopía  
493 también se observan significativas variaciones: las composiciones varían de asociaciones con  
494 predominio de materia orgánica terrestre (plantas superiores) asociada a facies carbonosas a  
495 otras con buena calidad, fluorescentes, con predominio de materia orgánica de tipo amorfo  
496 (sapropélica). La presencia de muy abundantes palinomorfos terrestres y cutículas de plantas  
497 terrestres, la ausencia de plancton marino, ocasional presencia del alga *Botryococcus* y la  
498 general abundancia de vitrinita masiva bien preservada, sugieren la deposición en

499 condiciones variables entre pantanos y lagos de agua dulce. A partir de estos tipos de materia  
500 orgánica identificados, es de esperarse una capacidad de generación mixta para petróleo y  
501 gas. En cuanto a la madurez térmica, las muestras se encuentran en etapas tempranas de  
502 generación (Ro 0.59-0.69 %). Se puede establecer que capas análogas a éstas podrían  
503 generar petróleos con patrones definitivamente terrestres en su composición general y  
504 molecular, y posiblemente con un significativo componente ceroso.

505 En cuanto a los pozos del sector chileno de la Cuenca, en los informes de The Robertson  
506 Group (1989, 1990, 1991), Simon Petroleum Technology (1994), Urien, Hogg & Asociados &  
507 Geochemical Solutions International (2003) y Villar (2019) se indica que:

508 -El pozo Calafate PK-1 fue analizado a partir de *cuttings* y coronas, registrándose valores de  
509 COT entre 0.36 y 4.14 %. El potencial como roca madre es pobre a regular, como se refleja  
510 de los valores de S<sub>2</sub>, con valores máximos de 6.96 mg/g, pero dado el nivel de madurez (Ro  
511 hasta 1.17 %) mucho del potencial puede haber sido liberado en la actualidad, y la calidad  
512 original podría haber sido buena. A partir del examen visual del querógeno bajo microscopio,  
513 se determina que el mismo es de tipo terrestre, rico en esporas. El potencial debe haber sido  
514 mayormente hacia la generación de gas, a partir de un querógeno húmico, aunque pequeñas  
515 cantidades de petróleo ceroso se pueden haber generado.

516 -En el caso del pozo Calafate PK-2, se reporta que tres muestras poseen valores de COT en  
517 el rango 4.24-11.64 % (entre 2,120-2,270 m).

518 -Para el pozo Nevenka.x-1, una de las tres muestras analizadas (corona), referida como un  
519 carbón, presenta valores de COT de 20.9 %, y buen potencial generador con valores de S<sub>2</sub>  
520 de 35.35 mg/g e IH de 169, seguramente con potencial generador original de petróleo,  
521 encontrándose actualmente en ventana tardía de madurez (Ro de 1,04 %). Las restantes  
522 muestras poseen bajos valores de COT, entre 0.19 y 0.87 %. El examen visual de la muestra  
523 de carbón permite identificar que el 25 % consiste en liptinita, la que contribuye al elevado  
524 valor de IH, y además se observa que los poros están rellenos con material bituminoso  
525 fuertemente fluorescente. En el caso de las otras muestras, se ha identificado que los

526 constituyentes corresponden a 50 % de material amorfo (sapropélico) y un 50 % de vitrinita  
527 (+/-Inertinita).

528 -En el caso del pozo GN-6, las tres muestras analizadas a partir de testigo corona, se  
529 encuentran con elevada madurez térmica (Ro entre 1.4 y 1.49 %), y aunque poseen buen  
530 contenido orgánico (COT entre 2.15 y 4.8 %), poseen bajo potencial generador. De cualquier  
531 forma, se cree que el potencial generador debe haber sido mucho mayor que el actual (S2  
532 entre 1.57 y 2.59 mg/g, e IH entre 54 y 73 mg/g). La naturaleza terrestre del querógeno  
533 (predominio de vitrinita, entre 90 y 100 %, acompañado de inertinita) sugiere que las muestras  
534 deben haber sido propensas a generar gas tras su depositación, o en el mejor de los casos,  
535 de probable contribución mixta de petróleo y gas.

536 -Las muestras analizadas del pozo Las Violetas PK-1 corresponden a arcilitas gris negruzcas  
537 con alto a muy alto contenido de materia orgánica (TOC entre 2.96 y 45.7 %). Estas muestras  
538 tienen buen potencial generador y cuando se asocian a carbones, poseen excelente potencial  
539 como roca madre (S2 cercano a 94 mg/g). A pesar del carácter vitrinítico del querógeno (entre  
540 80 y 85 %) revelado por el análisis microscópico, los datos de pirólisis indican que poseen  
541 cierto grado de capacidad de generación de petróleo (IH entre 192 y 296 mg/g). En cuanto a  
542 su madurez, las muestras se encuentran cerca de la ventana media con valores de  
543 reflectancia de vitrinita entre 0.72 y 0.8 %.

544 -Respecto del pozo Tandy-8, solo se ha podido recabar información sobre COT y pirólisis, no  
545 contándose con datos de microscopía. La muestra de corona analizada presenta valores de  
546 COT de 8.15 %, y valores de S2 de 52.3 mg/g y elevado IH (642 mg/g).

547 -De los pozos ubicados en el *offshore* del Estrecho de Magallanes (Chile) se registran: 16  
548 muestras del pozo Neptuno XE-1, con valores de COT en el rango 0.45-15.20 % (2,130-2,436  
549 m), 1 muestra del pozo Ostión XE-1 con un valor de COT de 2.52 % (2,175 m) y 8 muestras  
550 del pozo Skua SK-1011, con valores de COT en el rango 0.82-1.50 % (1,874-1,944 m), datos  
551 que soportan la riqueza orgánica de la Serie Tobífera en este sector de la Cuenca.

552 Por último, y de acuerdo con Villar (2004), las muestras pertenecientes al *offshore* argentino  
553 se caracterizan de la siguiente manera:

554 El único nivel analizado en el pozo Conus es particularmente pobre (0.13 % COT).

555 En el caso de los pozos Murex y Nerita, se han analizado dos niveles en cada uno,  
556 obteniéndose en ambos gran variabilidad: en el primero de ellos, se han determinado  
557 contenidos de carbón orgánico entre 0.38 % y 13.33 % COT, siendo la primera una muestra  
558 que carece prácticamente de interés como hipotético nivel generador. El otro nivel analizado  
559 posee un registro de COT particularmente elevado, representando esta muestra un nivel con  
560 características generadoras apenas moderadas (Fig. 6a) y querógeno tipo (III)/IV  
561 marginalmente gasífero (Fig. 6b), según sus limitados valores de S2 (4.03 mg/g) e IH (30  
562 mg/g). Finalmente, para el pozo Nerita, los niveles poseen entre 0.54 % y 9.17 % COT; los  
563 rendimientos de pirólisis de las muestras varían en rangos de S2 desde 0.4 mg/g a 21.21  
564 mg/g, estando asociada la muestra con mayor valor de S2 a potencial generador alto (Fig. 6a)  
565 y tipo de querógeno III (Fig. 6b), con capacidad mixta para generación de petróleo / gas.

566 La madurez térmica sugerida por Tmax, con registros no superiores a 430°C, es baja para el  
567 conjunto de las muestras y vinculadas a fases pre-generación de petróleo.

568 En cuanto a la microscopía del querógeno, de manera general, las muestras denotan  
569 asociaciones orgánicas mayormente dominadas por relictos identificables provenientes de  
570 plantas superiores. Este dominio está fuertemente controlado por participación de restos  
571 estructurados leñoso-carbonosos imponiendo un carácter especialmente gasífero al  
572 querógeno a la muestra de Murex, en aceptable concordancia con los datos de pirólisis Rock-  
573 Eval. Para el caso de Nerita, abundan restos liptiníticos diversos de origen terrestre asociados  
574 a proporciones variables y altas de querógeno amorfo lipídico fluorescente y restos  
575 estructurados leñoso-carbonosos minoritarios: esta muestra tiende a cierta componente  
576 sesgada hacia la generación de petróleo, definiendo un carácter mixto (petróleo /gas) en  
577 aceptable acuerdo con los datos Rock-Eval. De manera generalizada, se identifican dos tipos  
578 de asociaciones orgánicas que esquemáticamente remiten a: depositación de carbones  
579 húmicos en ambientes tipo pantano (Murex); depositación de carbones con componente  
580 sapropélico (enriquecidos en lípidos) en condiciones subacuáticas (Nerita).

581 La madurez térmica registrada para el total de las muestras es de fase inmadura para la  
582 generación de todo tipo de hidrocarburos, con valores de  $R_o$  de 0.44 % en el pozo Murex y  
583 0.33 % en el pozo Nerita. El conjunto de los datos ópticos y de pirólisis Rock-Eval (Fig. 6 y 7)  
584 son consistentes con una muy limitada transformación del querógeno.

585 A partir de la integración de los datos de  $R_o$  % (Fig. 9) es posible graficar y establecer un  
586 gradiente de madurez térmica en función de la profundidad. En el mismo se observa que las  
587 muestras ingresan a la ventana de petróleo (0.6 %  $R_o$ ) a una profundidad de ~2,120 m y salen  
588 de la misma (1.3 %  $R_o$ ) a partir de los ~3,485 m. Estos datos son consistentes con aquellos  
589 de  $R_o$  de la Fm. Springhill publicados por Laffitte et al. (1986).

590

### 591 **Registro fósil de la Serie Tobífera**

592 Las unidades jurásicas de la Patagonia Argentina que presentan registro fósil tradicionalmente  
593 se incluían en las unidades que afloran superficialmente en el Chubut Extraandino y en el  
594 Macizo del Deseado (Gallego et al. 2021). Allí las unidades geológicas portadoras son  
595 respectivamente las formaciones Cañadón Asfalto (Jurásico Medio a Superior, Cuenca de  
596 Cañadón Asfalto) y La Matilde (Jurásico Medio). Estas unidades se caracterizan por la  
597 presencia de una variada biota de vertebrados, invertebrados y plantas de los más variados  
598 grupos taxonómicos (Escapa et al. 2021; Gallego et al. 2021; Pol et al. 2021). En este trabajo,  
599 como ya se mencionó anteriormente, se presentan los primeros registros fósiles para la Serie  
600 Tobífera (Cuenca Austral-Magallanes) para la provincia de Tierra del Fuego, los que fueron  
601 parcialmente reportados (y de manera inédita) previamente por Viviers (1973) en el pozo  
602 EM.x-1. De la Cal et al. (2023) reportaron los primeros hallazgos de fósiles reconociendo la  
603 abundante presencia de restos vegetales en general indeterminados (Fig. 10) y restos de  
604 invertebrados compuestos por insectos y “conchostracos”. Respecto a los insectos, se  
605 reconocen al menos dos grupos taxonómicos diferentes del Orden Coleoptera (Suborden  
606 Archostemata, Fig. 11). Un élitro de coleóptero asignado a la Familia Asiocoleidae, una familia  
607 extinta de pequeños escarabajos típicos del Pérmico medio-tardío que sobrevivieron hasta el  
608 Jurásico Tardío en localidades de Australia, China y Mongolia (Tan y Ren 2009; Ponomarenko

609 et al. 2014, 2020). Su registro en la Serie Tobífera es particular porque es una familia  
610 característica de las asociaciones de coleópteros de tipo paleozoico y sus restos en depósitos  
611 más jóvenes son hallazgos únicos y raros, que podrían indicar algunos ambientes de refugio,  
612 donde persistirían elementos de biotas “más antiguas”. Sin dudas que este tipo de evidencias  
613 biológico-evolutivas escapan al objetivo de este trabajo y deberán ser analizadas  
614 detalladamente de manera comparativa en un futuro, demostrando así la importancia de estos  
615 primeros registros fósiles para la unidad. Un segundo espécimen que se asemeja a la Familia  
616 Cupedidae previamente registrada para el Triásico Superior de la Argentina (Martins-Neto et  
617 al. 2006; Martins-Neto y Gallego 2009). Mancuso et al. (2007) mencionan para la biota de  
618 coleópteros triásicos de la Fm. Los Rastros (Triásico Medio) que está compuesta  
619 principalmente por miembros del suborden Archostemata y que este primitivo grupo (cuyos  
620 élitros presentan ornamentación tipo “crossveins”) incluye las Familias Permosynidae (extinta  
621 en el Jurásico), Asiocoleidae y Cupedidae, que están estrechamente relacionadas  
622 filogenéticamente, y con registro conocido desde el Pérmico Inferior.

