

## Frio, Formación.....Paleógeno, Oligoceno medio-tardío

**Referencia(s):** Dumble, E.T., 1894, The Cenozoic deposits of Texas: Journal of Geology, 2(6), 549-567.

**Historia nomenclatural de la unidad:** Esta unidad fue propuesta originalmente con el nombre de lutita Frio (*Frio clays*) por Dumble (1894) a partir de la diferenciación de los depósitos terciarios de la costa de Texas (*Coastal Slope*). Dentro de la terminología geológica del sur de Texas esta unidad ha sido dividida en *Upper Frio*, *Middle Frio* y *Lower Frio* (Bebout *et al.*, 1975; Tayler y Han, 1982). De acuerdo con López-Ramos (1979) la Formación Frio es dividida en las subunidades Frio Marino (porción inferior) y Frio No Marino (porción superior) con base en la información derivada de las perforaciones en el sur de Texas y en la Cuenca de Burgos (noreste de México).

**Localidad tipo:** No documentada (GEOLEX, 2007). No obstante Dumble (1894) menciona que las exposiciones típicas de esta unidad se encuentran entre el arroyo Weedy (Weedy creek) y Oakville, sobre los ríos Atascosa y Frio y en nueces al sur de Tilden (Texas).

**Descripción litológica:** inicialmente Dumble (1894) describe a esta unidad como lutitas oscuras, gris-verdosas, rojas o azules, comúnmente masivas con presencia de yeso y concreciones calcáreas, arregladas linealmente por lo que tienen apariencia estratificada. Contiene además lutitas arenosas laminadas y estratificadas, verdes, rojas o azules, intercaladas con areniscas cafés y verdes, este paquete de rocas es cubierto por areniscas cafés y éstas a su vez son sobreyacidas por lutitas laminadas chocolate, las cuales contienen concreciones de caliza cristalina con dendritas. Barnes (1976 *en* GEOLEX, 2007) describe esta unidad como depósitos de arcilla gris-verdosa oscura, masiva con fragmentos de yeso y concreciones calcáreas. Loucks *et al.* (1979) señalan que la Formación Frio muestra la mayor variación regional en cuanto a composición mineral y documentan que en la porción sur de la provincia geológica Costa del Golfo de Texas (*Texas Gulf Coast*), las areniscas de la Formación Frio corresponden a litarenitas feldespáticas y arcosas líticas de grano fino, pobremente seleccionadas; en la parte media de dicha provincia geológica, las areniscas de la Formación Frio varían de moderada a bien clasificadas, son de grano fino y corresponden a arcosas líticas cuarcíticas; y finalmente en la porción norte de esta provincia las areniscas de esta formación, corresponden a arcosas líticas cuarcíticas y a subarcosas de grano fino y pobremente clasificadas. En México, Meneses-Gyves (1950) describe esta unidad como lutitas abigarradas cafés y verdes, arenas arcillosas y concreciones calcáreas. Posteriormente, López-Ramos (1979) menciona que esta unidad está formada por lutitas grises y rojizas, bentoníticas y con escasos lentes arenosos. Particularmente, este autor menciona que la subunidad Frio Marino está constituida por lutitas grises, verdes y cafés con abundantes foraminíferos, mientras que la subunidad Frio No Marino está formada por lutitas rojizas, grises y verdes con fragmentos de anhidrita y yeso, así como por varios cuerpos lenticulares de arenisca de grano fino a grueso, que en ocasiones son de composición calcárea. Esta subunidad se caracteriza por la carencia de fósiles. De acuerdo con la información de PEMEX (1988), la subunidad Frio Marino consiste de lutitas cuya coloración varía de café rojizo a gris verdoso, de composición bentonítica, calcárea y arenosa, las cuales alternan con cuerpos de arenisca de grano fino a mediano y arcillosa de 5 a 20 m de espesor; la relación de

lutita/arenisca es variable. Una descripción similar corresponde a la subunidad Frio No Marino, aunque cabe destacar que las lutitas se alternan con areniscas calcáreas y arcillosas de grano fino a mediano, en capas desde laminares (de varios milímetros) hasta capas de 20 cm de espesor, formando cuerpos de 315 m de potencia, en este caso la proporción de arenisca/lutita es similar.

