

10.2 $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en la sección Potosí 3

La relación de $\delta^{18}\text{O}$ en éste perfil varía en los intervalos de -6.52‰ a $+2.54\text{‰}$ (Fig. 26). Éstos valores son demasiado pesados (positivos) para ser asociados con estadios de baja evaporación (Palacios-Fest *com. pers.*, 2002). Las muestras con valores positivos alrededor de $+2\text{‰}$ del $\delta^{18}\text{O}$ son controvertidas, ya que en la literatura consultada para varios sitios de Norte América no se encontraron localidades con esos valores (i.e. Amundson et. al., 1996; Yu et. al., 1997; Baker et. al., 1998 y Leuschner y Sirocko, 2000), a excepción de valores positivos ($+2\text{‰}$ a 4‰) para el $\delta^{13}\text{C}$ del Lago Chewaucan, (Oregon) de reportados por Palacios-Fest et. al., (1993). Sin embargo, Rosenmeier et. al., (2002 a,b) documentaron valores superiores (más pesados) de $+1.2\text{‰}$ a $+5.6\text{‰}$ para los lagos Slapetém y Petén Itzá (Guatemala) durante el Holoceno.

Considerando las fluctuaciones del $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$, se destacan seis intervalos en este perfil. En el intervalo 650-640 cm (hacia la superficie) donde los valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ (-4.21‰), podrían indicar un aporte de material orgánico terrestre o flotante hacia el lago (Pearson y Coplen, 1978). Para el intervalo 640-460cm el empobrecimiento de $\delta^{18}\text{O}$ ($\sim -5.31\text{‰}$) y el relativo enriquecimiento en el contenido de $\delta^{13}\text{C}$ ($\sim -0.08\text{‰}$), indicarían condiciones de permanencia o "estancamiento" del agua y una alta bioproducción (Meyers, 1997). El valor positivo de $\delta^{13}\text{C}$ en el intervalo 330-300cm de -1.25‰ a $+1.15\text{‰}$, indicaría que el contenido isotópico fue modificado por intercambio del agua del lago con el CO_2 atmosférico, reflejando valores del carbono inorgánico disuelto (Li y Ku, 1997), los picos positivos tanto de $\delta^{13}\text{C}$ como $\delta^{18}\text{O}$, en éste intervalo, aparentemente están asociados a un periodo de alta evaporación y un tirante de agua muy somero así como por la actividad biológica y/o el tiempo de residencia del agua en el lago (Siegenthaler y Eicher, 1986). La asociación de fauna de ostrácodos en el intervalo 330-300 cm hacia la superficie concuerda con la interpretación de una alta evaporación. Sin embargo, se requiere información detallada sobre éstos valores positivos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ para confirmar ésta hipótesis. Según Siegenthaler y Eicher, (1986) la evaporación y por lo tanto el enriquecimiento en $\delta^{18}\text{O}$ se incrementarán conforme aumente la temperatura. Para el intervalo 290-160cm el $\delta^{18}\text{O}$ presenta condiciones lacustres relativamente estables con un ligero enriquecimiento a los 260-270 cm (-1.88‰) y 220-230 (-1.35‰); mientras que el $\delta^{13}\text{C}$ de -3.92‰ a -5.11‰ , señalaría la fase menos productiva de la sección. La fase lacustre es también indicada por la presencia de ostrácodos de los géneros *Limnocythere* sp. y *Candona ohioensis*. Hacia los 150-100 cm, el $\delta^{18}\text{O}$ sigue un patrón similar al que se presenta en la base de la sección, donde el $\delta^{18}\text{O}$ es más empobrecido que el $\delta^{13}\text{C}$. Ambos podrían indicar una bioproducción relativamente estable y un tirante de agua mayor que el intervalo anterior.

A partir de los 90 a 60 cm $\delta^{13}\text{C}$ (-5.46 ‰ a -3.8‰) muestra una ligera tendencia de aumento en la productividad y podría sugerir poca variación en la bioproducción en relación a los intervalos anteriores. Al parecer vuelven a presentarse oscilaciones en el nivel de agua del lago ($\delta^{18}\text{O}$ de -5.4‰ a -3.45‰)

Aún cuando la interpretación de $\delta^{13}\text{C}$ en sistemas lacustres es muy compleja, los datos aparentemente reflejan la productividad de la cuenca, posiblemente asociada a la vegetación (Pearson y Coplen., 1978). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de Potosí 3 muestran que el paleolago fue más productivo en la parte inferior que en la superior. Ambos isótopos parecen indicar cambios de condiciones relativamente cálidas y húmedas a cálido-secas con periodos de alta evaporación (sequías), volviendo a cálido-húmedas y posteriormente cálido-secas hoy en día.

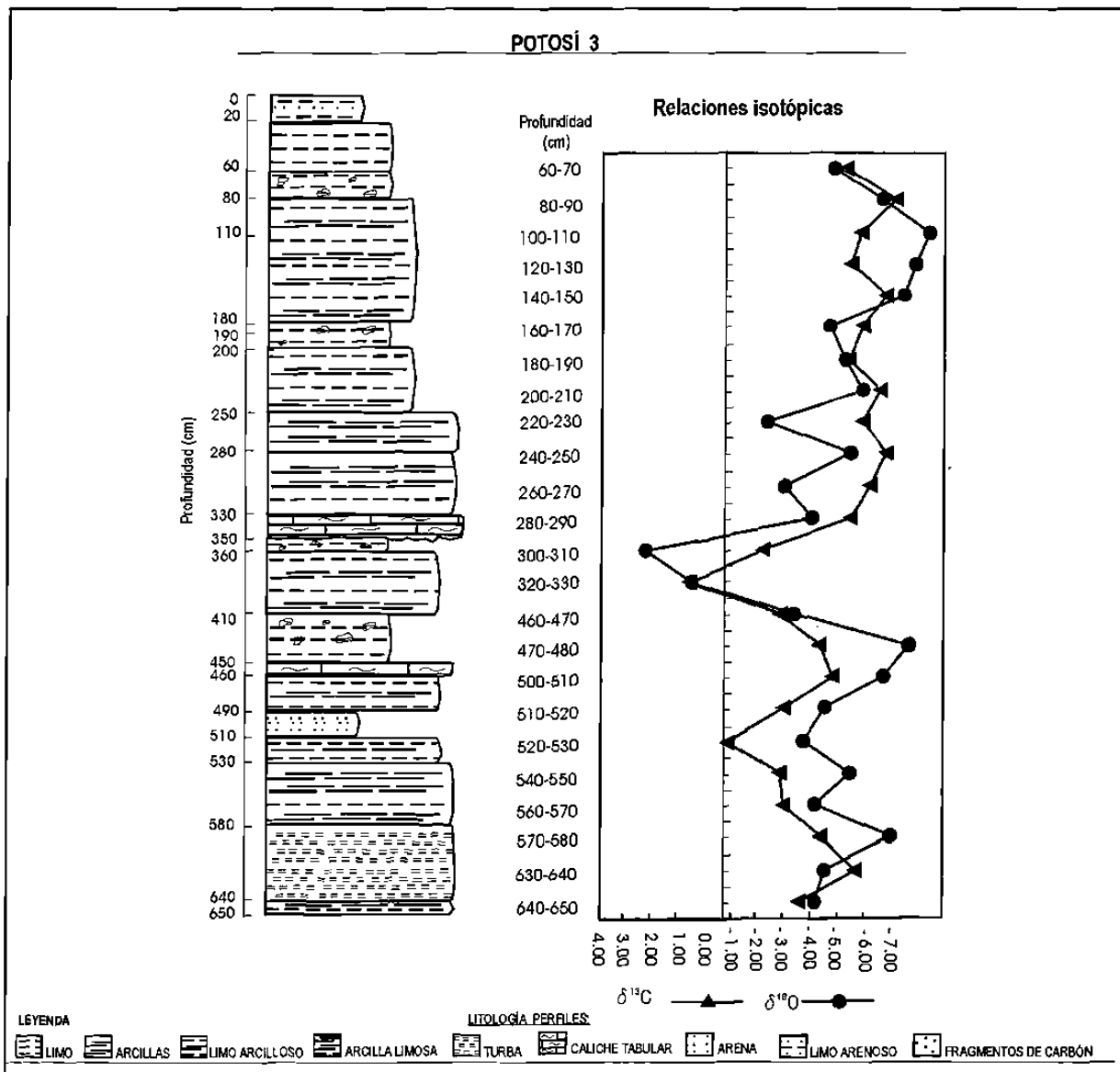


Figura 26. Tendencias comparativas de datos sedimentológicos y de isótopos estables de la sección Potosí 3. Consultar texto para la explicación.