623 Además de los insectos, se identificaron tres taxones de “conchostracos” espinicaudados  
624 (familias Paleolimnadiopseidae, Fushunograptidae y ?Eosestheriidae) (Fig.12). Entre estos,  
625 el Palaeolimnadiopseidae, *Eosolimnadiopsis santacruzensis* (Gallego 1994) fue registrado en  
626 numerosas localidades de la Formación La Matilde (Gallego 1994). En segundo término, se  
627 reconocieron especímenes posiblemente del género *Orthestheria* (Fushunograptidae) por la  
628 presencia de una ornamentación de estrías radiales en las bandas de crecimiento y contorno  
629 ovoide-subcircular del caparazón (Fig. 12). La especie de “conchostracos” *Eosolimnadiopsis*  
630 *santacruzensis* está restringida al sur de la Patagonia y presenta similitudes con especies del  
631 Jurásico Inferior a Medio de China (Wang y Liu 1980; Liu 1982; Shen 1985). Con respecto al  
632 género *Orthestheria*, este posee una amplia distribución a nivel mundial desde el Jurásico  
633 Superior hasta el Cretácico Inferior (Shen et al. 2004). Los especímenes reconocidos en la  
634 Serie Tobífera podrían estar estrechamente relacionados a la especie *Cyzicus (Lioestheria)*  
635 *malacaraensis* Tasch, 1987 registrada en la Formación La Matilde (Tasch 1987), y a otra  
636 especie *Orthestheria (Migransia) ferrandoi* (Herbst) Shen et al. 2004 reportada para la

637 Formación Tacuarembó (Jurásico Superior–Cretácico Inferior) de Uruguay (Herbst y Ferrando  
638 1985). Desde el punto de vista cronoestratigráfico, por el momento la asociación registrada  
639 (Palaeolimnadiopseidae - *Eosolimnadiopsis*, Fushunograptidae - *Orthestheria* y  
640 ?*Eosestheriidae*) en la Serie Tobífera sugiere un rango temporal que abarca desde finales del  
641 Jurásico temprano (Fauna de *Eosolimnadiopsis*, en Li y Matsuoka 2012) hasta el Jurásico  
642 tardío (Fauna de *Eosestheriopsis dianzhongensis*, en Chen et al. 200 y Li 2004, y  
643 *Eosestheriopsis*, en Li y Matsuoka 2012) para China, Este de Asia y América del Sur  
644 (Monferran et al. 2020, y Assemblage I y II, en Gallego y Martins-Neto 2006) incluso pudiendo  
645 alcanzar el Cretácico temprano (Fauna de *Yanjjestheria* y Fauna de *Eosestheria*, en Chen et  
646 al. 2007).

647

## 648 **DISCUSIÓN**

649

### 650 **Sistema petrolero**

651 De acuerdo con Magoon y Dow (1994), un sistema petrolero se define como un sistema  
652 natural que comprende un *pod* de roca madre (generadora de hidrocarburos) activa y todo el  
653 petróleo y gas relacionado, incluyendo todos los elementos y procesos geológicos esenciales  
654 para que exista una acumulación de hidrocarburos. Esta roca madre que alguna vez estuvo  
655 activa, ahora puede estar inactiva o agotada. El término sistema describe los elementos y  
656 procesos interdependientes que forman la unidad funcional que crea la acumulación de  
657 hidrocarburos. Los elementos esenciales incluyen una roca madre de petróleo, roca  
658 reservorio, roca sello y la sobrecarga, y los procesos son la formación de trampas y la  
659 generación-migración-acumulación de petróleo. Estos elementos y procesos esenciales  
660 deben ocurrir en el tiempo y el espacio para que la materia orgánica incluida en una roca  
661 madre pueda convertirse en una acumulación de petróleo. Un sistema petrolero existe  
662 dondequiera que se produzcan los elementos y procesos esenciales.

663

### 664 **Rocas madre lacustres en Argentina**



665 Rocas madre asociadas a ambientes de *rift/lacustres* han sido reconocidas en todas las  
666 cuencas mesozoicas productivas de la Argentina. Este es el caso de las formaciones Aguada  
667 Bandera y Pozo D-129 en la Cuenca del Golfo San Jorge, Fm. Cacheuta en la Cuenca  
668 Cuyana, la Fm. Yacoraite en la Cuenca del Noroeste Argentino y el denominado Pre-Cuyo en  
669 la Cuenca Neuquina (Uliana et al. 2014), variando su participación a nivel de cuenca en  
670 cuanto al aporte de hidrocarburos producidos a la fecha.

671 De acuerdo con Legarreta y Villar (2011), el Neocomiano y la Fm. D-129 poseen COT entre  
672 0.5-3 %, vinculado a querógeno de tipo I/II a II/III; en el caso de la Cuenca Cuyana, la roca  
673 madre posee valores de COT entre 3 y 10 %, con querógeno de tipo I; la Fm. Yacoraite se  
674 caracteriza por poseer un rango entre 0.5-6 % de COT, y querógeno tipo II/III; finalmente, el  
675 Grupo Pre-Cuyo ha documentado valores de COT entre 2 y 11 %, con querógeno de tipo I a  
676 mixto I/III. De esta forma, se observa que distintos tipos de querógeno pueden acumularse de  
677 acuerdo con las condiciones imperantes en los humedales a partir de los cuales se originan.

678

### 679 **Los sistemas petroleros de la Cuenca Austral**

680 En su revisión de los sistemas petroleros de la Cuenca Austral, Rodriguez et al. (2008)  
681 reconocen la presencia de 6 sistemas petroleros distintos, cuya correlación entre rocas madre  
682 e hidrocarburos permite caracterizarlos como probados, hipotéticos o especulativos. En este  
683 sentido, estos autores indican que el sistema Tobífera–Tobífera/Springhill se considera como  
684 probado, teniendo en cuenta la información publicada por Bravo y Herrero (1997) para el  
685 sector chileno de la Cuenca Austral. Estos últimos han postulado la correlación entre el  
686 petróleo recuperado de “reservorios arenosos del miembro superior de la formación Tobífera”  
687 en el hemigraben Calafate con extractos de hidrocarburos obtenidos de “rocas madres  
688 arcillosas del entorno y que están en contacto estratigráfico con las areniscas”, sin embargo,  
689 los autores no aportan mayores detalles, sobre todo datos geoquímicos que soporten la  
690 postulación (biomarcadores).

691

### 692 **La Serie Tobífera como roca madre**

693 La presencia de pelitas negras ha sido mencionada en los afloramientos ubicados al oeste de  
694 la cuenca, en la provincia de Santa Cruz (Poiré y Franzese 2010; Poiré et al. 2023). De  
695 cualquier forma, los mismos representarían el relleno más joven (V3 de Pankhurst et al. 2000)  
696 previo a la apertura de la Cuenca de Rocas Verdes, y su influencia marina habría generado  
697 una impronta distintiva, disímil a los depósitos aquí analizados.

698 Para el sector argentino de la Cuenca Austral, Cagnolatti et al. (1996) ya habían indicado la  
699 capacidad oleogénica de las rocas perforadas en el pozo A.xp-5 (COT 0.72-7.34 % y facies  
700 orgánica depositada probablemente en un ambiente lacustre con aporte de materia orgánica  
701 terrestre y subordinadamente algal-bacteriana), y para el sector chileno, Bravo y Herrero  
702 (1997) habían destacado la presencia de niveles pelíticos jurásicos en Las Violetas, Calafate  
703 y Gaviota Norte (COT 0.5-6 % y querógenos de tipo vitriniticos, con aporte subordinado de  
704 inertinita y sapropélicos, con predominancia de querógenos terrestres de tipo III y capacidad  
705 de generación mixta).

706 Como ya fue descrito a partir de los gráficos de las figuras 6 y 7, la base de datos aquí  
707 analizada permite caracterizar a las pelitas negras identificadas hasta la fecha como un grupo  
708 heterogéneo, con querógenos que varían desde tipo I a tipo III/IV, con abundante participación  
709 de material terrestre (derivado de plantas) y sapropélico de calidad moderada, lo que implica  
710 presencia de rocas generadoras con interesante capacidad para petróleo y gas. Rocas, con  
711 fuerte afinidad terrestre como las aquí analizadas, han sido identificadas como responsables  
712 de los hidrocarburos producidos en la Cuenca Gippsland en Australia (Edwards et al. 2016).

713 Respecto a la presencia de rocas madre con querógeno tipo I (aquellas con excelentes  
714 condiciones de generación de petróleo), se ha anticipado su presencia por correlación teórica  
715 con petróleos reportados en Tierra del Fuego por de la Cal et al. (2022) (Pozo AS.x-1001,  
716 Grupo G1), aquel identificado en el pozo Laguna Maria.x-1 en la Provincia de Santa Cruz  
717 (CGC, comunicación personal), bitumen alojado en la Serie Tobífera en el pozo AM-616 en el  
718 Área Magallanes del *offshore* argentino (Villar 2005) y con dudas, petróleos recuperados en  
719 los pozos Calafate pk-1 y Dicky-8A en Chile (Robertson 1997).

720

## 721 **Los sistemas lacustres en la Serie Tobífera**

722 En la figura 13 se han graficado las pelitas negras identificadas a lo largo del relleno  
723 volcaniclástico de la Serie Tobífera (relleno nivelado al tope del Jurásico) y donde se observa  
724 que su ocurrencia se da aleatoriamente en la columna estratigráfica (inicio del relleno,  
725 sectores medios, etc). Independientemente del sesgo que pueda existir en la información  
726 analizada (condicionada por la escasez de perforaciones, así como la falta de evaluación de  
727 numerosos hemigrábenes), se destaca el gran espesor que de este tipo de depósitos ha  
728 quedado preservado en el pozo Calafate-87 (>1000m).

729 Dada la predominancia de material piroclástico/volcánico por sobre aquel de origen  
730 sedimentario, se podría inferir que este último responde a momentos de calma de la actividad  
731 volcánica, donde los ambientes sedimentarios, especialmente cuerpos de agua donde  
732 material fino fue capaz de decantar y la materia orgánica ser preservada, pudieron haberse  
733 instaurado y perdurar en el tiempo, lo que permitió el establecimiento de las poblaciones de  
734 los espinicaudados (“conchostracos”).

735 Los “conchostracos” constituyen el componente autóctono de estos sistemas lacustres  
736 mientras que los insectos comprenden el componente alóctono a los mismos (Mancuso et al.  
737 2007). Ambos grupos representan los principales elementos hallados corrientemente en los  
738 ecosistemas lacustres mesozoicos (Gallego et al. 2021).