**Espesores:** De acuerdo con Bebout *et al.* (1975) la Formación Frio se desarrolló asociada a un complejo sistema de fallas de crecimiento que indujeron un considerable incremento de su espesor; estiman que el espesor de esta unidad oscila entre 300 m y 3000 m. En la porción noroeste del área de Duval y el noroeste de Cos Live Oak, dentro de la provincia geológica de la Cuenca Costera del Golfo (*Gulf Coast Basin*), Texas, Barnes (1976 *en* GEOLEX, 2007) documenta para esta unidad cerca de 61 m de espesor. No obstante Bonnaffé *et al.* (2008) estiman un espesor total de esta unidad de 4500 m (15,000 pies) en esta misma provincia geológica de Estados Unidos. En la Cuenca de Burgos Meneses-Gyves (1950) menciona que el espesor de esta formación es de entre 500 m y 1,000 m; por otro lado, López-Ramos (1979) menciona que la subunidad Frio Marino en esta cuenca, tiene un espesor que varía de 30 m a 1000 m, siendo la parte oriental el área con mayor espesor (pozos Culebrón, Escobedo y Venadito); mientras que la subunidad Frio No Marino alcanza 1200 m de espesor en el campo de Reynosa, este autor añade que la Formación Frio puede alcanzar un espesor máximo de 4000 m. Finalmente, estimaciones de personal de PEMEX reportan 1000 m, de los cuales 700 m corresponden a la subunidad Frio Marino.

**Distribución:** La Formación Frio se distribuye en el sur de Texas (EE.UU.) donde ha sido ampliamente documentada (Dumble, 1894; Bebout *et al.*, 1975; Tayler y Han, 1982; Makowitz y Milliken, 2004; Hovorka *et al.*, 2004; Kharaka *et al.*, 2006a, 2006b; Hammes *et al.*, 2007; Zeng y Loucks, 2007; Barnes, 1976 *en* GEOLEX, 2007). Esta unidad ha sido reconocida por personal de PEMEX (1988) en la porción norte de la Cuenca de Burgos (noreste de México), específicamente la subunidad Frio Marino se presenta en el subsuelo del área de los Campos Reynosa, Monterrey y Cuitláhuac. Por otro lado, la subunidad Frio No Marino aflora en el km 51 de la carretera Reynosa-Monterrey y se extiende de norte a sur en una franja de 50 km de longitud y 2 km de amplitud, asociada al escarpe formado por el conglomerado Norma que le sobreyace.

**Relaciones estratigráficas:** En EE.UU. esta unidad cubre a la Formación Whisset del Grupo Jackson y subyace a la Formación Catahoula (Barnes, 1976 *en* GEOLEX, 2007). En México, existen varios registros de los límites de esta unidad, siendo el límite inferior concordante con la Formación Vicksburg (Rodríguez-Santana, 1969; López-Ramos, 1979; PEMEX, 1988); mientras que el límite superior ha sido documentado como discordantemente con la Formación Catahoula y con el conglomerado Norma (López-Ramos, 1979); sin embargo, información de PEMEX (1988) menciona que su relación con el conglomerado Norma es concordante.

**Contenido paleontológico:** Meneses-Gyves (1950) indica que en la base de esta formación se encuentran foraminíferos (*Textularia*, *Quinqueloculina*, *Siphonina*, *Cibicides*, *Lenticulina*), ostrácodos y abundantes semillas de *Chara*. Personal de PEMEX (1988) destaca la presencia de microforaminíferos pertenecientes a *Globorotalia opima opima*, *G. ciperoensis angulisuturalis*, *Hansawaia hazzardi*,

*Nodosaria blampiedi* y *Discorbis* sp., en la subunidad Frio Marino, mientras que la subunidad Frio No Marino carece de fósiles. La ausencia de fósiles en la subunidad Frio No Marino es también documentada por López-Ramos (1979).