10.3 $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en la sección Enebros

La curva de $\delta^{18}\text{O}$ muestra dos patrones bien definidos, separados por valores aparentemente independientes, que varían de los -8.70‰ a -1.94‰ (Fig. 27). El patrón inferior (470-260 cm hacia la superficie), tiene valores entre -5.10‰ y -8.70‰ , con un valor promedio de -7.5‰ , los que podrían considerarse pesados para el Pleistoceno. El patrón superior (90-50 cm) constituido por 4 valores que oscilan entre -1.4‰ y -2.18‰ , son aún más pesados que los anteriores, probablemente indicando condiciones secas. Si lo anterior se compara con las proporciones del $\delta^{13}\text{C}$ (-3.76‰ a -5.60‰), podría relacionarse un periodo de sequía con una disminución en la productividad, como sucedió en dos intervalos (290-160cm y 90-60 cm) de Potosí 3. En los isótopos de oxígeno existen pulsos donde se presenta un empobrecimiento $\delta^{18}\text{O}$ en 380-390 cm (-8.70‰) y 400-410 cm (-8.02‰) podrían estar relacionados a períodos de dilución de las aguas a consecuencia de lluvias. Los valores bajos del $\delta^{18}\text{O}$ para el CaCO_3 precipitado, indican condiciones húmedas (Leuschner y Sirocko, 2000).

Los patrones de $\delta^{13}\text{C}$ en la sección, varían sólo en una relación de $\sim -2.5\text{‰}$ entre la parte inferior y la superior donde son más negativos (-5.60‰). Valores de $\sim -0.96\text{‰}$ a 1.54‰ durante la etapa inferior indican que la paleoproductividad del lago fue poco variable, destacando tres pulsos: (1) el pulso basal que permanece alrededor de -3‰ (con un pico negativo a los 440-450 cm); (2) el pulso medio que oscila entre -3.7‰ y -4.5‰ (con un pico negativo de -5.1‰ a los 380-390 cm) y (3) un pulso superior (340-110 cm) con valores pesados de $\sim -3\text{‰}$. Éstos patrones pueden estar asociados a variaciones en la materia orgánica y productividad. El patrón superior de $\delta^{13}\text{C}$, no difiere en gran medida con la secuencia inferior, más tiende a empobrecerse ($\sim -5\text{‰}$), lo cual indica una disminución en la productividad del lago. Para los valores del $\delta^{13}\text{C}$ en el intervalo 190-180cm y 140-130 cm, existe una segunda posible explicación y es que reflejen la disponibilidad del Carbono Inorgánico Total (TIC) y la alcalinidad/salinidad del lago. Cambios similares a valores menos negativos de $\delta^{13}\text{C}$ en valvas de ostrácodos, han sido documentadas en el Lago Williams, Minnesota, el cual se volvió hidrológicamente aislado de los arroyos locales, incrementando el tiempo de residencia de sus aguas (Schwalb et.al., 1995 en Meyers, 1997). Yu et al., (1997) reportan también valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -2‰ y -6‰ para el Lago Crawford (Ontario), durante el Holoceno Tardío y Medio. En estos casos los valores del $\delta^{13}\text{C}$ tienden a empobrecerse hacia el presente. En resumen, la señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en la sección Enebros, permite inferir que el clima muestra cambios de condiciones cálido-húmedas hacia secas, con periodos de alta evaporación (sequía) y una ligera disminución en la productividad del lago.

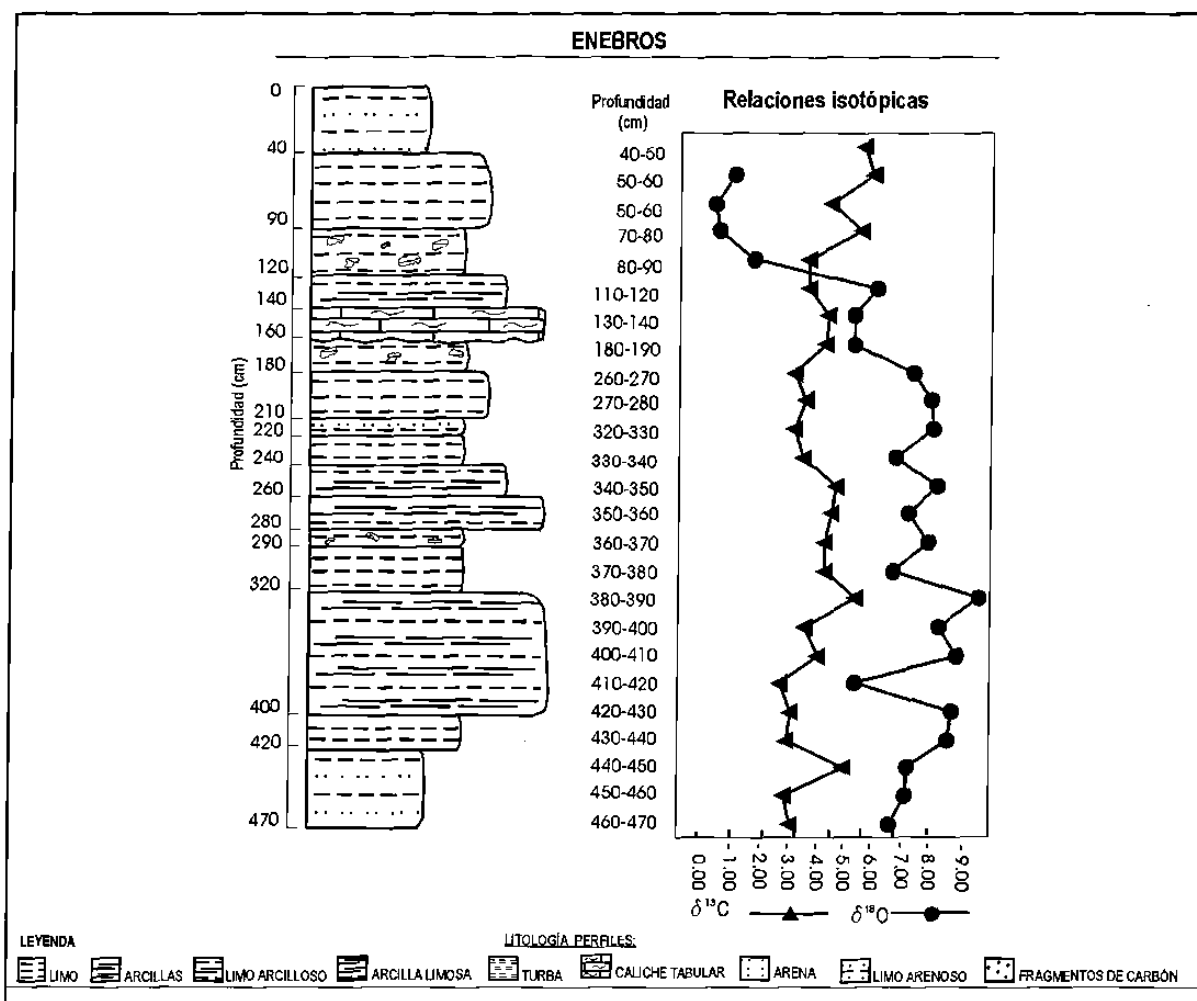


Figura 27. Tendencias comparativas de datos sedimentológicos y de isótopos estables de la sección Enebras.

Consultar texto para la explicación.

9.4 Discusión y Conclusiones

En general, las dos localidades parecen indicar que la variación de los isótopos en las conchas de ostrácodos responde a cambios ambientales. Mientras que es obvio que las variaciones en el $\delta^{18}\text{O}$ reflejan cambios climáticos, es necesario considerar a tales variaciones principalmente como registros isotópicos de paleoprecipitación y restringirlos a una interpretación cualitativa (Siegenthaler y Eicher, 1986). Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y la precipitación en Norte América forman un patrón que sostiene una marcada correlación con la dominancia relativa de los principales patrones de circulación de vientos. La disminución en el valor de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas meteóricas de los océanos al interior del continente, tanto en el Pacífico como el Golfo de México, corresponde predominantemente a los patrones de circulación de verano (Amundson et al., 1996). Las conchas más enriquecidas en $\delta^{18}\text{O}$ corresponden a periodos donde la evaporación fue alta y, por lo cual, las aguas del lago se enriquecieron en éste isótopo

(Pearson y Coplen, 1978). En lugares áridos, un significativo empobrecimiento en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ es observado en los carbonatos al incrementarse su profundidad (Amundson y Lund, 1987; Quade et al., 1989, en Amundson et al., 1996). Éste mismo fenómeno se observa en ambas secciones y siendo más característico en Enebras, donde los valores de $\delta^{18}\text{O}$ varían alrededor de -3% a -7% .