739 Los espinicaudados se caracterizan particularmente por habitar en la actualidad ambientes de  
740 agua dulce temporales (charcas), y ocasionalmente han sido reportados en ambientes  
741 salobres del pasado (Tasch 1969; Frank 1988; Li y Matsuoka 2012). Entre los ambientes  
742 dulceacuícolas en que habitan tanto los representantes actuales como fósiles, se encuentran  
743 las márgenes y zona litoral de grandes lagos, pequeños sistemas lacustres del valle de  
744 inundación, pantanos, tundras, cavernas, pequeños lagos permanentes, charcas y hasta  
745 campos de cultivo de arroz (Monferran 2014; Monferran et al. 2013b, 2016). Estos cuerpos  
746 acuáticos pueden contener sedimentos en suspensión y estar densamente vegetados. Las  
747 variables ambientales en las que se desarrollan presentan valores de temperaturas entre 13  
748 y 25°C, pero algunas especies pueden sobrevivir a 1 o 41°C. Normalmente, viven en aguas

749 continentales de pH neutro (pH = 7) a alcalino (pH = 9.7) o ligeramente ácido (pH = 6) (Tasch  
750 1969; Frank 1988). En relación a los insectos, tanto los representantes de los Asiocoleidae  
751 como de los Cupedidae reportados en este trabajo se caracterizan por tener hábitos  
752 eminentemente terrestres y alóctonos al lago de Tobífera. Mancuso et al. (2007) mencionan  
753 para la biota de coleópteros triásicos un hábito de vida semejante, tanto para formas fósiles  
754 como actuales. Los cupédidos recientes se caracterizan por vivir en diferentes hábitats como  
755 bosques cerrados o abiertos, y en madera en descomposición (en coincidencia con la  
756 abundante materia orgánica registrada en los niveles portadores). Muchas de las especies de  
757 cupédidos son endémicas, y conocidas sólo en áreas limitadas. Como en el caso de la Familia  
758 Ommatidae, también se pueden encontrar en las selvas tropicales, praderas áridas o bosques  
759 abiertos. Los adultos son malos voladores o sea que se dispersan poco fuera de sus sitios de  
760 residencia habituales, siendo así buenos indicadores ambientales. Las piezas bucales del  
761 adulto sugieren hábitos de alimentación del polen, mientras que todas las larvas conocidas se  
762 alimentan de madera muerta. Estos hábitos de vida en relación a la vegetación circundante a  
763 los sistemas lacustres se ven soportados por la presencia de abundante materia orgánica en  
764 los niveles portadores de esta fauna.

765

766

## 767 **CONCLUSIONES**

768 La unidad analizada en este estudio tiene buenas características para ser considerada roca  
769 madre efectiva de hidrocarburos, a partir de la identificación de numerosos intervalos con  
770 moderado a alto contenido orgánico, características de pirólisis y microscópicas en línea con  
771 querógenos que varían desde escasos registros de tipo I algal (lacustre) de alta calidad pro-  
772 petróleo, a mezclas I/III, con carácter mixto para petróleo-gas, a III/IV posiblemente controlado  
773 por material leñoso derivado de plantas superiores y con calidad disminuida sesgada hacia  
774 un carácter pro-gas. El rango de madurez térmica registrado en las muestras de la Serie  
775 Tobífera, en el conjunto de los pozos considerados, es bien amplio (dependiendo de la  
776 posición y profundidad), según los datos disponibles de Ro (reflectancia de la vitrinita %) y

777 Tmax de pirólisis: inmaduro a marginalmente maduro en alrededor de los 2,000 m; ventana  
778 de petróleo temprano a medio entre aproximadamente 2,200 y 3,000 m; fase de petróleo tardío  
779 entre aproximadamente 3,000 y 3,500 m; fase de gas-condensado a profundidades mayores  
780 de ~3,500 m. En el gráfico de la figura 9, llaman la atención los datos que a una profundidad  
781 de 1,500/1,600 m se encuentran en la ventana de petróleo. Los datos corresponden al pozo  
782 ELAN.x-1 e indican una anomalía respecto del gradiente “normal/esperable” al que se ajustan  
783 las demás muestras, lo que podría deberse a causas tectónicas (exhumación) o al aporte  
784 térmico generado por actividad magmática (se ha documentado la existencia de intrusivos  
785 ígneos a lo largo de Santa Cruz por Porras et al. 2011, y referencias allí citadas) como han  
786 indicado Laffitte et al. (1986) para el sector norte de la cuenca, en base al análisis realizado  
787 sobre muestras de carbón de la Fm. Springhill.

788 Es de esperarse que cada depocentro posea un tipo de relleno particular, y por ende, un tipo  
789 de materia orgánica preservada característica, que lo diferencie del resto. En este sentido, Liu  
790 et al. (2023) han demostrado la variabilidad en los macerales del Mb. Chang 7 (Fm. Yanchang,  
791 Triásico de la Cuenca de Ordos, China) a partir del estudio de dos secciones aflorantes: los  
792 mismos han determinado en una de ellas, una secuencia caracterizada por querógeno de tipo  
793 I (dominado por material amorfo y alginita en menor medida), y la otra caracterizada por  
794 querógeno tipo III dominado por vitrinita e inertinita. Dado esto, no se descarta que dentro de  
795 un mismo depocentro de la Serie Tobífera existan variaciones en el tipo de querógeno, y que  
796 aún no se haya determinado debido a la escasez de perforaciones. Este quizá es el caso del  
797 depocentro donde se han perforado los pozos Angostura y Estancia San Martín, donde la  
798 escasa información sísmica registrada permitiría inferir que los mismos han sido perforados  
799 en una posición de borde/costa de los cuerpos de agua (de acuerdo con Cagnolatti et al. 1996  
800 y de la Cal et al. 2022, el depocentro Angostura tendría su desarrollo hacia la Bahía de San  
801 Sebastián, ubicada al Este de los pozos ya mencionados).

802 A excepción de los pozos A.xp-5 y ESM.es-1 (Depocentro Angostura), la mayoría de los  
803 depocentros de los sectores *onshore* y costa afuera de la Argentina han sido escasamente  
804 explorados (sólo se ha perforado los primeros metros del relleno jurásico, debido a que el

805 objetivo exploratorio se concentraba en la Fm. Springhill del Cretácico), lo que representa  
806 seguramente un sesgo en la información disponible para su caracterización. Dado esto,  
807 estudios multidisciplinarios como los aquí expuestos contribuirán a caracterizar los ambientes  
808 lacustres asociados al *rifting* jurásico de la Patagonia, aportando datos no solo del tipo de vida  
809 imperante en los mismos, sino de las características de los cuerpos de agua donde la materia  
810 orgánica fue preservada. En este sentido, la integración de los estudios presentados con  
811 futuros análisis (geoquímica de petróleo y extractos de roca, algunos en marcha) permitiría  
812 determinar con mejor precisión la dinámica de este tipo de sistemas y aquellas estrategias  
813 exploratorias que involucren al Sistema Petrolero Tobífera-Tobífera.

814 En cuanto al material fósil, este es el primer reporte para la Serie Tobífera y se compone  
815 principalmente de restos vegetales indeterminados y restos de invertebrados típicamente  
816 continentales compuestos por crustáceos “conchostracos” (espinicaudados) asignados  
817 preliminarmente a tres familias (Palaeolimnadiopseidae, Fushunograptidae y  
818 ?Eosestheriidae) e insectos del orden Coleoptera, representados por élitros asignados a  
819 Cupedidae con registro en unidades triásicas sudamericanas y a Asiocoleidae cuyo registro  
820 es el primero para el hemisferio sur.

821 Finalmente, es de destacar, que, por el momento, y a la luz de la información con la que se  
822 cuenta, no se ha determinado una correlación directa entre roca y petróleo que permita afirmar  
823 que el Sistema Petrolero Tobífera-Tobífera constituya un Sistema de tipo probado.

824

## 825 **AGRADECIMIENTOS**

826 Los autores desean agradecer a la empresa Roch S.A. por permitir la publicación de los datos,  
827 y a Enrique Feinstein por el constante apoyo. Se agradece además a la empresa ENAP-  
828 SIPETROL, especialmente a Daniel Perez Simón, Marcelo Santiago, Ivan Arriagada Saldias,  
829 Pablo Mella Sepulveda y Nestor Canessa Di Santo por el acceso a la información referente a  
830 pozos por esa empresa operados; a Julieta Balderramas de la Secretaría de Hidrocarburos  
831 de Tierra del Fuego por el acceso a parte del material aquí estudiado y a la empresa IGI Ltd  
832 por el acceso a una licencia académica del software p:IGI. Además, se agradece al Comité

833 Organizador del VIII Simposio Argentino del Jurásico, al Consejo Nacional de Investigaciones  
834 Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE-SGCyT)  
835 por el apoyo a los proyectos sobre invertebrados fósiles (PI-18Q005 y PI-23Q001, O.F.G. y  
836 M.D.M.). Finalmente, se agradece a Susana Damborenea, editora invitada, y, a los revisores  
837 Hugo Arbe y Carlos Macellari por los comentarios y sugerencias realizadas, los que han  
838 enriquecido el manuscrito de manera significativa

839

840

#### 841 **REFERENCIAS**

842 Arbe, H.A. 1986. El Cretácico de la Cuenca Austral: sus ciclos de sedimentación. Tesis  
843 Doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 585 p., Buenos Aires.

844 Arbe, H.A. 1987. El Cretácico de la Cuenca Austral. Boletín de Informaciones Petroleras 9:  
845 91-110.

846 Arbe, H.A. 1989. Estratigrafía, discontinuidades, y evolución sedimentaria del Cretácico de la  
847 Cuenca Austral, Provincia de Santa Cruz. En: Chebli, G.A. y Spalletti, L.A. (eds.), Cuencas  
848 Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica, Nº 6, Universidad Nacional de  
849 Tucumán, 10º Congreso Geológico Argentino, 1987: 419-442, Tucumán.

850 Arbe, H. y Fernández Bell Fano, F. 2002. Formación Springhill en el área costa afuera. En:  
851 Schiuma, M., Hinterwimmer, G., y Vergani, G. (eds.), Rocas Reservorio de las Cuencas  
852 Productivas Argentinas, 5º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: 75-89,  
853 Mar del Plata.

854 Barreda, V. y Palamarczuk, S. 1992. Informe Palinológico de la Sección 1650-55m a 2690-  
855 64m del Pozo Angostura Xp-5. OEA S.A. (inédito), 15 p.

856 Biddle, K.T., Uliana, M.A., Mitchum, R.M., Fitzgerald M.G. y Wright, R.C. 1986. The  
857 stratigraphic and structural evolution of the Central and Eastern Magallanes Basin, Southern  
858 South America. En: Allen, P.A. y Homewood, P. (eds.), Foreland Basins. International  
859 Association of Sedimentologists, Special Publication 8: 41-61.

860 Bravo, P. y Herrero, C. 1997. Reservorios naturalmente fracturados en rocas volcánicas  
861 jurásicas, Cuenca de Magallanes, Chile. 6° Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera en las  
862 Cuencas Subandinas, Memorias, Tomo I: 66-84, Bogotá.

863 Cagnolatti, M.J., Martins, R. y Villar, H. 1996. La Formación Lemaire como probable  
864 generadora de hidrocarburos en el área Angostura, provincia de Tierra del Fuego, Argentina.  
865 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, vol. 1:  
866 123-139, Buenos Aires.

867 Chen, P.J. y Shen, Y.B. 1985. An introduction to fossil Conchostraca. Science Press, 241 p.,  
868 Beijing.

869 Chen, P.J., Li, G. y Batten, D.J. 2007. Evolution, migration and radiation of late Mesozoic  
870 conchostracans in East Asia. Geological Journal 142: 391-413.

871 de la Cal, H.G., Villar, H.J., Páez, G. y Feinstein, E. 2022. El Sistema Petrolero Tobífera-  
872 Tobífera en la provincia de Tierra del Fuego, Cuenca Austral, Argentina, y su potencial  
873 exploratorio en el Hemigraben Angostura. 11° Congreso de Exploración y Desarrollo de  
874 Hidrocarburos, IAPG, Exploración y Sistemas Petroleros, Trabajos Técnicos: 383-405,  
875 Mendoza.

876 de la Cal, H.G., Gallego, O.F., Monferran M.D., Villar, H.J., Páez, G. y Yan, E.V. 2023.  
877 Novedosos Hallazgos Fosilíferos y Estudios Geoquímicos en el Registro Lacustre de la Serie  
878 Tobífera, Jurásico del Subsuelo de la Cuenca Austral, Tierra del Fuego, Argentina. 8°  
879 Simposio Argentino del Jurásico, Asociación Geológica Argentina, Serie D Publicación  
880 Especial 17: 27-29, Buenos Aires.