**Ambiente de depósito:** Las condiciones de depósito de esta formación en el sur de Texas han sido ampliamente documentadas y representan ambientes de depósito diversos constituyendo un sistema sedimentario complejo; Bebout *et al.* (1975) reconocen varios sistemas depositacionales al sur de Texas (Hidalgo y Cameron Counties), entre los que se encuentran ríos, dunas (*strandplain*) y deltas (*high-constructive delta*); por otro lado, Taylor y Han (1982) reconocieron al este de Brazoria County parte de un sistema deltáico, que incluyen lóbulos, canales distributarios, planicies deltáicas, barras, etc. Para México, se han reconocido gran variedad de ambientes, Meneses-Gyves (1950) infiere condiciones marinas en la base de esta formación (Frio Marino). López-Ramos (1979) sugiere que esta formación inicialmente se depositó en condiciones costeras (Frio Marino), posteriormente ocurrió el depósito de sedimentos subcontinentales de aguas someras y lacustres (Frio No Marino). Más adelante Echanove-Echanove (1986) señala que a finales del Oligoceno Inferior y principios del Oligoceno medio, culmina la etapa transgresiva en la Cuenca de Burgos y se inicia una extensa regresión provocada por el levantamiento y rejuvenecimiento de áreas positivas situadas al poniente, lo que generó la retirada de los mares hacia el oriente y un gran transporte de sedimentos terrígenos hacia la cuenca por corrientes fluviales que favorecieron el establecimiento de ambientes continentales y mixtos, así como el depósito de la Formación Frio, entre otras unidades. Por otro lado, los datos litológicos y paleontológicos de PEMEX (1988), indican que la subunidad Frio Marino se depositó desde el nerítico externo hasta el salobre (equivalente a condiciones que van de plataforma externa a plataforma interna), mientras que las características litológicas de subunidad Frio No Marino parecen corresponder a depósitos costeros y lacustres de baja energía y muestran evidencia de periodos de evaporación. Recientemente, Hernández-Mendoza y Galloway (2001) describieron otra porción del sistema Frio que aflora en el sur de Texas y noreste de México, de acuerdo con estos autores un gran volumen de depósitos clásticos constituyen un sistema deltáico, donde los sedimentos del frente deltáico fueron retrabajados y transportados por el oleaje y corrientes costeras a lo largo de la antigua costa, formando *strandplains* alargados cerca de las barras y dentro de los cuerpos de arena.

**Edad:** Los depósitos terciarios de la Formación Frio en el sur de Texas son subdivididos con base en su contenido micropaleontológico, el cual permitió establecer las biozonas de *Anomalina bilateralis*, *Textularia mississippiensis*, *Nodosaria blampiedi*, *Nonion struma*, *Cibicides hazzardi* y *Marginulina vaginata*, todas ellas dentro de la parte superior del Oligoceno (Bebout *et al.*, 1975). En México la edad de esta formación varía del Oligoceno Medio al Oligoceno Tardío y ha sido establecida con base en el conjunto de microfósiles reconocido, así como en su posición estratigráfica (PEMEX, 1988).

**Correlación:** En el caso de México, López-Ramos (1979) menciona que hacia el oriente y sur de la Cuenca de Burgos parte de esta unidad (Frio No Marino) se interdigital con la Formación Anáhuac, mientras que hacia el occidente es equivalente al conglomerado Norma.