Tanto en Potosí 3 como en Enebras se considera que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ reflejan variaciones en la vegetación y en la profundidad del agua. En general, durante episodios climáticos fríos los valores de $\delta^{13}\text{C}$ son más positivos, con sedimentos orgánicos que están siendo derivados del fito y zooplancton. Por lo tanto, valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ indican un influjo de material terrestre y flotante (Pearson y Coplen., 1978). Las variaciones de $\delta^{13}\text{C}$ son aparentemente covariantes con aquellas del $\delta^{18}\text{O}$ (principalmente en el perfil Enebras), al no haber una influencia directa del clima sobre el $\delta^{13}\text{C}$, lo anterior sugiere una conexión indirecta. Una explicación es que la productividad de la vegetación acuática respondió al cambio ambiental con una relativamente alta actividad biológica en fases cálidas, lo que permitió un enriquecimiento del $\delta^{13}\text{C}$ en las aguas del lago (Fig. 43).

Lo anterior sugiere que bajo ciertas condiciones el $\delta^{13}\text{C}$ debe ser un indicador de paleoproduktividad del lago (Siegenthaler y Eicher, 1986). Si los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de entre -6.0% a 3.5% PBD están en efecto asociadas con la presencia de vegetación C4 en el sitio, se esperaría que los intervalos involucrados coincidirían con periodos de alta insolación en verano y la dominancia de pastos tropicales (Desmachelier et al., 2000). Las señales isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ de los Enebras y Potosí 3 contienen valores de este tipo y concuerdan con intervalos que contienen pastos (Gramíneas). La vegetación C4 es dominante poco después de que los periodos de insolación alcanzaron el máximo, condición que favorece su dominancia (Teeri y Stowe, 1976; Tieszen et al., 1979 en Desmachelier et al., 2000), más la disponibilidad de una alta humedad durante la época de crecimiento de las plantas favorece que tanto tipos de vegetación C3 como C4 se desarrollen (Desmachelier et al., 2000). El diagrama de polen de Enebras (Fig. 21), muestra que existe un buen porcentaje de vegetación tipo C3, por lo cual, se requiere un análisis detallado para identificar los cambios en los tipos de vegetación relacionados a los valores de $\delta^{13}\text{C}$. Los cambios a valores más pesados en $\delta^{18}\text{O}$ en ambas secciones, podrían también, deberse a un incremento en la cobertura vegetal que provocó un incremento en la evapotranspiración (Rosenmeier et al., 2002 a). Aparentemente, basándose en los isótopos estables de ^{18}O y ^{13}C es posible establecer correlaciones entre ambos perfiles, más se requiere de fechamientos para una correlación apropiada.

11 Geoquímica Orgánica: Carbono Orgánico Total

11.1 Introducción

La determinación del Carbono Orgánico Total (COT) en los sedimentos orgánicos permite conocer las fuentes principales de aportación de materia orgánica y el estado en que se encuentra. En el área continental, los lagos reciben un gran aporte de nutrientes, particularmente los pequeños que llegan a ser más productivos que los de mayor tamaño. Debido a diferencias en productividad y tasa de sedimentación, los depósitos lacustres usualmente son más ricos en materia orgánica (MO) que los marinos (Meyers, 1997). Las principales fuentes de MO hacia los sedimentos lacustres son:

(1) el fitoplancton (materia orgánica primaria), que a través de procesos biosintéticos utiliza energía solar capturada por pigmentos fotosensitivos, para convertir el carbono inorgánico disuelto y los nutrientes en materia orgánica; y

(2) detritos de plantas terrestres (materia orgánica secundaria) que son la fuente adicional. La materia orgánica animal es raramente una fracción significativa. El aporte de MO de las dos fuentes principales es influenciado por la productividad y los procesos de transporte en la cuenca (Meyers, 1997).

La preservación de MO está -entre otros factores- en función del contenido de oxígeno en las aguas del fondo (hipolimnion), tasa de sedimentación e intensidad de la vida bentónica (Fig. 28). Cuando éstos factores disminuyen, la zona de bacterias fermentadoras de metano se expande hacia arriba a expensas de la zona de reducción de sulfatos, como resultado, materia orgánica más o menos estable puede ser preservada en el sedimento (Einsele, 2000). Después de que el oxígeno y los nitratos han sido agotados, la gran cantidad de sulfatos disueltos es usada como el oxidante primario para la degradación de la materia orgánica, con la producción de H_2S como subproducto (Pedersen y Calvert, 1990).

Calvert et al. (1992) señalan que el incremento en los flujos de materia orgánica que acompañan elevadas productividades, pueden producir sedimentos ricos en carbono orgánico en ambientes óxicos, sobrecargando la capacidad oxidativa del ambiente bentónico, permitiendo la preservación de la MO (Meyers, 1997) como se muestra en la Figura 28. En general, condiciones anóxicas o disaeróbicas promueven la preservación diferencial del carbono orgánico depositado (Pedersen y Calvert, 1990).

Una vez que se acumula materia orgánica en los sedimentos, durante su enterramiento y bajo el incremento de temperatura, pasa por un proceso que implica una serie de reacciones geoquímicas de evolución o maduración que van de los biopolímeros a geopolímeros, con frecuencia llamados kerógeno. Por otra parte a pocas profundidades de enterramiento, la materia orgánica inmadura puede liberar solamente gas metano, producido por bacterias metanogénicas, y es el hidrocarburo mas importante generado durante la diagénesis (Tissot y Welte, 1984).

La diagénesis es el primer estado en la evolución de la materia orgánica, la cual termina tan pronto como los ácidos húmicos extraíbles son más o menos agotados (Einsele, 2000). Una evolución normal en la diagénesis de la MO se caracteriza por una pérdida de los grupos oxigenados y una ganancia en la proporción de hidrógeno (Héroux y Tassé, 1990).

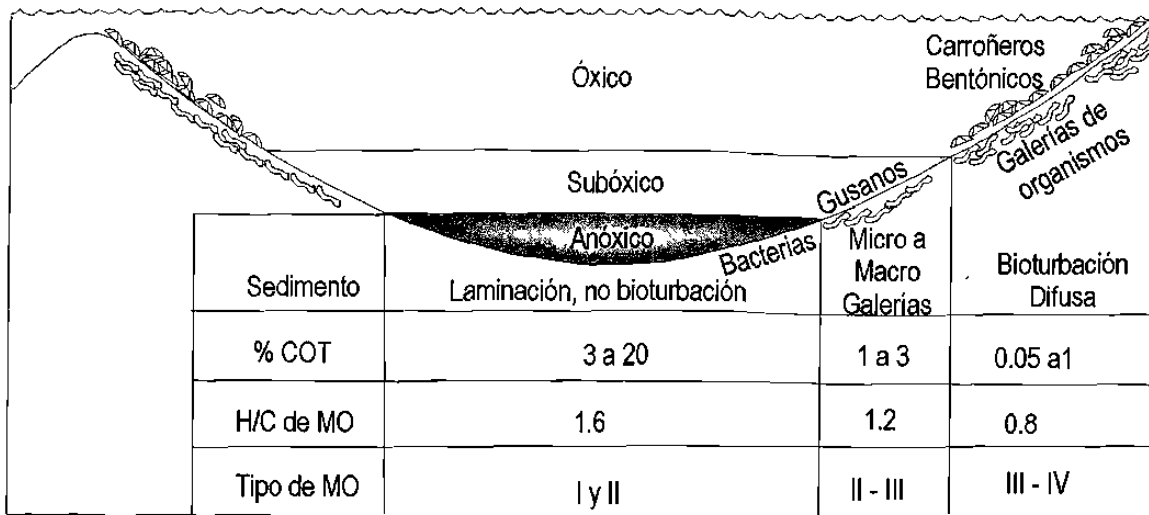


Figura 28 . Ambientes bentónicos marinos y lacustres. Contenidos de Oxígeno >1 son en ml/l H₂O son óxicos, Subóxicos 1 a 0.1 ml/l H₂O, y Anóxicos < de 0.1. El Tipo de Materia Orgánica (MO) es definido en el texto de éste capítulo. Carbono Orgánico Total % (COT)., Modificada de Hunt, 1996.

11.2 Metodología Rock-Eval 6

Rock-Eval (6) es un análisis a través de pirólisis de muestras de sedimento, para determinar una serie de parámetros a partir del contenido de materia orgánica. Inicialmente Rock-Eval fue desarrollado para evaluar el potencial de generación de hidrocarburos en rocas (Espitalié et al., 1985), mas ha demostrado ser de gran valor en la paleoceanografía, paleolimnología (Meyers, 1997) y recientemente análisis de contaminación en suelos por hidrocarburos (Lafargue et al., 1996). La pirólisis Rock-Eval es usada para determinar el tipo de materia orgánica en las muestras, ya que provee una rápida determinación de la riqueza en hidrógeno de la materia orgánica sedimentaria (Dean y Gardner, 1998).