881 Edwards, D.S., Ahmed, M., Bernecker, T., Boreham, C.J., Gong, S., Goldie-Divko, L., Gorter,  
882 J., Hall, L., Langford, R.P., Mitchell, C. y Volk, H. 2016. A Geochemical Overview of Some  
883 Gippsland Basin Hydrocarbon Accumulations. Search and Discovery Article #10840.

884 Escapa, I., Elgorriaga, A., Nunes, C., Scasso, R. y Cúneo, N.R. 2021. Megafloras del Jurásico  
885 en la Cuenca de Cañadón Asfalto: Biomas en Transformación. En: Giacosa, R. (ed.),  
886 Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Chubut, 21° Congreso Geológico  
887 Argentino, Relatorio: 878-901, Puerto Madryn.



888 Frank, P.W. 1988. Conchostraca. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 62:  
889 399-403.

890 Gallego, O.F. 1994. Conchostracos Jurásicos de Santa Cruz y Chubut, Argentina.  
891 *Ameghiniana* 31(4): 333-345.

892 Gallego, O.F., Cabaleri, N.G., Monferran, M.D., Armella, C., Zacarías, I.A., Silva Nieto, D. y  
893 Jiménez, V.C. 2021. D.2.c Invertebrados Continentales. En: Giacosa, R. (ed.), *Geología y*  
894 *Recursos Naturales de la Provincia de Chubut*, 21º Congreso Geológico Argentino, Relatorio:  
895 755-779, Puerto Madryn.

896 Gallego, O.F. y Martins-Neto, R.G. 2006. The Brazilian Mesozoic conchostracan faunas: its  
897 geological history as an alternative tool for stratigraphic correlations. *Geociências* 25: 231–  
898 239.

899 Haq, B.U., Hardenbol, J. y Vail, P.R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the  
900 Triassic. *Science* 235: 1156–1167.

901 Herbst, R. y Ferrando, L.A. 1985. *Cyzicus* (*Lioestheria*) *ferrandoi* n. sp. (Conchostraca,  
902 *Cyzicidae*) de la Formación Tacuarembó (Triásico Superior) de Uruguay. *Revista de la*  
903 *Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 16(1): 29-47.

904 Hervé, F., Calderón, M., Fanning, M., Kraus, S. y Pankhurst, R. 2010. SHRIMP chronology of  
905 the Magallanes Basin basement, Tierra del Fuego: Cambrian plutonism and Permian high-  
906 grade metamorphism. *Andean Geology* 37: 235-275.

907 Jarvie, D.M., Jarvie, B.M., Weldon, W.D. y Maende, A. 2012. Components and Processes  
908 Impacting Production Success from Unconventional Shale Resource Systems. *Search and*  
909 *Discovery Article #40908*.

910 Kay, S., Ramos, V., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic  
911 magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the Middle Proterozoic in North America?.  
912 *Geology* 17: 324-328.

913 Laffitte, G.A., Arias, W.E. y Marinelli, R.V. 1986. Caracterización Térmica de la F. Springhill,  
914 Cuenca Austral. Relación con el Entrampamiento de los Hidrocarburos. 60º Reunión Anual de  
915 Expertos, ARPEL, Exploración, Actas: 70-78, Lima.

916 LCV, 1992. Estudio Petrográfico y mineralógico, sondeo A.xp-5. OEA, informe inédito.

917 LCV, 2018. Sondeo YPF.TF.ESM.es-1 (1ª a 4ª ccc) Estancia San Martín, Fm. Springhill y  
918 Serie Tobífera. Estudio Sedimentológico y Petrográfico. Roch S.A.(inédito) 72p., Buenos  
919 Aires.

920 Legarreta, L. y Villar, H.J. 2011. Geological and Geochemical Keys of the Potential Shale  
921 Resources, Argentina Basins. IAPG, Search and Discovery Article, 80196.

922 Lesta, P. y Ferello, R. 1972. Región extraandina de Chubut y norte de Santa Cruz. En: Leanza,  
923 A. (ed.), Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias: 602–687, Córdoba.

924 Lesta, P.J., Ferello, R. y Chebli, G.A. 1980. Chubut extraandino. En: Turner, J.C.M. (ed.),  
925 Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de  
926 Córdoba, 2: 1307-1387, Córdoba.

927 Li, G. 2004. Discovery of Qinghaiestheria from the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in  
928 Sichuan, southwestern China. Journal of Asian Earth Sciences 24: 361-365.

929 Li, G. y Batten, D.J. 2004. Revision of the conchostracan genera Cratostracus and Porostracus  
930 from Cretaceous deposits in north-east China. Cretaceous Research 25: 919-926.

931 Li, G. y Matsuoka, A. 2012. Jurassic clam shrimp (“conchostracan”) faunas in China. Sci Rep,  
932 Niigata Univ (Geology) 27: 73-88.

933 Liu, S.W. 1982. Early Jurassic Palaeolimnadiopseidea (Conchostraca) de China. Acta  
934 Palaeontologica Sinica 21(4): 383-390.

935 Liu, B., Teng, J. y Mastalerz, M. 2023. Maceral Control on the Hydrocarbon Generation  
936 Potential of Lacustrine Shales: A Case Study of the Chang 7 Member of the Triassic Yanchang  
937 Formation, Ordos Basin, North China. Energies 16(2): 636.

938 Magoon, L. y Dow, W. 1994. The petroleum system. En: Magoon, L. y Dow, W. (ed.), The  
939 Petroleum System from source to Trap. American Association of Petroleum Geologists,  
940 Memoir 60: 3-24.

941 Malvicini, L. y Llambías, E. 1974. Geología y génesis del depósito de manganeso Arroyo  
942 Verde, provincia del Chubut. 5º Congreso Geológico Argentino, Actas: 185-202, Córdoba.

943 Mancuso, A.C., Gallego, O.F. y Martins-Neto, R.G. 2007. The Triassic Insect Fauna from the  
944 Los Rastros Formation (Bermejo Basin) La Rioja Province, Argentina: their context,  
945 taphonomy and palaeobiology. *Ameghiniana* 44(2): 337-348.

946 Martin, J.W. y Davis, G.E. 2001. An updated classification of the recent Crustacea, Natural  
947 History Museum of Los Angeles County. Science Series 39: 1-124.

948 Martins-Neto, R.G., Gallego, O.F. y Mancuso, A.C. 2006. The Triassic Insect Fauna from  
949 Argentina. Coleoptera from Los Rastros Formation (Bermejo Basin), La Rioja Province.  
950 *Ameghiniana* 43(3): 591-609.

951 Martins-Neto, R.G. y Gallego, O.F. 2009. The Triassic Insect Fauna from Argentina.  
952 Blattoptera and Coleoptera from Ischichuca Formation (Bermejo Basin) La Rioja province.  
953 *Ameghiniana* 46(2): 361-372.

954 Monferran, M.D. 2014. Estudio sistemático y paleoecológico de los conchostracos de la  
955 Formación Cañadón Asfalto (Jurásico Medio-Superior), Chubut (Argentina), Tesis doctoral,  
956 Universidad de Buenos Aires (inédita), 326 p., Buenos Aires.

957 Monferran M.D., Gallego, O.F. y Cabaleri, N.G. 2013a. First record of the family  
958 Fushunograptidae ("Conchostraca", Spinicaudata) of the Cañadón Asfalto Formation (Upper  
959 Jurassic), Patagonia Argentina. *Ameghiniana* 50: 447-459.

960 Monferran M.D., Gallego, O.F., Astrop T. y Cabaleri N.G. 2013b. Autecology of *Wolfestheria*  
961 *smekali* (spinicaudata) from the Upper Jurassic (Cañadón Asfalto Formation), Patagonia,  
962 Argentina. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 392: 52-61.

963 Monferran, M.D., Cabaleri, N.G., Gallego, O.F., Armella, C. y Cagnoni, M. 2016.  
964 Spinicaudatans from the Upper Jurassic of Argentina and their paleoenvironments. *Palaios* 31:  
965 405-420.

966 Monferran, M.D., Gallego, O.F., Cabaleri, N.G. 2020. Revision of two spinicaudatan species  
967 from the Cañadón Asfalto Formation (Jurassic), Patagonia Argentina. *Zoological Studies* 59  
968 (37): 1-11.

969 Moraga Benavides, J. 1992. Antecedentes para la Evaluación de una Secuencia de Turbiditas  
970 Lacustres de Baja Permeabilidad Desarrolladas en la Serie Tobífera. Tandy 8. ENAP,  
971 (inédito), 20 p., Punta Arenas.

972 Moraga Benavides, J. 1996. Prospección de Hidrocarburos en Cuencas de Extensión  
973 Precretácicas, Magallanes, Chile. Tesis de grado, Universidad de Chile, 121 p., Santiago.

974 Pankhurst, R.J., Riley, T.R., Fanning, C.M. y Kelley, S.P. 2000. Episodic Silicic Volcanism in  
975 Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the break-  
976 up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.

977 Pittion, J.L. y Arbe, H.A. 1999. Sistemas petroleros de la Cuenca Austral. 4º Congreso  
978 Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 239-262, Mar del Plata.

979 Pittion, J.L. y Goudain, J. 1991. Source-Rocks and oil generation in the Austral Basin. 13º  
980 World Petroleum Congress, Proceedings 2: 113-120, Buenos Aires.

981 Poiré, D.G y Franzese, J. 2010. Mesozoic clastic sequences from a Jurassic rift to Cretaceous  
982 foreland basin, Austral Basin, Patagonia, Argentina. En: del Papa, C. y Astini, R. (eds.), *Field*  
983 *Excursion Guidebook*, 18º International Sedimentological Congress, FE-C13: 1-53, Santa  
984 Cruz.

985 Poiré, D.G., Tineo, D.E., Moyano Paz, D., García, P.J., Pérez, L.M. y Noriega, R.H. 2023.  
986 Calizas, Margas y Pelitas Negras del "Sistema Petrolero Tobífera-Tobífera", Jurásico de la  
987 Cuenca Austral, Argentina. 18º Reunión Argentina de Sedimentología: 9º Congreso  
988 Latinoamericano de Sedimentología, Actas: 315, La Plata.

989 Pol, D., Carballido, J.L., Rougier, G.W., Rauhut, O.W.M., Sterli, J. y Gómez, K. 2021. D.6.  
990 Vertebrados Tetrápodos Mesozoicos de la Cuenca Cañadón Asfalto. En: Giacosa, R. (ed.),  
991 *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Chubut*, 21º Congreso Geológico Argentino,  
992 *Relatorio*: 780-805, Puerto Madryn.

993 Ponomarenko, A.G., Aristov, D.S., Bashkuev, A.S., Gubin, Yu.M., Khramov, A.V.,  
994 Lukashovich, E.D., Popov, Yu. A., Pritykina, L.N., Sinitsa, S.M., Sinitshenkova, N.D.,  
995 Sukatcheva, I.D., Vassilenko, D.V. y Yan, E.V. 2014. Upper Jurassic Lagerstätte Shar Teg,  
996 Southwestern Mongolia. *Paleontological Journal* 48: 1573–1682.

997 Ponomarenko, A.G., Yan, E.V., Strelnikova, O.D. y Beattie, R.G. 2020. The first finding of an  
998 asiocoleid beetle (Coleoptera: Asiocoleidae) in the Upper Permian Belmont Insect Beds,  
999 Australia, with descriptions of a new genus and species. *Israel Journal of Entomology* 50: 1-9.

1000 Porras, J., Agüera, M., Pérez, A.M., Pagán, F. y Belotti H. 2011. Caracterización Geológica y  
1001 Potencial Petrolífero de los Cuerpos Ígneos Intrusivos de la Cuenca Austral, Argentina. 8º  
1002 Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos: 519-548, Mar del  
1003 Plata.

1004 Robbiano, J.A., Arbe, H.A. y Gangui A. 1996. Cuenca Austral Marina. 13º Congreso Geológico  
1005 Argentino, y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos. En: Ramos, V.A. y Turic, M.A.  
1006 (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*, Relatorio 17:  
1007 323-341, Buenos Aires.