**Importancia económica:** En los EE. UU. esta unidad ha sido importante productora de hidrocarburos, Galloway *et al.* (1982 en Taylor y Han, 1982) estimaron una producción de 60 Tcf de gas y alrededor de 6 Bbbl de petróleo; recientemente, Bonnaffé *et al.* (2008) estiman que más de 70 Tcf de gas y 8 Bbbl de petróleo han sido producidas de la Formación Frio (particularmente de las areniscas de la parte superior, Upper Frio o Frio No Marino). Por otro lado, Spencer y Barrett (2007) mencionan que importantes reservorios de gas en esta unidad se localizan en la isla de Mustang y, corresponden a depósitos de areniscas de plataforma pertenecientes a la subunidad Upper Frio, así como a areniscas fluvio-deltáicas de la parte media de esta formación. De acuerdo con López-Ramos (1979) y la información de PEMEX (1988), los cuerpos arenosos de la Formación Frio (Marino) son productores de hidrocarburos en la Cuenca de Burgos (Noreste de México). En el informe de PEMEX (1988) se agrega que los cuerpos arenosos de la subunidad Frio No Marino con porosidades entre 9% y 28% son importantes productores de gas y condensado en la porción norte de la Cuenca de Burgos, particularmente en los campos Reynosa, Cuitláhuac, Berrendo, Monterrey y Brasil, entre otros. De acuerdo con estimaciones recientes por parte de personal del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS) los cuerpos de arenisca Frio-Vicksburg concentran potencialmente alrededor de 6.6 tpcg de gas no asociado en la Cuenca de Burgos (USGS, 2004). Cabe destacar que desde hace unos años la Cuenca de Burgos se convirtió en el campo productor de gas no asociado más importante de México, en el cual de acuerdo con Ávalos-Torres *et al.* (2007) los reservorios se ubican en rocas clásticas del Eoceno y Oligoceno, particularmente dentro de la Formación Frio y se caracterizan por su profundidad (125 a 645 m) y producción, además tienen espesores que varían de 3 a 18 m.

**Estado nomenclatural:** Esta unidad se apega a los lineamientos utilizados para denominación de unidades litológicas al momento de su publicación, por lo que se considera una unidad formal. De acuerdo con los datos disponibles de la Base Nacional de Datos de Cartografía Geológica de EE.UU. (National Geologic Map Database), el nombre de esta unidad es Lutita Frio o Formación Frio, ambos términos son reconocidos por el USGS; sin embargo, el nombre de Formación Frio es actualmente utilizado de manera amplia en la literatura geológica, por lo que esta denominación se considera más apropiada para su uso.

**Comentarios adicionales:** Estudios sobre la porosidad, propiedades físicas, arquitectura estratigráfica y facies de esta unidad han sido realizados por Rodríguez-Santana (1969), Bebout *et al.* (1975), Loucks *et al.* (1979), Land y Milliken (1981), Lundegard *et al.* (1984), Makowitz y Milliken (2004), Hammes *et al.* (2007), Zeng y Loucks (2007), Boswell *et al.* (2009) en depósitos del sur de Texas y norte del Golfo de México. Estudios geológicos detallados de esta unidad fueron realizados por Bebout *et al.* (1975) con la intención de evaluar las posibilidades de generar energía geotérmica. En los últimos años, diversos estudios se han enfocado a investigar y experimentar el potencial de esta unidad (y sus acuíferos salinos) como posibles depósitos de CO<sub>2</sub> derivado de la actividad humana (Doughty *et al.* 2001; Hovorka *et al.*, 2001; Hovorka *et al.*, 2004; Kharaka *et al.*, 2006a; Kharaka *et al.*, 2006b). Uno de los estudios más recientes en el norte del Golfo de México permitieron a Boswell *et al.* (2009) reconocer

acumulaciones de compuestos de agua y gas (*gas hydrate*) en depósitos arenosos de esta unidad (estos compuestos tienen un gran potencial como futuras fuentes de energía).