Éste método consiste en el calentamiento progresivo de muestras de sedimento y medición de las cantidades de hidrocarburos que son liberados del sedimento a diferentes temperaturas (Meyers, 1997). Durante el calentamiento programado de la muestra a temperatura relativamente baja (~200°C), concentraciones de hidrocarburos (HC) libres y adsorbidos liberados, son registrados en el área del primer pico del pirograma (S_1 , miligramos de HC por gramo de muestra). La concentración de hidrocarburos S_1 es aproximadamente proporcional a la cantidad de materia orgánica que puede ser extraída de una muestra con solventes orgánicos.

El segundo pico en el pirograma (S_2) es compuesto por los hidrocarburos pirolíticos generados por fraccionamiento térmico del kerógeno al calentar la muestra de 250°C a 550°C (S_2 , miligramos de HC por gramo de muestra). CO_2 también se genera por la degradación del kerógeno y es analizado en un tercer pico en el pirograma (S_3 , miligramos de CO_2 por gramo de muestra), Dean y Gardner (1998). El contenido de Carbono Orgánico Total (COT) es determinado por la suma de los contenidos de carbono orgánico residual (CR) y pirolizado (CP) (Meyers, 1997).

Entre otros, dos parámetros importantes se derivan de los resultados de la pirólisis: (1) el Índice de Hidrógeno ó IH [$IH = (S_2/COT) \times 100$], el cual representa el potencial de hidrocarburos del total de la materia orgánica expresado en mg HC/g COT, y (2) el Índice de Oxígeno ó IO [$IO = (S_3/COT) \times 100$], que representa la cantidad de oxígeno expresado en mg CO_2 /g COT. Los valores de IH son indicadores de las proporciones de H/C de la materia orgánica, mientras que los valores del IO representan las proporciones de O/C, y son comúnmente graficados uno contra el otro, para determinar los tipos de MO y sus rutas de alteraciones diagenéticas a través de un diagrama tipo Rock-Eval, considerando los parámetros del diagrama van Krevelen (Meyers, 1997).

11.3 Resultados de las muestras analizadas del Paleolago Potosí

Los sedimentos cuaternarios del Potosí (capítulo 7) contienen facies lacustres, palustres y fluviales. Particularmente las lacustres y palustres muestran horizontes más o menos ricos en materia orgánica. Pirolysis con Rock-Eval 6 fue utilizada para determinar el contenido de Carbono Orgánico Total (COT) y análisis elementales de kerógeno a través del Índice de Hidrógeno (IH) e Índice de Oxígeno (IO) y T_{max} en muestras de sedimentos de las secciones Enebros Potosí 2 y 3 (Fig. 15, Anexo II).

11.3.1 Carbono Orgánico Total

- Enebros

En los Enebros (Fig. 29) los porcentajes en el contenido de COT son de <0.1 a 2.96 %, el valor máximo se presenta en el intervalo 400-410 cm. A pesar de que sean bajos los valores de COT, se distinguen dos intervalos. El primero se encuentra hacia la base de la sección (460-380 cm) con valores de 0.56 a 2.96% COT y el segundo hacia la cima (90-30 cm) con valores de 0.20 a 0.41% COT. El resto de la sección Enebros contiene poca cantidad de materia orgánica, cuyos porcentajes son <0.1 COT y comprende de 370 a 100 cm hacia la superficie. A partir de los 90 a los 30 cm la cantidad de COT es ~0.5%. Las muestras con un alto COT hacia la base de Enebros, muestran altas proporciones de hidrógeno entre 137 y 283 mg HC/g COT.

En ésta sección el IH e IO sólo se registró en los intervalos con más de 1% COT. Hacia la base el IH es relativamente alto (~200 mg HC/g COT) y con valores intermedios del IO, más el segundo conjunto de datos hacia la cima, muestra una tendencia invertida entre IH e IO, donde el IO llega a alcanzar los 756 mg CO₂/COT. Los IH < 50 mg HC/g COT en los horizontes 40-50 y 60-70 cm, se relacionan a materia orgánica inerte, posiblemente material retrabajado ó carbón (Fig. 31). El IH puede considerarse un indicador de condiciones reductoras y del buen estado de preservación de la materia orgánica; mientras que el IO indica su grado de oxidación a lo largo de la sección analizada.

- Potosí 2

Los sedimentos de Potosí 2 (Fig. 30) contienen las mayores proporciones de materia orgánica, con un máximo de 47.47% y un mínimo de 0.98% COT. Comparando los porcentajes de COT a diferentes profundidades se distinguen en Potosí 2 cuatro intervalos: el primero de 38.38% COT (340-320 cm), el segundo (310-160cm) que varía de 3.62 – 18.37 % COT con un promedio de 10.8 %; un tercero (130-50 cm) con los valores mas bajos de la sección 0.98 – 5% COT; y el cuarto intervalo que se encuentra cerca de la superficie (30-10 cm) con los porcentajes más altos de materia orgánica de 47.42 y 45.55.

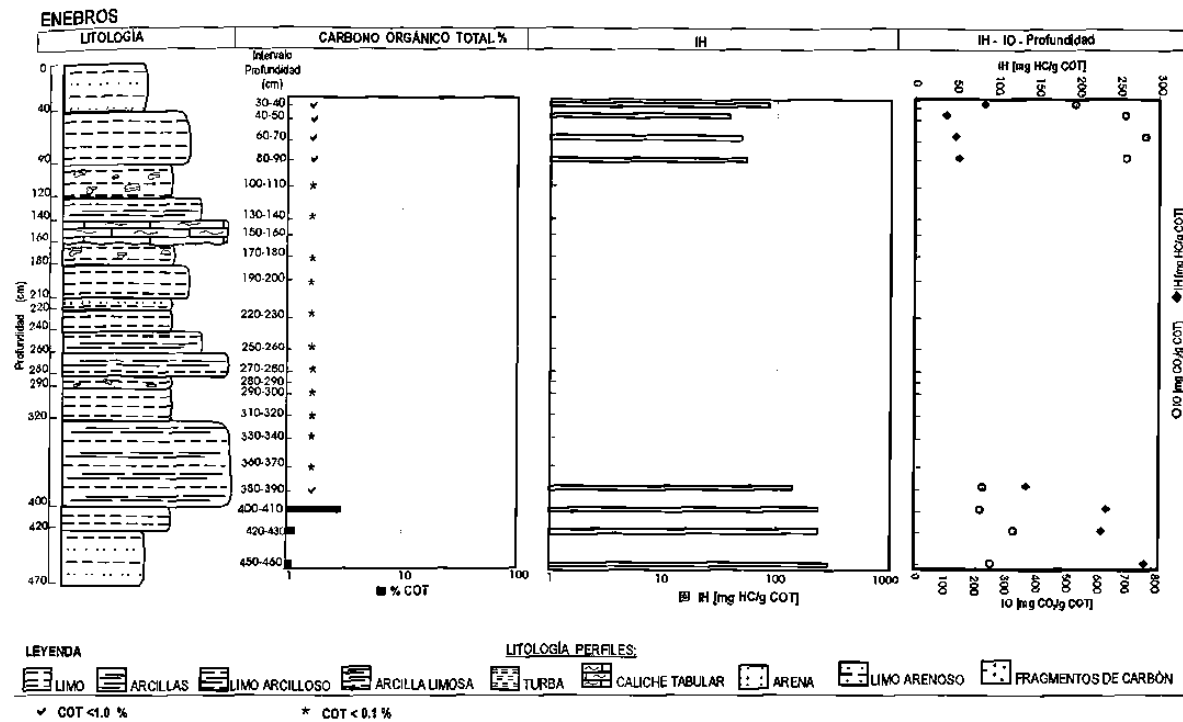


Figura 29. Carbono Orgánico Total, Índice de Hidrógeno (IH), Índice de Hidrógeno e Índice de Oxígeno (IO) vs. Profundidad, producto pirolisis Rock-Eval en sedimentos de la sección Enebras.

En Potosí 2 los horizontes con mayor %COT son turbas, y en general se considera a esta sección muy rica en materia orgánica. El IH < 50 mg HC/g COT y el IO ~100 mg CO₂/g COT, de los horizontes: 50-60, 70-80, 90-100 y 120-130cm, se interpreta como fragmentos de carbón o materia orgánica retrabajada. Particularmente en 120-130cm el IH es el más bajo (18 mg HC/g COT), con un alto IO (426 mg CO₂/g COT), y es de éste horizonte del cual se tomo la imagen de carbón o "charcoal" de la Figura. 31.