1008 Robertson Research International Limited (Robertson) 1997. Reporte N°7948/lc: Oil-Oil and  
1009 Oil-Source Rock Correlation Study, Magallanes Basin, Chile. ENAP (inédito), 199 p.

1010 Rodríguez, J. y Miller, M. 2005. Cuenca Austral. En: Chebli, G.A., Cortiñas, J., Spalletti, L.A.,  
1011 Legarreta, L. y Vallejo, E. (eds.), *Frontera Exploratoria de la Argentina*. 6º Congreso de  
1012 Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG: 307-324, Mar del Plata.

1013 Rodríguez, J.F., Miller, M. y Cagnolatti, M.J. 2008. Sistemas Petroleros de Cuenca Austral,  
1014 Argentina y Chile. En: Cruz, C.E., Rodríguez, J.F., Hechem, J.J. y Villar, H.J. (eds.), 7º  
1015 Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, *Sistemas Petroleros de las*  
1016 *Cuencas Andinas*: 1-31, Buenos Aires.

1017 Scholze, F. y Schneider, J.W. 2015. Improved methodology of 'conchostracan' (Crustacea:  
1018 Branchiopoda) classification for biostratigraphy. *Newsletters on Stratigraphy* 48: 287-298.

1019 Schwarz, E., Veiga, G.D., Spalletti, L.A. y Massaferro, J.L. 2011. The transgressive infill of an  
1020 inherited-valley system: The Springhill Formation (lower Cretaceous) in southern Austral  
1021 Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 28: 1218-1241.

1022 Shen, Y.B. 1985. Classification and evolution of the Family Palaeolimnadiopseidae  
1023 (Conchostraca). *Scientia Sinica (Series B)* 28(8): 888-894.

1024 Shen, Y.B. 1994. Jurassic conchostracans from Carapace Nunatak, southern Victoria Land,  
1025 Antarctica. *Antarctic Science* 6: 105-113.

1026 Shen, Y.B., Gallego, O.F. y Martínez, S. 2004. The conchostracan subgenus *Ortheastheria*  
1027 (*Migransia*) from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic–? Early Cretaceous, Uruguay) with  
1028 notes on its geological age. *Journal of South American Earth Simon Petroleum Technology*  
1029 *Sciences* 16: 615-622.

1030 (SPT) Limited. 1994. Reporte N° 7417/lc: A Petroleum Geochemical Analysis of Rock  
1031 Samples and Oils from 6 Wells, Magallanes Basin, Chile, (inédito), 85 p., Llandudno.

1032 Stipanovic, P.N. y Reig, O.A. 1957. El "Complejo Porfírico de la Patagonia Extrandina" y su  
1033 fauna de anuros. *Acta Geológica Lilloana* 1: 185-230.

1034 Tan, J.J. y Ren, D. 2009. Mesozoic Archostematan Fauna from China. China Press, 347p.  
1035 Beijing

1036 Tasch, P. 1969. Branchiopoda. En: Moore, R.C. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*,  
1037 *Geological Society of America and University of Kansas, Part R., Arthropoda, Capítulo 4: 128-*  
1038 *191, Boulder.*

1039 Tasch, P. 1987. Fossil Conchostraca of the Southern Hemisphere and Continental Drift.  
1040 *Paleontology, Biostratigraphy and Dispersal. Geological Society of America, Memoir 165, 290*  
1041 *p., Boulder.*

1042 The Robertson Group plc. 1989. Reporte N° RLS/368 Geochemical analysis of Well Samples  
1043 and Oils from Four Wells in the Magallanes Basin, Chile. ENAP (inédito), 190 p., Llandudno.

1044 The Robertson Group plc. 1990. Reporte N° 6715/lc: Organic Geochemistry, including Oil-  
1045 Source Rock Correlation, in the Calafate PK-1. Magellan Basin, Chile. ENAP (inédito), 45 p.,  
1046 Llandudno.

1047 The Robertson Group plc. 1991. Reporte N° 6910/lc: A Petroleum Geochemical Evaluation of  
1048 Three Core Samples from the Interval 3847m to 3856m in the Gaviota Norte-6 Well, and Four  
1049 Oils from Gaviota Norte-7, Chile. ENAP (inédito), 45 p., Llandudno.

1050 Thomas, C.R. 1949. Geology and petroleum exploration in Magallanes Province, Chile. *AAPG*  
1051 *Bulletin* 33: 1553-1578.

1052 Uliana, M.A., Legarreta, L., Laffitte, G. A. y Villar, H.J. 2014. Estratigrafía y geoquímica de las  
1053 facies generadoras de hidrocarburos en las cuencas petrolíferas de Argentina. 9º Congreso  
1054 de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Simposio de Recursos No  
1055 Convencionales: 3-92, Mendoza. (Trabajo original publicado en 1999).

1056 Urien, Hogg & Asociados & Geochemical Solutions International. 2003. Estudio geoquímico  
1057 de la Cuenca de Magallanes. ENAP (inédito), Archivo Técnico, 71 p.

1058 Villar, H.J. 2000. Geochemical report. Source Rock Evaluation SJ.SC.ELAn.x-1 Well, Estancia  
1059 La Angelina, CA-4 (M) Moy Aike Blok. Austral Basin. Chevron San Jorge (inédito), 142 p.,  
1060 Vicente López.

1061 Villar, H.J. 2004. Informe Geoquímico. Evaluación de Roca Madre de Hidrocarburos en  
1062 Muestras de Cutting de los Pozos MGI3 x-1 Murex y GOC5 x-1 Glossus, y en Muestras de  
1063 Testigo Corona de los Pozos GIA5 x-1 Nerita, MGA9 x-1 Cypraea, MLD4 x-1 Yvania, MFH9  
1064 x-1B Conus y GGH6 x-1 Turcica. Cuenca Austral. Sipetrol (inédito), 13 p. Vicente López.

1065 Villar, H.J. 2005. Informe Geoquímico. Evaluación de Extracto Orgánico de un Testigo de  
1066 Corona en el Pozo AM-616-h, Cuenca Austral. Sipetrol (inédito), 7 p., Vicente López.

1067 Villar, H. J. 2019. Reporte Geoquímico: 1) Caracterización de Tres Petróleos Crudos  
1068 Provenientes de los Pozos Catalina-45, Calafate Este-3 y Yacimiento Gorrión. 2) Revisión de  
1069 Información de la Formación Tobífera como Roca Madre en el Graben Calafate, Tierra del  
1070 Fuego, Cuenca Magallanes, Chile. Geopark (inédito), 58 p., Florida.

1071 Viviers, M. 1973. Estudio Paleontológico de un Testigo del Pozo YPF.TF.EM.x-1 (El Monte-  
1072 Tierra del Fuego). YPF (inédito), 15 p.

1073 Wang, S. y Liu, S.W. 1980. Fossil conchostracans. En: Institute of Geology, Chinese Academy  
1074 of Geological Sciences (ed.), Mesozoic Stratigraphy and Palaeontology of ShanKanNing  
1075 Basin. Geological Publishing House: 84-186, Beijing.

1076

1077

1078

1079

1080  
1081  
1082  
1083  
1084  
1085  
1086  
1087  
1088  
1089  
1090  
1091  
1092  
1093  
1094  
1095  
1096  
1097  
1098  
1099  
1100  
1101  
1102  
1103  
1104  
1105  
1106

## LEYENDAS DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los pozos involucrados en este estudio: en rojo, los análisis presentados en esta contribución, y en círculos azules, aquellos pozos que se integran de estudios inéditos realizados por otras compañías operadoras. Se indica debajo de cada sigla de pozo el rango de valores de COT medido en %. Se indica la Cuenca Austral-Magallanes, el Alto de Río Chico y la Cuenca de Malvinas, y las localidades argentinas de Río Grande y Río Gallegos, y la de Punta Arenas en Chile.

Figura 2. Cuadro estratigráfico, ciclos depositacionales y columna estratigráfica simplificada de la Cuenca Austral. Se indican las principales Rocas Madre (RM) y Roca Reservorio (RR) de la zona (modificado de Rodríguez et al. 2008, Robbiano et al. 1996, Arbe 1986, 1987, 1989 y Arbe et al. 2002). Edades basadas en Haq et al. 1987.

Figura 3. Perfil eléctrico donde se indica el intervalo correspondiente a la Serie Tobífera en el pozo EM.x-1, e imagen del material analizado en esta contribución (corona). CALI: Caliper; SP: Potencial espontáneo; IND: Inducción; DT: Tiempo de tránsito.

Figura 4. Perfil eléctrico correspondiente al pozo ESM.es-1, e imagen de las coronas analizadas del intervalo recuperado de la Serie Tobífera. SP: Potencial espontáneo; GR: Gamma Ray; ILD: Resistividad profunda; DT: Tiempo de tránsito.



1107 Figura 5. Pozo A.xp-5: perfiles eléctricos a pozo abierto. A la izquierda, se indican los  
1108 intervalos correspondientes al Cretácico, Jurásico y el Basamento de la Cuenca atravesado  
1109 por el pozo. A la derecha, detalle del intervalo correspondiente a la Secuencia 1, donde se  
1110 indican con celeste a los depósitos piroclásticos y con gris, los intervalos clásticos, *cuttings* de  
1111 los cuales ha sido analizado aquí. SP: Potencial espontáneo; GR: Gamma Ray; ILD, ILM,  
1112 SFLU: Resistividades; RHOB: Densidad; DT: Tiempo de tránsito.

1113  
1114 Figura 6. a) Potencial de generación estimado a partir del pico S2 de la pirólisis y el contenido  
1115 orgánico. b) Clasificación del querógeno a partir de los datos de pirólisis programada. Los  
1116 querógenos I y II son generadores primarios de petróleo mientras que el querógeno III lo es  
1117 de gas. El querógeno IV es generador marginal a nulo de cualquier tipo de hidrocarburos. Se  
1118 incluyen las muestras correspondientes al material inédito. Aquellas muestras que poseen  
1119 más de 10 % COT se corresponden con pelitas carbonosas a carbones. Abreviaturas: IH:  
1120 índice de Hidrógeno; IO: índice de oxígeno.

1121  
1122 Figura 7. Estimación de la madurez térmica y tipo de fluido asociado a partir de los datos de  
1123 Tmax e Índice de Hidrógeno (IH) de la pirólisis programada. Se incluyen las muestras  
1124 correspondientes al material inédito.

1125  
1126 Figura 8. Microscopía del querógeno de los pozos EM.x-1, A.xp-5 y ESM.es-1. (a), (b), (c):  
1127 campos representativos en preparaciones de *plugs* pulidos de roca entera, bajo luz blanca  
1128 incidente, destacando presencia de material vitrinitico e inertinitico. (d), (e), (f): mismos  
1129 campos bajo irradiación de luz azul-UV (modo fluorescente) destacando matriz mineral  
1130 bituminosa y restos de liptinita y liptodetrinita dispersa con fluorescencias varias. (g), (h), (i):  
1131 campos representativos en preparaciones de *slide* tipo palinológico de querógeno aislado,  
1132 bajo luz blanca transmitida, poniendo de manifiesto restos leñosos y material amorfo disperso  
1133 (posiblemente de origen mixto: terrestre + acuático). Abreviaturas: Vi: vitrinita; In: Inertinita;

1134 MB: matriz mineral bituminosa; Lp: liptinita; Lpdtr: liptodetrinita; Le: restos leñosos; Am:  
1135 material amorfo.

1136

1137 Figura 9. Gradiente de madurez térmica compuesto a partir del conjunto de datos de Ro % de  
1138 la Serie Tobífera de todos los pozos evaluados. En verde se resalta la ventana de petróleo.