**Unidad analizada por:** Juárez-Arriaga, E.

**Última actualización:** Marzo 2010

**Citas bibliográficas:**

- Avalos-Torres, H., Alvarez-Maya, V.M., Téllez-Aviles, M.H., Morales-Leal, M., Bernal-Monjaras, J., 2007, Findings, Interpretations and Potential of the Shallowest Reservoirs in Burgos Basin, México (en línea): en 57th annual convention of the Gulf Coast Association of Geological Societies, American Association of Petroleum Geologists regional meeting, and the 54th annual meeting of the Gulf Coast Section of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), <<http://www.searchanddiscovery.net/abstracts/html/2007/gcags/abstracts/avalos.htm>>, consulta: febrero 2010.
- Bebout, D.G., Agagu, O.K., Dorfman, M.H., 1975, Regional sand distribution of the Frio Formation south Texas – a preliminary step in prospecting for geothermal energy: Austin, Texas, EE.UU., Bureau of Economic Geology of Texas, The University of Texas at Austin, United States Department of Energy, Report No. CONF-750612—2, 31 p.
- Bowling, L., Wendler, P.A., 1933, Detailed study of some beds, commonly known as Catahoula Formation, in Fayette County, Texas, with particular reference to their age: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist, 17(5), 526-547.
- Bonnaffé, F.L., Hammes, U., Carr, D.L., Brown, L.F., 2008, High-Resolution Sequence Stratigraphic Correlations of the Oligocene Frio Formation in South Texas (en línea): en Joint Meeting of The Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, <[http://gsa.confex.com/gsa/2008AM/finalprogram/abstract\\_151338.htm](http://gsa.confex.com/gsa/2008AM/finalprogram/abstract_151338.htm)>, consulta: febrero 2010.
- Boswell, R., Shelander, D., Lee, M., Latham, T., Collett, T., Guerin, G., Moridis, G., Reagan, M., Goldberg, D., 2009, Occurrence of gas hydrate in Oligocene Frio sand: Alaminos Canyon Block 818: Northern Gulf of Mexico: Marine and Petroleum Geology, 26(8), 1499-1512.
- Doughty, C., Pruess, K., Benson, S.M., Hovorka, S.D., Knox, P.R., Green, C.T., 2001, Capacity investigation of brine-bearing sands of the Frio Formation for geologic sequestration of CO<sub>2</sub>. Lawrence Berkeley National Laboratory: Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL Paper LBNL-48176, <<http://escholarship.org/uc/item/8fk4576v>>, consulta: enero de 2010.
- Dumble, E.T., 1894, The Cenozoic deposits of Texas: Journal of Geology, 2(6), 549-567.
- Echanove-Echanove, O., 1986, Geología petrolera de la Cuenca de Burgos (Parte I) consideraciones geológico-petroleras: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos petroleros, 38(1), 3-39.
- GEOLEX Database, 2007 (en línea): United States Geological Survey (USGS), National Geologic Map Database, <[http://ngmdb.usgs.gov/Geolex/NewRefsmry/sumry\\_8208.html](http://ngmdb.usgs.gov/Geolex/NewRefsmry/sumry_8208.html)>, consulta: enero de 2010.
- Hammes, U., Zeng, H., Loucks, R., Brown, F., 2007, All fill—no spill: slope-fan sand bodies in growth-faulted subbasins, Frio Formation, South Texas Gulf Coast (resumen): American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention Abstracts, 16, p. 59.
- Hernández-Mendoza, J.J., Galloway, W., 2001, The Oligocene Frio Depisode in the Subsurface of Burgos Basin, Northeastern Mexico (en línea): en American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention, <<http://www.searchanddiscovery.net/abstracts/html/2001/annual/abstracts/0333.htm>>, consulta: febrero 2010.
- Hovorka, S.D., Doughty, C., Holtz, M., 2004, Testing efficiency of storage in the subsurface: Frio brine pilot experiment. Lawrence Berkeley National Laboratory: Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL Paper LBNL-55730, <<http://escholarship.org/uc/item/8db8500p>>, consulta: febrero 2010.
- Hovorka, S.D., Doughty, C., Knox, P.R., Green, C.T., Pruess, K., Benson, S.M., 2001, Evaluation of brine-bearing sands of the Frio formation, upper Texas gulf coast for geological sequestration of CO<sub>2</sub>, en First National Conference on Carbon Sequestration, Washington, D.C., EE.UU., National Energy Technology Laboratory, p. 1-13.
- Kharaka, Y.K., Cole, D.R., Hovorka, S.D., Gunter, W.D., Knauss, K.G., Freifeld, B.M., 2006a, Gas-water-rock interactions in Frio Formation following CO<sub>2</sub> injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins: Geology, 34(7), 577-580.