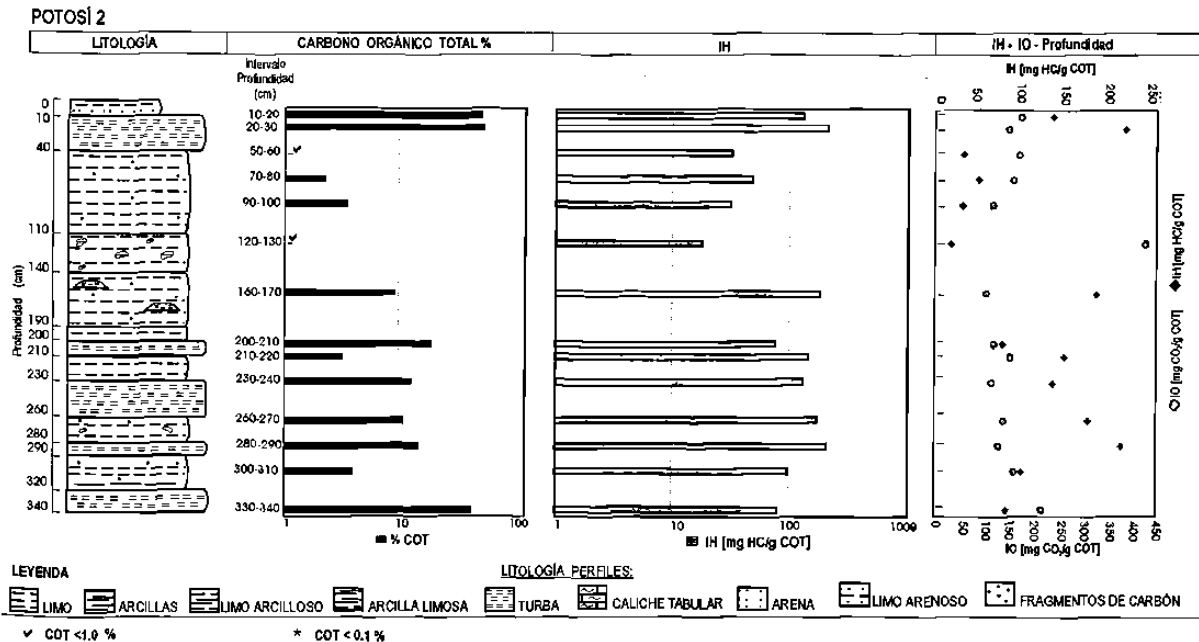


Figura 30. Carbono Orgánico Total, Índice de Hidrógeno (IH), Índice de Hidrógeno e Índice de Oxígeno (IO) vs. Profundidad, producto pirolisis Rock-Eval en sedimentos de la sección Potosí 2

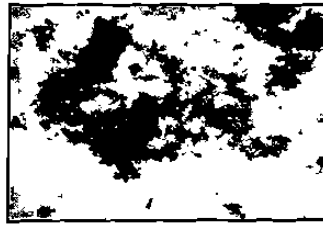


Figura 31. Carbón (charcoal) en Potosí 2.
Sin escala, horizonte 70-80 cm.

- Potosí 3

La base de Potosí 3 (650 – 520 cm) es rica en materia orgánica 18% COT y corresponde a horizontes de turbas (Fig. 32). Aproximadamente a partir de ese intervalo el contenido de carbono orgánico disminuye drásticamente hasta <0.1% (510-340 cm), para volver a incrementar ligeramente su contenido a 0.69% (270-280 cm). Hacia la cima de la sección (50-10 cm) vuelve a enriquecerse ligeramente, aumentando de 0.47 a 5.20 %COT. En Potosí 3, así como en Enebros, son frecuentes los horizontes con menos del 0.1% de materia orgánica, más en ésta sección se encuentran interrumpidos por horizontes con porcentajes mínimos entre 0.24 y 0.7 %COT. El IH para los intervalos con >1% COT es alrededor de 100 mg HC / g COT. El IH más alto (231 mg HC/g COT) y el IO más bajo (120 mg CO₂/g COT) se presentan en los horizontes de turbas, hacia la base de la sección. En el intervalo 230-240 cm el IH es muy bajo ~ 18 mg HC/g COT contrasta con los valores de ~600-990 mg CO₂/g COT para el IO. Hacia la cima de la sección el IH vuelve a ser mayor que el IO (Fig. 32).

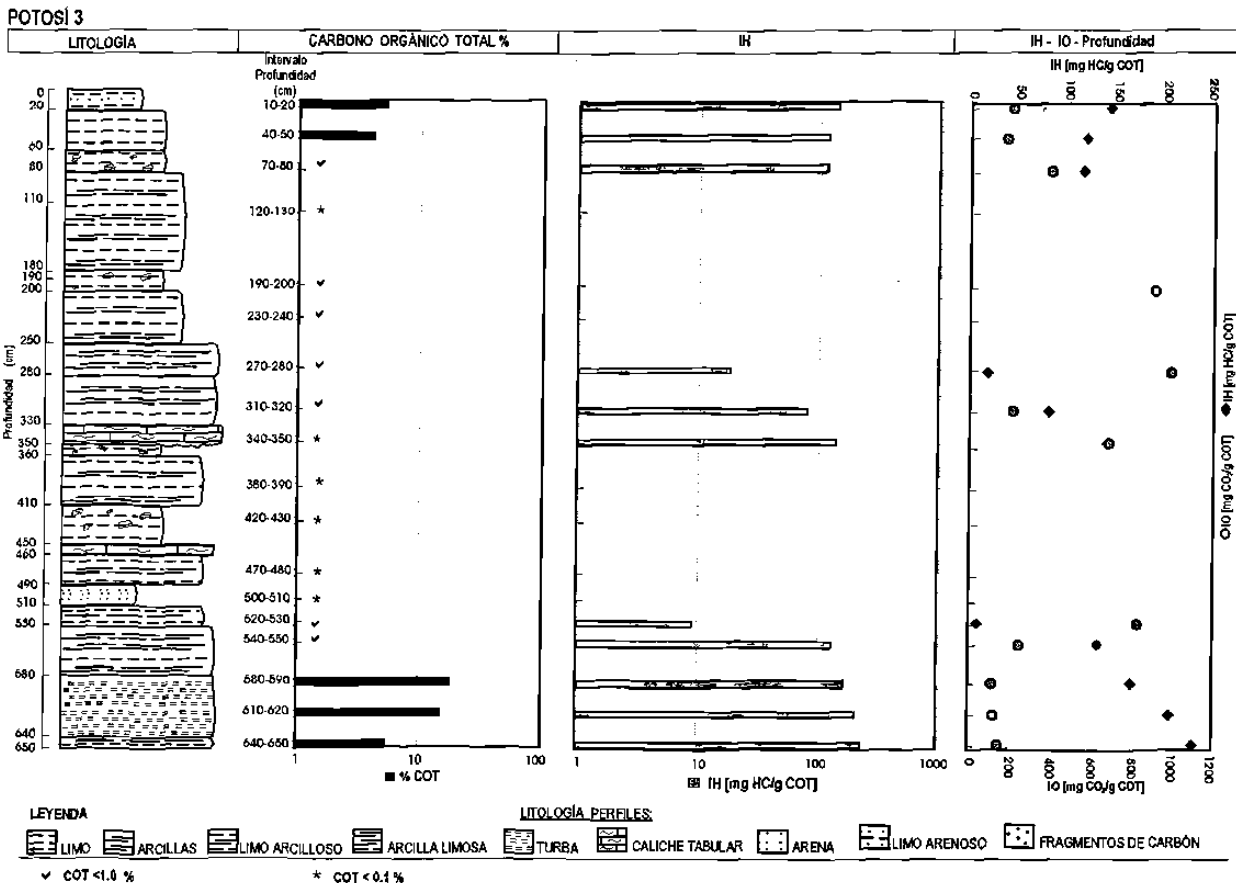


Figura 32. Carbono Orgánico Total, Índice de Hidrógeno (IH), Índice de Hidrógeno e Índice de Oxígeno (IO) vs. Profundidad, producto pirolisis Rock-Eval en sedimentos de la sección Potosí 3.