1139

1140 Figura 10. Restos vegetales indeterminados.

1141

1142 Figura 11. Élitros de coleópteros. a) Familia Asiocoleidae. b) Familia Cupedidae.

1143

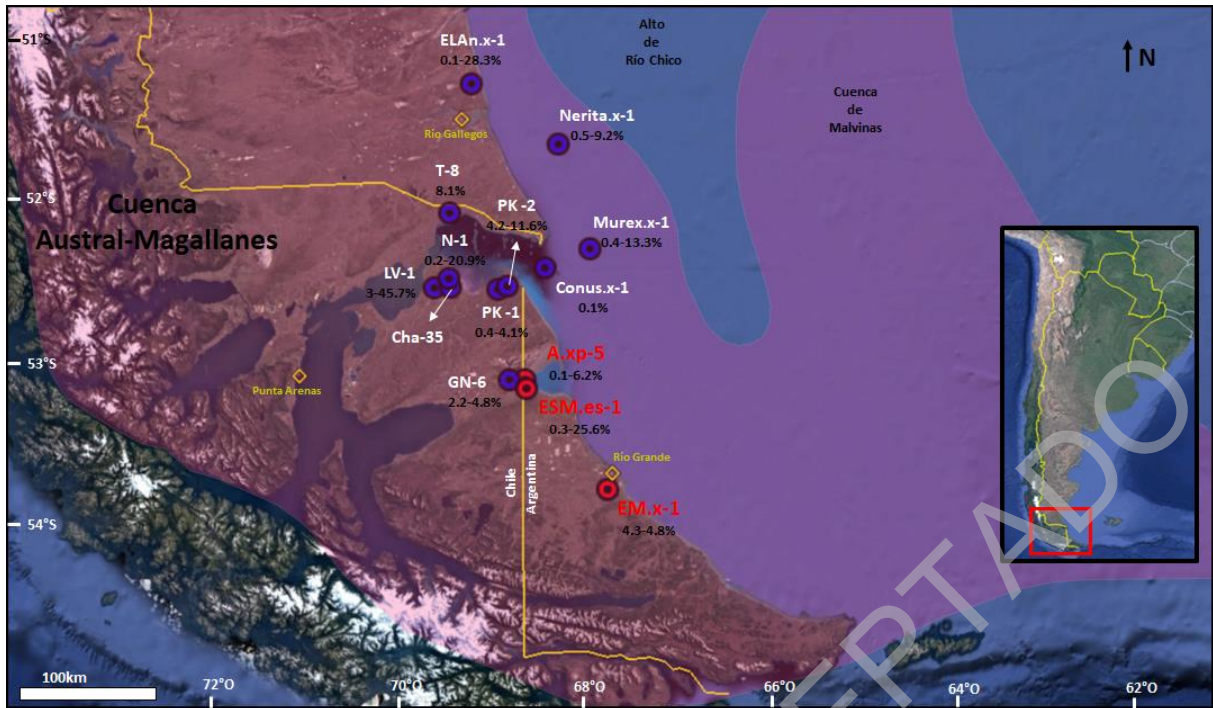
1144 Figura 12. "Conchostracos". a) y b) Familia Fushunograptidae. c) y d) especímenes de la  
1145 Familia Paleolimnadiopseidae.

1146

1147 Figura 13. Sección esquemática entre los pozos analizados en este estudio, nivelada al tope  
1148 del Jurásico, indicando los intervalos donde se han reconocido los depósitos lacustres. Se  
1149 indica con amarillo el basamento de la cuenca, en aquellos pozos que lo han alcanzado. Con  
1150 estrellas doradas, los pozos ESM.es-1, A.xp-5 y EM.x-1 (evaluados en este estudio).

1151

1152 Tabla 1. Resultados obtenidos sobre las muestras analizadas en este estudio. TC: Corona; C:  
1153 *Cutting*; COT: Carbono Orgánico Total (peso %) mediante Analizador de Carbono LECO; S1:  
1154 Cuantificación del pico S1 de la pirólisis (mgHC/gRoca); S2: Cuantificación del pico S2 de la  
1155 pirólisis (mgHC/gRoca); S3: Cuantificación del pico S3 de la pirólisis (mgCO<sub>2</sub>/gRoca); Tmax:  
1156 Temperatura (°C) alcanzada en el máximo del pico S2; IH: índice de Hidrógeno (mgHC/gCOT);  
1157 IO: Índice de Oxígeno (mgCO<sub>2</sub>/gCOT); IP: Índice de Producción; Ro: Reflectancia de la  
1158 vitrinita.