- Kharaka, Y.K., Cole, D.R., Thordsen, J.J., Kakouros, E., Nance, H.S., 2006b, Gas–water–rock interactions in sedimentary basins: CO<sub>2</sub> sequestration in the Frio Formation, Texas, USA: *Journal of Geochemical Exploration*, 89, 183-186.
- Land, L.S., Milliken, K.L., 1981, Feldspar diagenesis in the Frio Formation, Brazoria County, Texas Gulf Coast: *Geology*, 9(7), 314-318.
- López-Ramos, E., 1979, *Geología de México*: México, D.F., Tomo 2, 454 p.
- Loucks, R.G., Dodge, M.M., Galloway, W.E., 1979, Sandstone consolidation analysis to delineate areas of high-quality reservoirs suitable for production of geopressured geothermal energy along the Texas Gulf Coast: Austin, Texas, EE.UU., Bureau of Economic Geology of Texas, The University of Texas at Austin, the Division of Geothermal Energy, United States Department of Energy, Contract No. EG-77-5-05-5554.
- Lundegard, P.D., Land, L.S., Galloway, W.E., 1984, Problem of secondary porosity: Frio Formation (Oligocene), Texas Gulf Coast: *Geology*, 12(7), 399-402.
- Makowitz, A., Milliken, K.L., 2004, Brittle Deformation During Burial Compaction: An Elusive Porosity Reduction Mechanism (resumen), en AAPG Hedberg Conference Structural Diagenesis: Fundamental Advances and New Applications from a Holistic View of Mechanical and Chemical Processes, Austin, Texas, EE.UU., American Association of Petroleum Geologists, p. 1-2.
- Meneses-Gyves de, J., 1950, Zonas micropaleontológicas del Oligoceno del noreste de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 2(1), 71-81.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988, *Estratigrafía de la República Mexicana, Cenozoico*, Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, 136 p.
- Rodríguez-Santana, E., 1969, Sedimentos del Oligoceno de la Cuenca de Burgos; aspecto regional, en *Memoria del Seminario sobre Exploración Petrolera, Mesa Redonda No. 1, Problemas de Exploración de la Cuenca de Burgos*: México, D.F., Instituto Mexicano del Petróleo, MR1(2), 205-226.
- Spencer, J.A., Barrett, E., 2007, Exploration History of the Northern Mustang Island, Gulf of Mexico, Texas State Waters (en línea): en 57th annual convention of the Gulf Coast Association of Geological Societies, American Association of Petroleum Geologists regional meeting, and the 54th annual meeting of the Gulf Coast Section of SEPM, <<http://www.searchanddiscovery.net/abstracts/html/2007/gcags/abstracts/spencer.htm>>, consulta: febrero 2010.
- United States Geological Survey (USGS), 2004, Evaluación de los Recursos Potenciales de Petróleo y Gas en la Provincia de la Cuenca de Burgos, México Nororiental, 2003, Hoja Informativa del Proyecto Evaluativo de la Energía Mundial, U.S. Department of the Interior, 2 p.
- Taylor, N., Han, J.H., 1982, Elements of high constructive deltaic sedimentation, Lower Frio Formation, Brazoria County, Texas: Bureau of Economic Geology of Texas, The University of Texas at Austin, United States Department of Energy, Contract No. DE-AC08-79ET27111, Report No. CONF-821009 -2, DE82 016920, 32 p.
- Zeng, H., Loucks, R.G., 2007, Seismic Sedimentological Expression of Higher-Order Lowstand Slope Fans and Prograding Deltas in the Frio Formation, Corpus Christi Bay, Texas (en línea): en 57th annual convention of the Gulf Coast Association of Geological Societies, American Association of Petroleum Geologists regional meeting, and the 54th annual meeting of the Gulf Coast Section of SEPM, <<http://www.searchanddiscovery.net/abstracts/html/2007/gcags/abstracts/zeng.htm>>, consulta: febrero 2010.