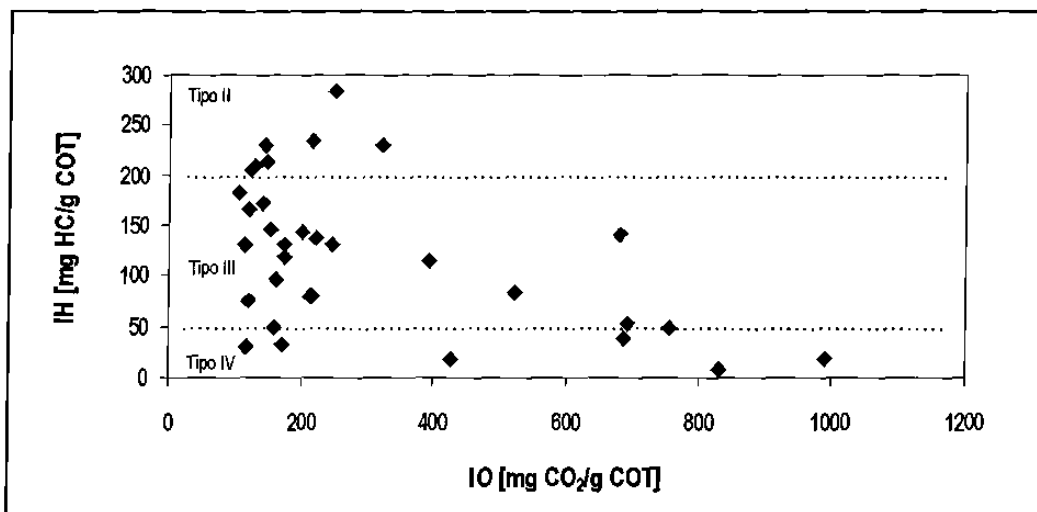


Figura 33. Diagrama de Van Krevelen Modificado mostrando el Índice de Hidrógeno (IH) vs. Índice de Oxígeno (IO) basado en análisis Rock-Eval de las secciones Enebras, Potosí 2 y Potosí 3. Con las líneas punteadas se infieren los límites entre los tipos de materia orgánica II, III y IV.

11.3.2 Tipo de Materia Orgánica el IH vs. IO

El Índice de Hidrógeno (IH) determinado por pirolisis Rock-Eval indica la riqueza de hidrógeno en la muestra (Langford y Blanc-Valleron, 1990; Héroux y Tasse, 1990; Meyer, 1998; Dean y Gardner, 1998). El Hidrógeno está presente en diferentes proporciones en la materia orgánica terrestre y la acuática, lo que hace de su uso un indicador paleolimnológico (Cohen, 2003). En base a la riqueza de Hidrógeno y a través de un diagrama de IH vs. IO, pueden ser reconocidos tipos de kerógeno, que a su vez determinan los tipos de materia orgánica generadora (Dean y Gardner, 1998). Éstos han sido definidos por Espitalié et al. (1986) en base a cambios en los valores de IH e IO durante la maduración de las facies de: la lutita negra en la Fm. Green River, Eoceno (tipo I), la lutita de la Cuenca de Paris, Jur. Sup.(Toarciano) (tipo II) y la lutita de la Cuenca Duala, Carbonífero (tipo III) (Davis, et al., 1989).

El kerógeno *tipo I* proviene de materia orgánica rica en lípidos, derivada de la biomasa microbial o componentes cerosos de plantas terrestres (Meyers, 1997). Su IH va de 600 a 900 y en algunos casos 1000 mg HC/g COT (Carroll y Bohacs, 2001). En los sedimentos del paleolago Potosí, los valores del IH son muy bajos <300 mg HC/g COT, mientras que los de IO son muy altos >100 mg CO₂/g COT, por esta razón no es posible asignar la materia orgánica al tipo I (Fig. 33). Según Carroll y Bohacs (2001), otra posible explicación por la cual no es evidente este tipo de kerógeno, es que exista una mezcla entre el tipo I y III, típico de facies orgánicas algales-terrestres, de asociaciones de facies fluvio-lacustres.

Por otra parte, experiencias en otras cuencas han mostrado que los kerógenos en muchos lagos modernos y antiguos difieren del tipo I característico de sistemas lacustres, por lo que el kerógeno tipo I no siempre es representativo de estos sistemas (Talbot, 1988; Katz, 1990; Carroll y Bohacs, 2001).

El **tipo II** (Fig. 33) es de materia orgánica moderadamente rica en hidrocarburos originada de algas, esporas, polen y cutículas, su IH va de ~100-600 mg HC/g COT. Según el diagrama IH vs. IO de los sedimentos del área de estudio el tipo II se encuentra bien representado con valores ~200 y 300 mg HC/g COT. Éste tipo de MO se determinó en más de un intervalo de las 3 secciones analizadas.

El **tipo III**, es materia orgánica pobre en hidrocarburos pero rica en carbohidratos, restos de sustancias húmicas ó leñosos de plantas superiores. Su IH está aproximadamente entre 100 y >50 mg HC/g COT. El tipo III es el de mayor abundancia (Fig. 33).

Kerógeno de **tipo IV** (Fig. 33) tienen muy poco contenido de hidrógeno y se cree derivan de sustancias mucilaginosas, materiales altamente oxidados, o materia orgánica retrabajada, rica en partículas de carbón (death carbon), también conocido como inertinita (Davis et al., 1989), el cual según algunos autores (Davis et al., 1989 y Hunt, 1996) tiene un IH <50 mg HC/g COT. El tipo IV se encuentra en más de un intervalo en las tres secciones: Enebros (40-50 y 60-70 cm), Potosí 2 (50-60, 70-80, 90-100 y 120-130cm) y Potosí 3 (230-240 y 520-530 cm) cuyo IH <50 mg HC/g COT y un alto IO (756-990 mg CO₂/g COT). Lo anterior pudiese ser considerado como un indicador producto de incendios (forestales), donde restos de carbón ó materia orgánica retrabajada fueron transportados y depositados en la cuenca durante periodos de precipitación pluvial.

11.3.3 Temperaturas Máximas

Las temperaturas máximas (T_{max}) a las cuales sucede la máxima liberación de hidrocarburos producto del fraccionamiento del kerógeno durante la pirólisis, son medidas en el pico S₂ (NOAA, 2003). La T_{max} se cree provee información del tipo y rango de la materia orgánica (Héroux y Tassé, 1990). A manera de corroborar los resultados del IH vs. IO se grafica también el IH vs. T_{max} (Fig. 34). Los valores de T_{max} en las secciones analizadas oscilaron entre 334°C y 388°C con un promedio de 361°C, y de acuerdo a los rangos propuestos por Héroux y Tassé (1990) y Hunt, (1996) para los valores de T_{max} , las muestras indican que son inmaduras y se encuentran en estado de diagénesis. La producción de ácidos húmicos es una de las características de ésta fase de transformación de la materia orgánica y cabe hacer notar que durante el lavado de muestras para polen vía acetólisis (HCl-HF), se observó gran cantidad de ellos, particularmente en los horizontes de turba de la sección Potosí 2 (Fig. 15).

11.5 Relaciones de la materia orgánica con la subsidencia y la combustión en el área del Potosí- Los Enebros

La materia orgánica diseminada en los sedimentos es un componente sensible, involucrado en procesos diagenéticos del carbón que afectan a la secuencia sedimentaria. La carbonificación de la materia orgánica es una evolución diagenética normal, que implica una pérdida de grupos oxigenados y una ganancia en la proporción de carbono (Hérroux y Tassé, 1990).

Si la preservación de las turbas y la MO está relacionada al estado reductor en que se encuentren (Stephens, et al., 1984), implicará según, una combinación Werner (1986 con el hidrógeno ó una pérdida de oxígeno, significaría que los horizontes con un mayor IH se encontrarán en un mejor estado de preservación que aquellos con un alto IO, ya que presentan un mayor grado de oxidación.

El hecho de que en los sedimentos analizados el IH este más enriquecido que el IO, también sugiere que los depósitos con alto contenido de materia orgánica (turba), son mas susceptibles a ser alterados, debido a los cambios en el nivel freático que desencadenan la problemática de oxidación de la materia orgánica y su posterior combustión, dando como resultado morfológico la subsidencia. Debido a lo anterior, los horizontes de mayor interés son las turbas que aun mantienen altos índices de hidrógeno $IH > 50 \text{ mg HC /g COT}$, ya que cuanto mayor sea su estado de reducción y saturación de agua, tenderán a una mayor estabilidad. Los intervalos con un alto IO suelen encontrarse hacia la cima de las secciones analizadas, lo cual demuestra que se encontraron bajo influencia de condiciones oxidativas durante su depósito o bajo la influencia del intemperismo.