1159

1160 **Figura 1.**

1161

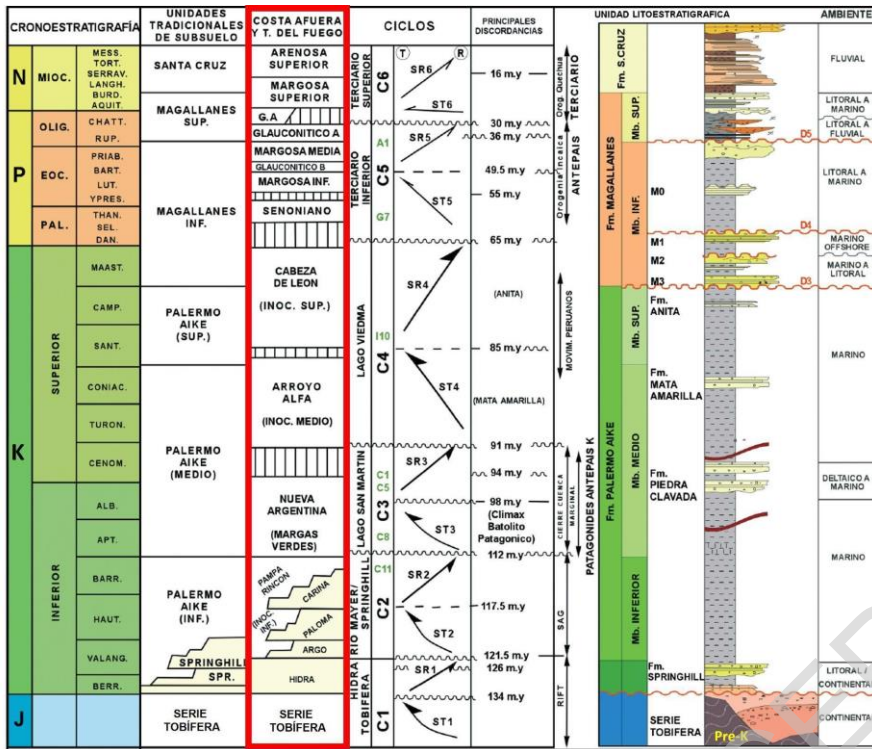
1162

1163

1164

1165

1166



1167

1168 **Figura 2.**

1169

1170

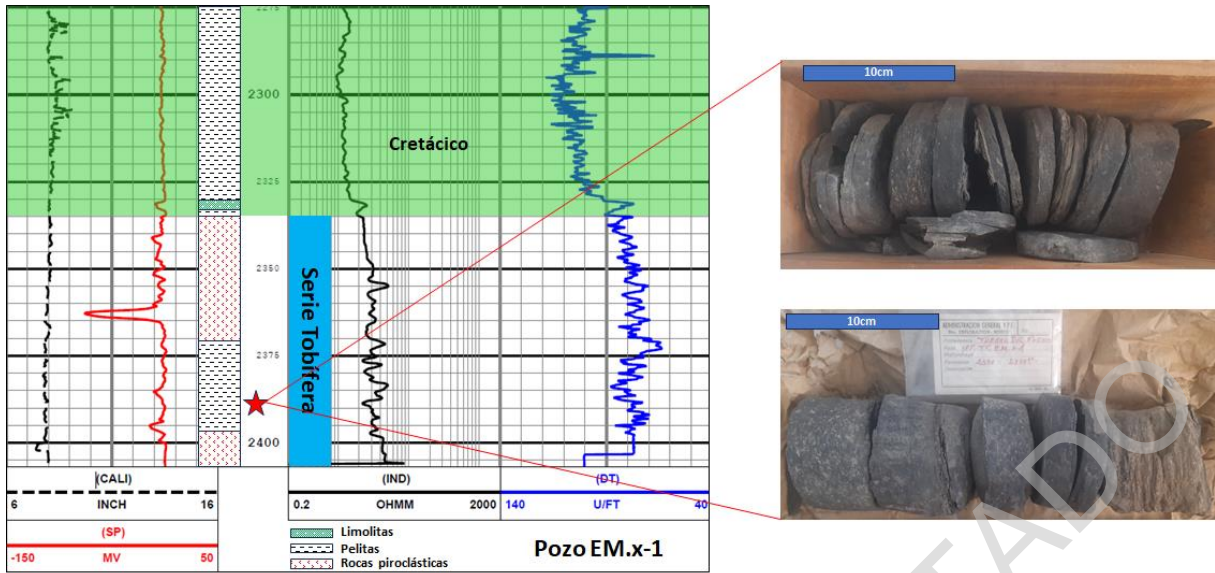
1171

1172

1173

1174

1175



1176

1177 **Figura 3.**

1178

1179

1180

1181

1182

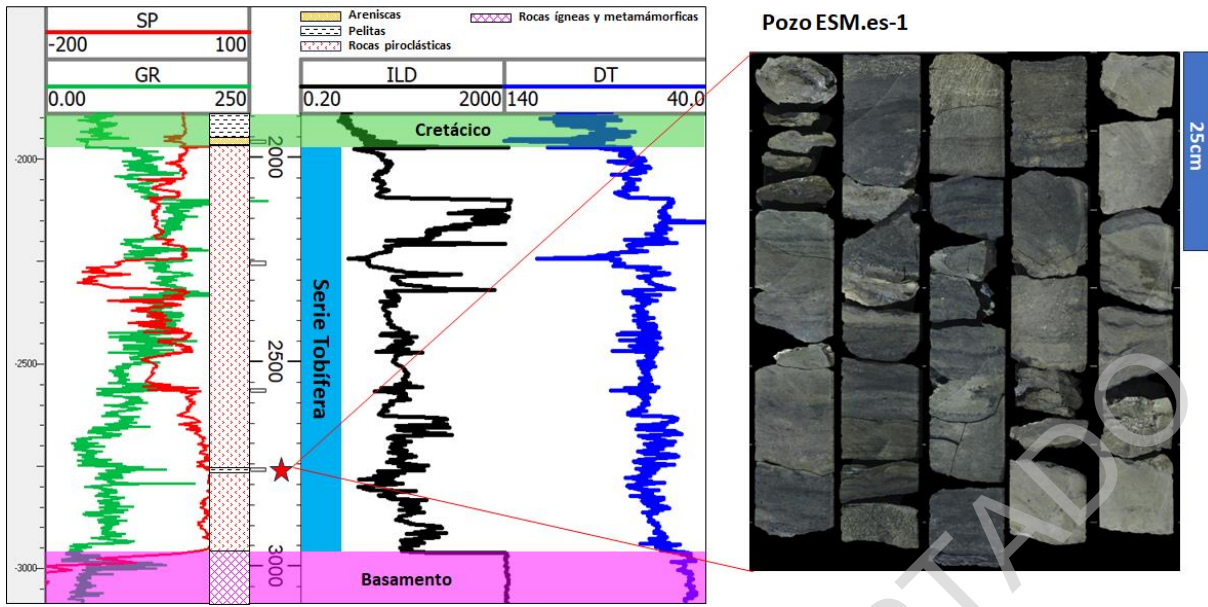
1183

1184

1185

1186

1187



1188

1189 **Figura 4.**

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

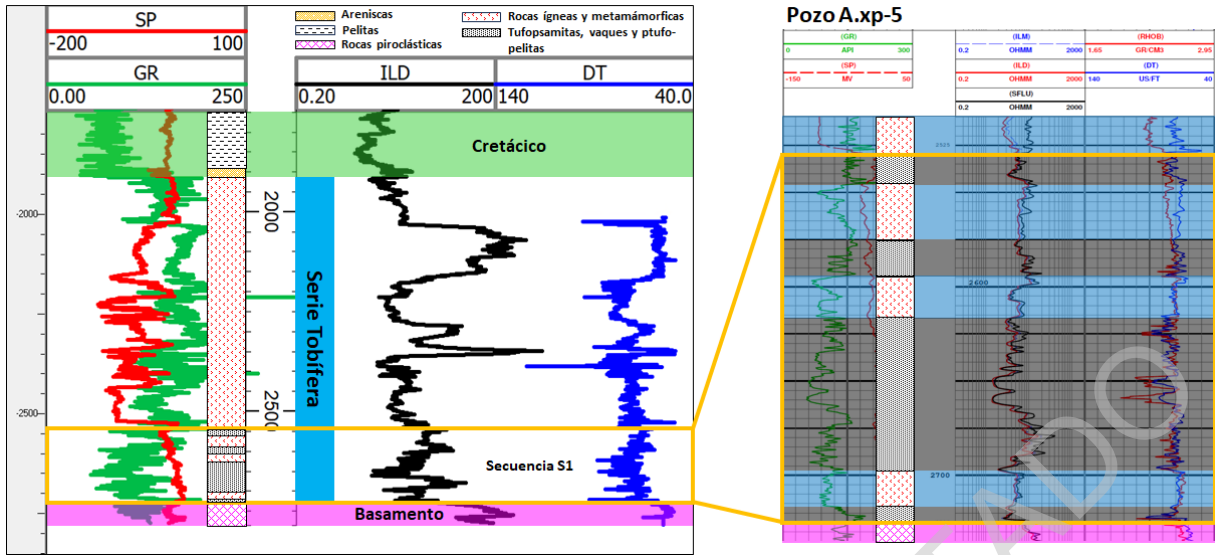
1197

1198

1199

1200

MANUSCRITO ACEPTADO



1201

1202 **Figura 5.**

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

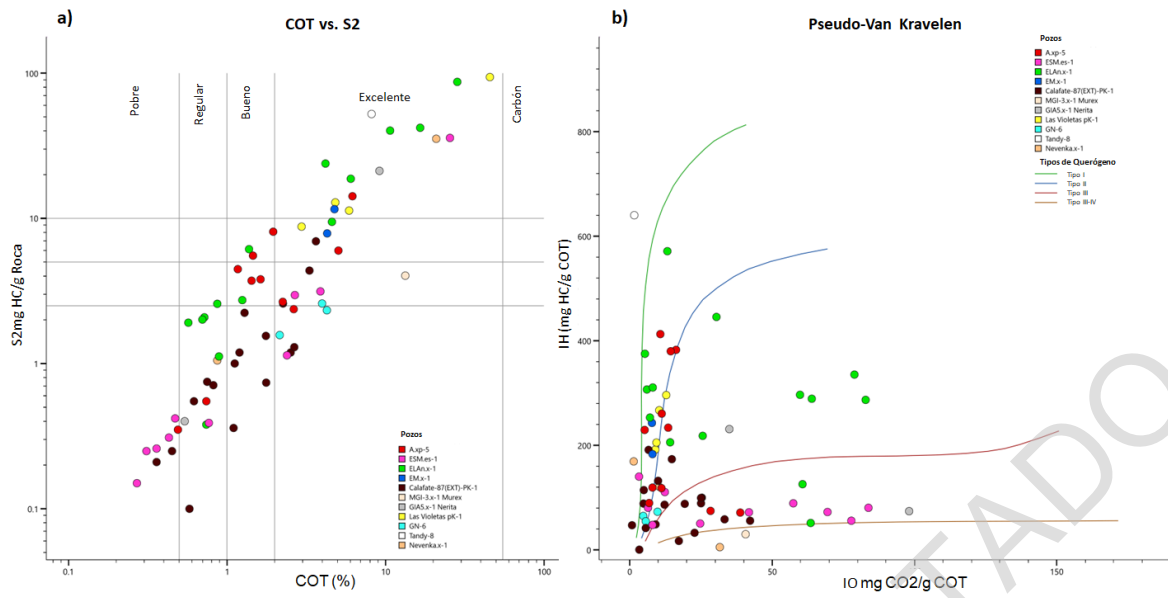
1210

1211

1212

1213

MANUSCRITO ACEPTADO



1214

1215 **Figura 6.**

1216

1217

1218

1219

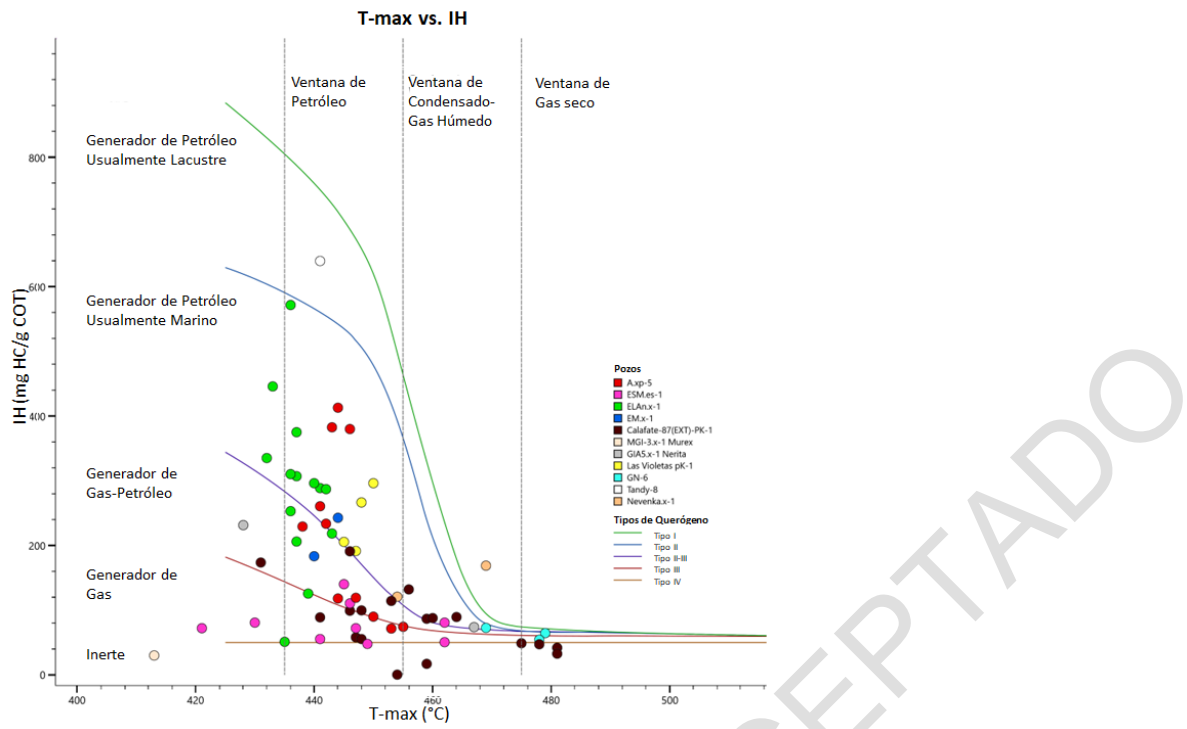
1220

1221

1222

MANUSCRITO ACETADO





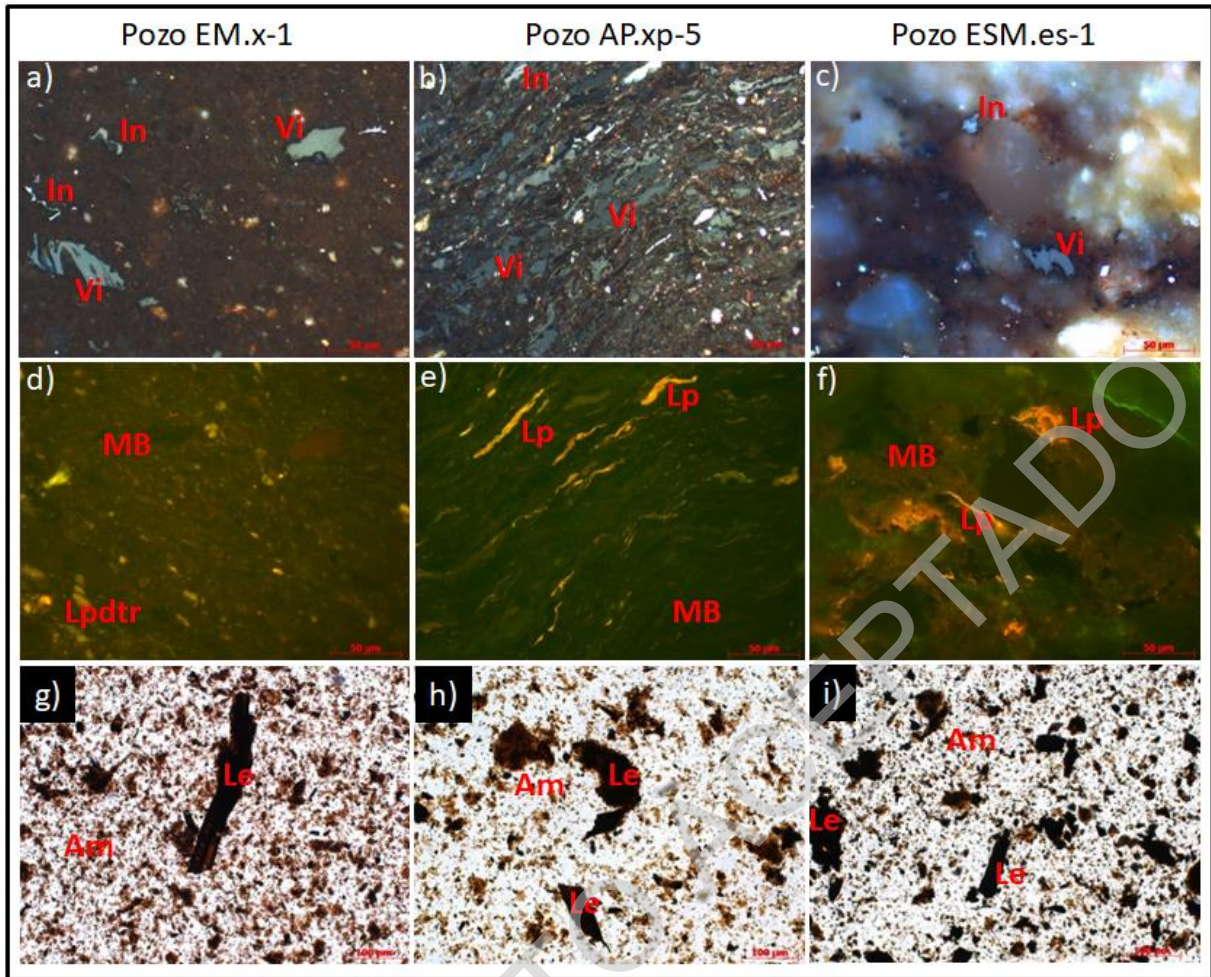
1223

1224 **Figura 7.**

1225

1226

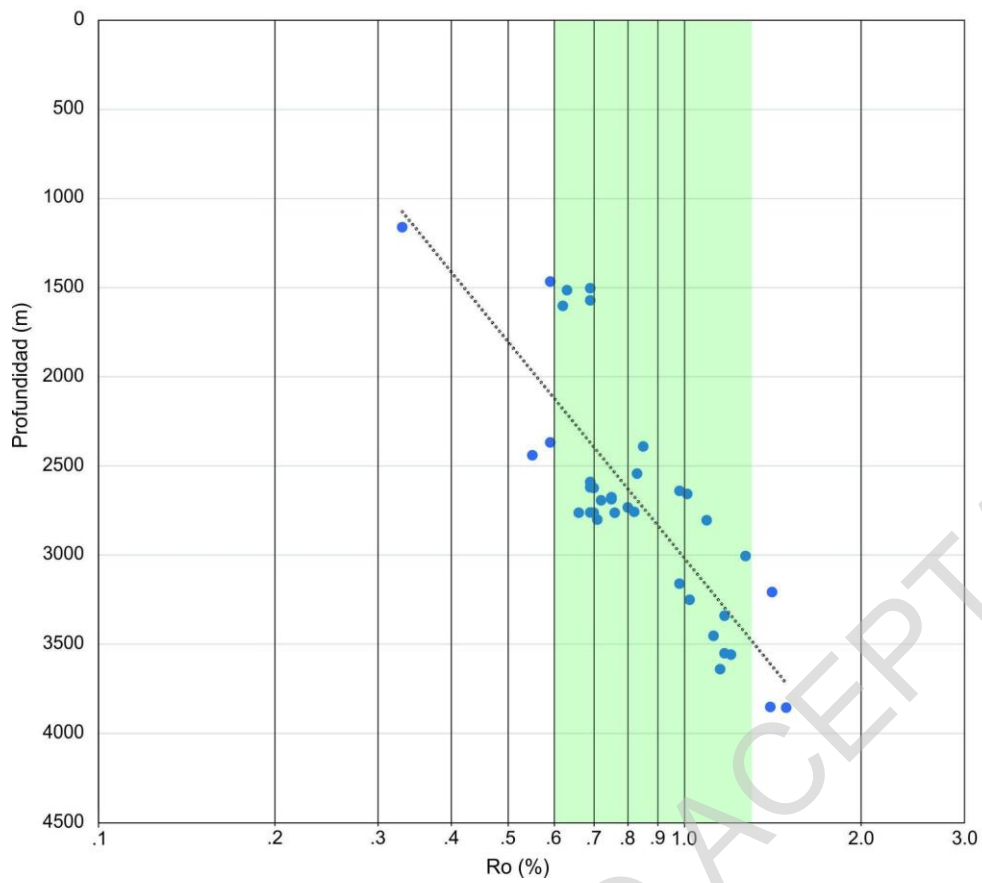
1227



1228

1229

Figura 8.