La preservación de las turbas y por ende sus condiciones reductoras son favorecidas al encontrarse en estado de saturación y bajo el nivel freático (Flotte, 1992). Por lo tanto, las oscilaciones en el nivel freático que propicien la pérdida de fluidos en las turbas y agrietamientos superficiales, favorecerán los procesos de oxidación, desencadenando la combustión de la materia orgánica y por ende la subsidencia

11.6 Discusión y Conclusiones

El estudio de la materia orgánica en los sedimentos del paleolago Potosí, permitió el reconocimiento de los tipos de kerógeno II, III y IV. El tipo de kerógeno en depósitos varia dependiendo de las condiciones de depositación en la cuenca, por lo que sedimentos aparentemente similares no muestran el mismo potencial.

Considerando la relación del porcentaje de COT y una mayor riqueza del IH en las secciones, Potosí 2 es el más rico en materia orgánica, ya que después los porcentajes van disminuyendo hacia Potosí 3 y Enebras. El principal enriquecimiento del IH se da hacia la base de las secciones, particularmente en Potosí 3 y Enebras, y donde los sedimentos se encuentran saturados de agua. En general los valores de COT para las secciones del área de estudio analizadas van de <0.1% a 47.47%.

Los contenidos de carbono orgánico en los sedimentos difieren ampliamente entre Potosí 2, 3 y Enebras. Como se describió, los valores máximos >40% COT se encuentran en Potosí 2, con valores muy altos comparados con el 18% COT en Potosí 3 y el 2.96 % COT en los Enebras. Lo anterior pudiese estar relacionado a que Potosí 2 se ubicaba en el depocentro de ésta cuenca lacustre, donde existió un máximo aporte de materia orgánica hacia los sedimentos, seguido por Potosí 3 que estaría en los márgenes del área del lago y finalmente Enebras que se encontraba en la parte más distal (hacia el NW) del cuerpo principal y al que se atribuyen las facies palustres. Los valores bajos de <0.1% COT se atribuyen a la presencia de minerales de arcilla o poca materia orgánica (Espitalié et al.,1985). Los mayores enriquecimientos en materia orgánica corresponden a horizontes con turbas, particularmente en Potosí 2 y 3. Los menores enriquecimientos se presentan en el caliche laminar, limos y arcillas (<0.1 % a 5 %COT).

De las secciones analizadas se determina que fueron el resultado de episodios con una elevada productividad primaria y aporte de material vegetal dentro y de los alrededores del lago, producto de los escurrimientos superficiales. Los valores del IH en las secciones analizadas son bajos y pueden reflejar variaciones temporales en la productividad primaria, grado de anoxia en la columna de agua, o alguna cuestión experimental con Rock-Eval (Carroll y Bohacs, 2001).

El rango y grado de preservación de la materia orgánica, de bueno a moderado, sugieren que en ciertos horizontes una elevada productividad contribuyó a la acumulación y preservación de sedimentos ricos en carbono orgánico, excediendo la capacidad oxidativa del medio (Meyers, 1997). Según Hunt (1986), los medios anóxicos (<1 ml O₂/ l H₂O, H₂S presente) preservan más MO con un alto contenido de hidrógeno. Por lo anterior, es posible que los horizontes con alto contenido de COT e IH se depositaron bajo condiciones anóxicas, mientras que los sedimentos pobres en COT se acumularon en condiciones de mayor oxigenación (Meyers, 1997). Los horizontes con altos porcentajes de COT son principalmente las turbas, las cuales abundan en Potosí 2 y Potosí 3, y se ha observado que son éstos horizontes ricos en COT los que están ligados a la problemática de combustión.

12 Peligros Geológicos Asociados a la Materia Orgánica Sedimentaria

12.1 Introducción

En los últimos 9 años se han reportado dentro de cuencas endorreicas (bolsones) en la región suroeste del estado de Nuevo León, zonas con la repetitiva presencia de incendios subterráneos, emanaciones de gases y cambios rápidos en la morfología del terreno. Los primeros reportes son de 1994 y fueron hechos por los moradores de La Trinidad, Municipio de Aramberri, y de manera similar en 1999 por los habitantes del poblado El Potosí y El Rancho Los Enebras en Galeana, ambas localidades ubicadas a 100 km. al norte de La Trinidad.

Localizados de Sur a Norte, los sitios que presentan o presentaron los mismos fenómenos son: El Puente - San Juan de Avilés, Sandía el Grande y El Potosí – Los Enebras. De ellos sólo San Juan de Avilés se encuentra actualmente activo, con un área afectada de alrededor de 6 km² con emanaciones de calor y gases relacionados con la actividad de combustión subterránea de la materia orgánica y manifestados en superficie, asociados con procesos de subsidencia de aproximadamente 5 metros. Los demás sitios hoy en día son inactivos desde el punto de vista de incendios subterráneos. Los fenómenos geológicos relacionados a la combustión, colapso y subsidencia de los sedimentos cuaternarios en El Potosí-Los Enebras, se han reportado brevemente por Medina-Barrera y De León-Gómez (2000 y 2001).

12.2 Zona subsidiada

En éste trabajo, se considera **subsidencia** a cualquier desplazamiento de un nivel general de la superficie del suelo ya sea por causas superficiales o sub-superficiales, generado por procesos geológicos naturales o antropogénicos (Bates y Jackson, 1984).

La subsidencia en el área del Potosí – Los Enebras afecta más de 20 km² (Anexo I), y se manifiesta de manera irregular en forma de depresiones con distribución dendriforme y altos de configuración semicircular alargados, con dimensiones de 50x100 m hasta 250x100 m (Fig. 35). Aparentemente la subsidencia solo se presenta en el área que una vez ocupó el lago Potosí. En el poblado del mismo nombre y que delimita con el margen de los depósitos hacia el Este, los daños se manifiestan a manera de agrietamientos en los muros de algunas casas. El resto del poblado se encuentra sobre conglomerado (de calizas con matriz de carbonato de calcio), que le proporciona un subsuelo más estable.



Figura 35. Ampliación de fotografía aérea escala 1:50,000, 02 Mayo 1998, INEGI, del área de estudio. Nótese la configuración dendriforme de las zonas de mayor subsidencia, así como los altos (elementos positivos) indicados por la flecha.

El área que ocupaba el lago era utilizada con fines agrícolas. Hoy en día, se encuentra inhabilitada debido a los procesos relacionados con la subsidencia, la cual, se expresa a manera de cambios irregulares de nivel del suelo presentando relieves altos y bajos, y agrietamientos superficiales longitudinales y poligonales (Fig. 36 A). Ésta forma peculiar en la expresión de la subsidencia se debe a la heterogeneidad de los sedimentos y a su distribución (Fig. 17). Los altos se distinguen por su forma semicircular y se relacionan a los horizontes de caliche laminar (mayor contenido de carbonatos). Las depresiones dendriformes se relacionan a la distribución irregular de los horizontes con alto contenido de materia orgánica.

El desnivel en el terreno en la zona aledaña al Potosí es de ~3 m (Fig. 36 B). Los agrietamientos longitudinales en el área tienen una dirección preferencial principal hacia el NW y algunos otros tienen una dirección al NE. Muestran extensiones visibles en superficie de hasta 1 km, con amplitudes de unos cuantos centímetros a 30 cm (Fig. 36 B y 37). Los agrietamientos con rumbo NW, coinciden con las direcciones de fallas normales en las de calizas de la cuenca, determinadas en la gravimetría (PAICYT, 2002). El agrietamiento poligonal se observó al oeste del poblado Potosí, con dimensiones de los polígonos menores a 1.5m² y de algunos centímetros de profundidad (Fig. 38).

En Los Enebros las dimensiones del agrietamiento son menores pero la profundidad alcanza cerca de los 2m y la cual pudo haberse magnificado debido a el colapso de los sedimentos después de la combustión, que desestabilizó el sitio y promovió esa conformación de los bloques de sedimentos (Fig. 39 A y B).

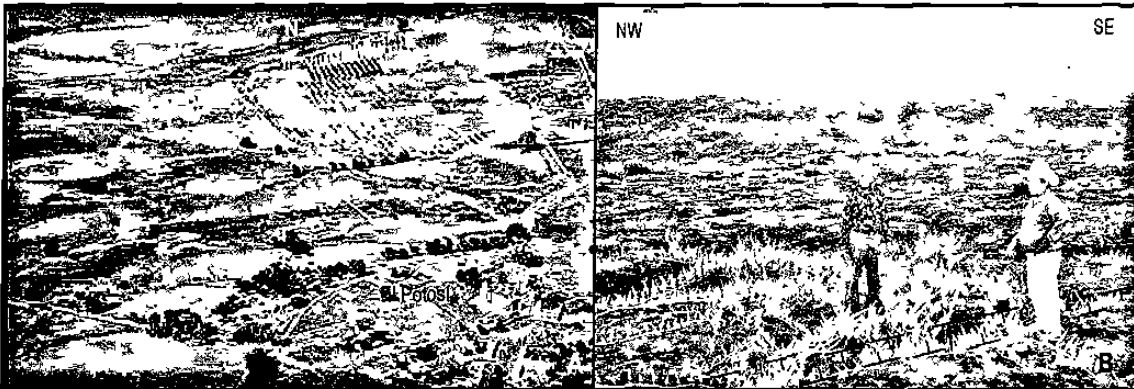


Figura. 36. Área subsidida del Potosí: (A) Fotografía Aérea del Potosí; (B) Desniveles en el terreno por efecto de la subsidencia diferencial. La persona en segundo plano se encuentra sobre uno de los elementos positivos (señalados por la flecha en la imagen anterior). Las personas en primer plano están a los lados del agrietamiento que es indicado por uno de ellos.