1230

1231 **Figura 9.**

1232

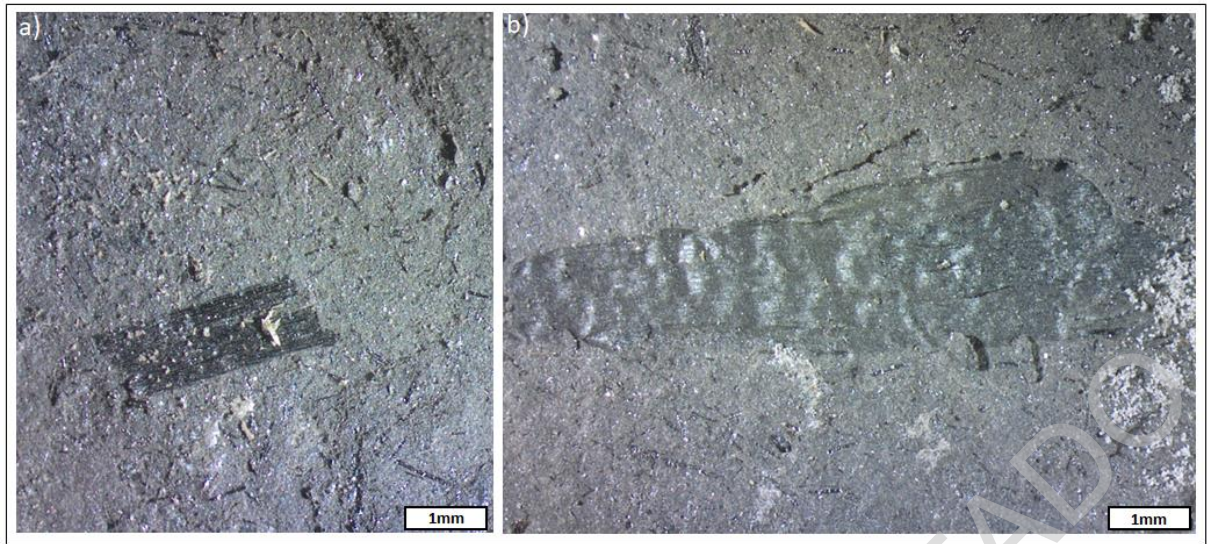
1233

1234

1235

1236

1237



1238

1239 **Figura 10.**

1240

1241

1242

1243

1244

1245

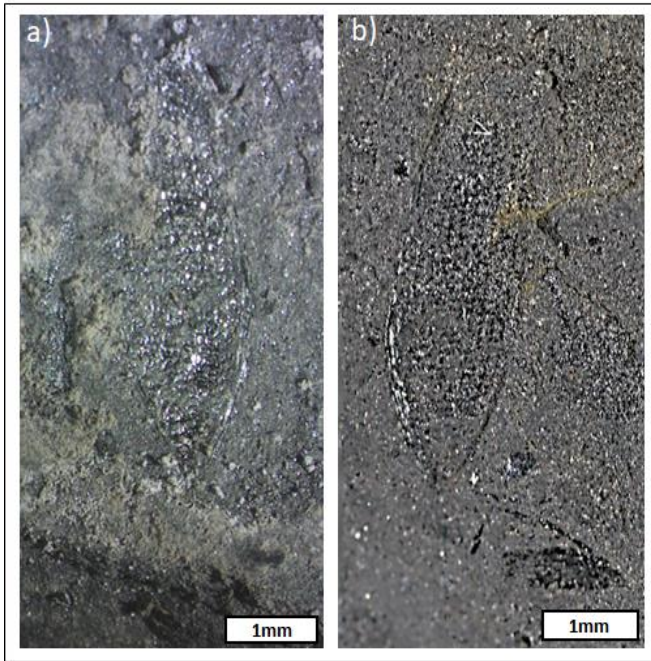
1246

1247

1248

1249

MANUSCRITO ACEPTADO



1250

1251 **Figura 11.**

1252

1253

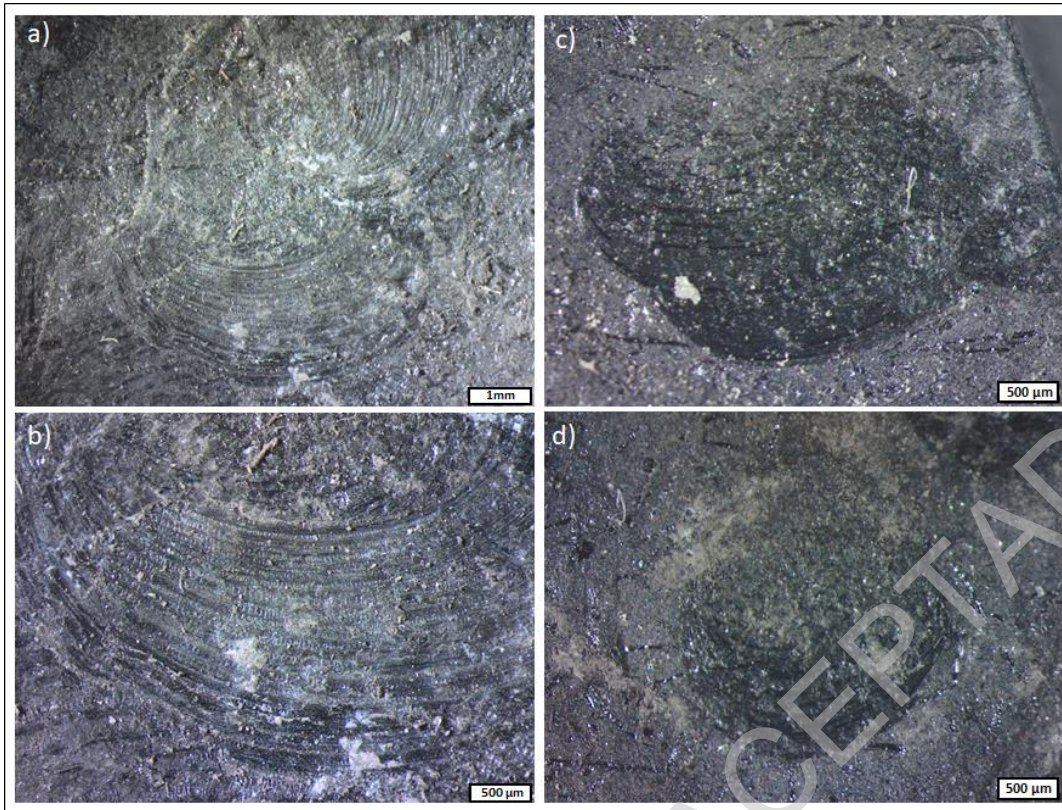
1254

1255

1256

1257

MANUSCRITO ACEPTADO



1258

1259 **Figura 12.**

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

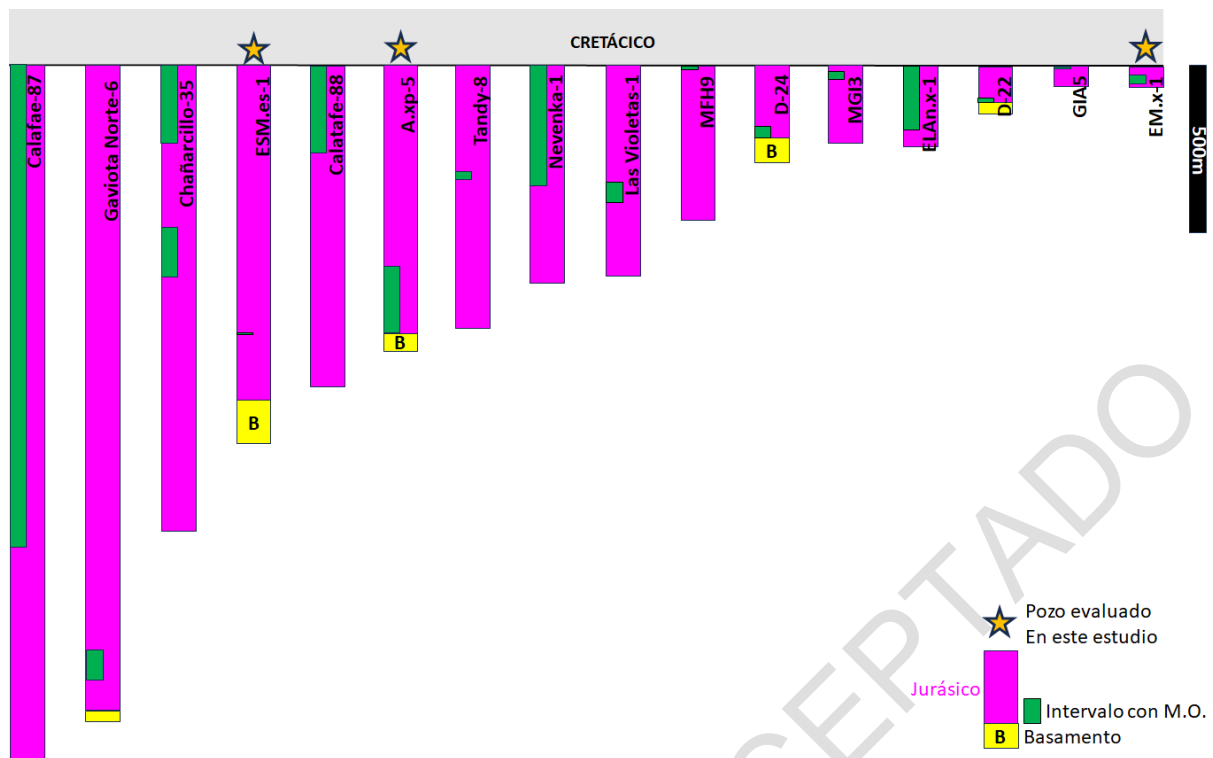


Figura 13.





2652.5	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2657.5	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2662.5	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2666.5	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2676.0	1.96	0.34	8.09	0.21	444	17	413	11	38.52	0.04	0.79	65	Tr	25	10	
2682.5	1.17	0.34	4.48	0.19	443	29	383	16	23.58	0.07	-	-	-	-	-	
2685.5	1.46	0.31	5.55	0.21	446	21	380	14	26.43	0.05	-	-	-	-	-	
2688.0	1.43	0.21	3.73	0.16	441	15	261	11	23.31	0.05	0.78	75	Tr	15	10	
2692.0	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2717.0	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2720.0	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

1268

1269 **Tabla 1.**

1270