Figura. 37. Agrietamientos longitudinales. Los Principales con dirección NW-SE, y secundarios NE-SW, aledaños al poblado El Potosí.

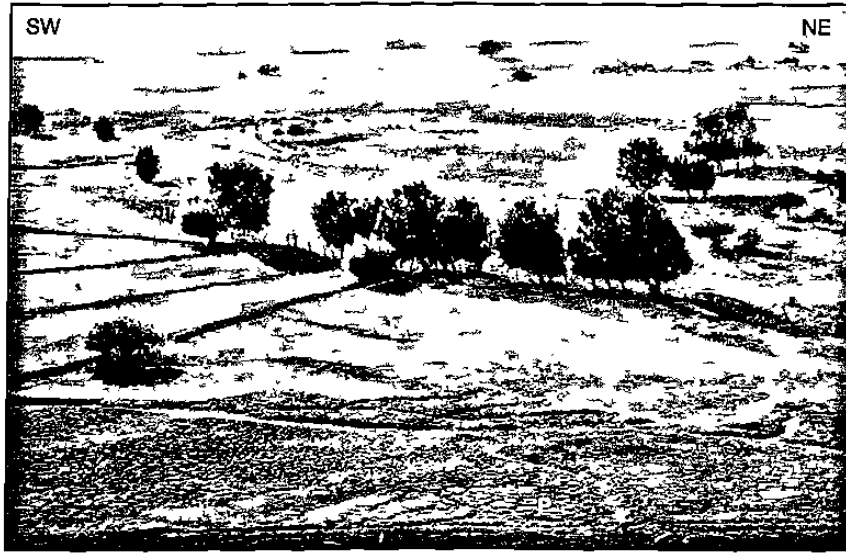


Figura 38. Agrietamientos poligonales (P), longitudinales (L) y subsidencia en el Potosí. Los agrietamientos se observan en primer plano. Al fondo de la imagen se observan las elevaciones (E) dentro de la zona de subsidencia. Vista hacia N-NW

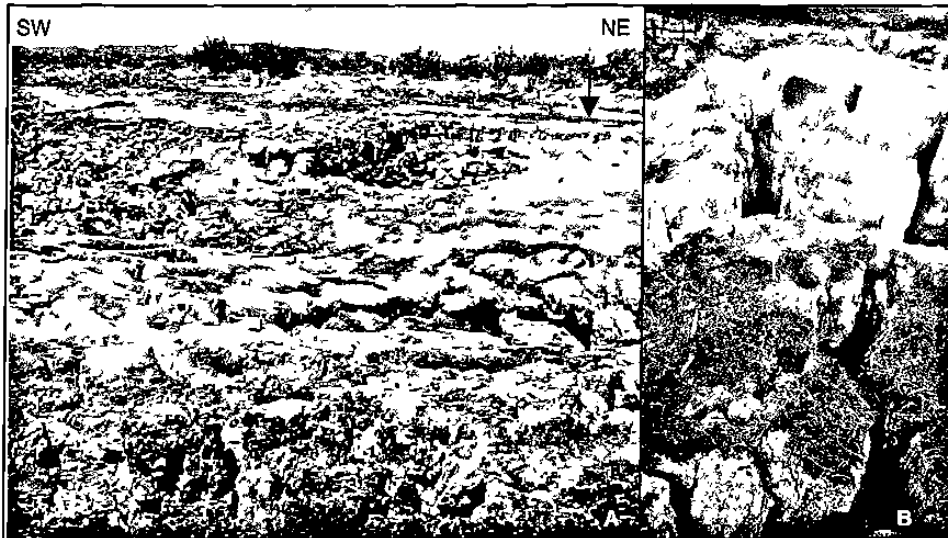


Figura 39. Agrietamiento poligonal en Los Enebros. (A) vista hacia el NW de la Zona de colapso; (B) Detalle del espaciamiento entre bloques. La flecha indica donde fue tomada la Imagen B.

El colapso de los sedimentos sólo se ha presentado en los Enebros y difiere de la subsidencia por su aparición repentina en un corto periodo de tiempo. En ésta localidad el colapso se desencadenó por efectos antropogénicos. Durante el control de combustión de las turbas por elementos de Protección Civil de Galeana, al inyectar agua y Cold-Fire a los depósitos en combustión. Como producto de ésta medida de control, los sedimentos se desplazaron y colapsaron, creando depresiones de colapso de ~4 m (Fig.40 A, B). El colapso se presentó en tres puntos dentro de la zona afectada, cuya dimensión es de ~1 km² mostrando una configuración irregular. Los márgenes de la zona colapsada están delimitados por agrietamientos semicirculares a manera de pequeños escarpes escalonados, con saltos de hasta 30 cm (Fig. 40 C). Durante los periodos de trabajo de campo en las zonas de antiguos depósitos lacustres se percibió emanaciones de gases, posiblemente se trate de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), lo cual no pudo ser cuantificado por falta de equipo. En las zonas afectadas por combustión se observaron precipitaciones de azufre, las cuales según Werner (1996) son producto de la descomposición de la materia orgánica y de la emanación activa del vapor de agua, que deja en la superficie o en las paredes de las grietas, precipitaciones de azufre en forma de pequeños cristales, tratándose probablemente de una disociación de H₂S presente en la materia orgánica durante las reacciones de combustión.



Figura 40. Área de colapso y escarpes semicirculares escalonados de la localidad Los Enebros: (A) Vista W-E del área de colapso; (B) Vista del área colapsada; (C) Escarpes semicirculares escalonados y agrietamientos poligonales.

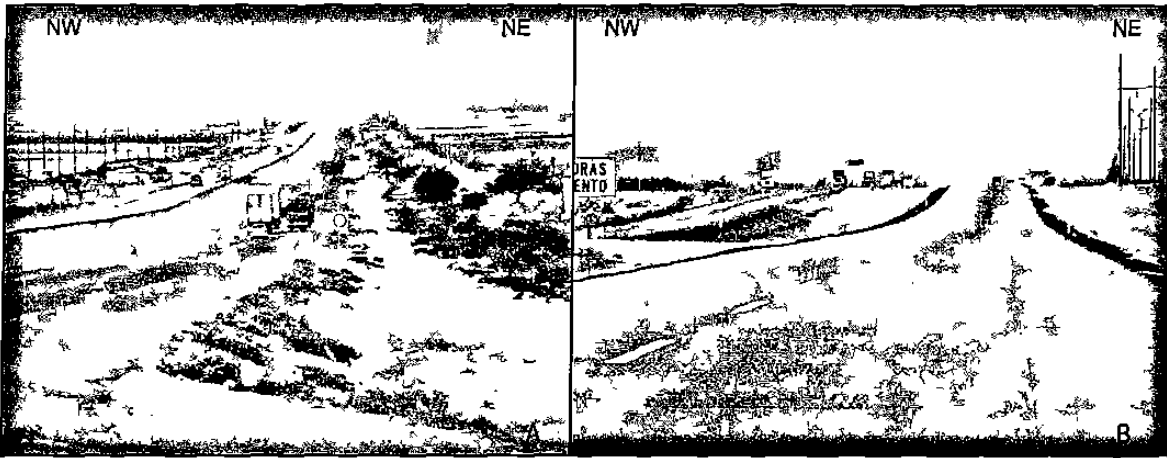


Figura 41. Carretera Federal México-Nuevo Laredo , tramo Matehuala –Saltillo, sección El Potosí (Catarino Rodríguez): (A) carriles de carpeta asfáltica (derecha) y concreto armado (izquierda); (B) Desnivel producto de la subsidencia.

La subsidencia afecta también a la Carretera Federal No. 57 México – Nuevo Laredo, en el tramo Matehuala – Saltillo, en la sección que corre al Oeste del Cerro El Potosí, hasta el Rancho Los Enebras. Dicha carretera consta de 4 carriles de los cuales dos son de carpeta asfáltica y los otros a base de losas de concreto armado. Los carriles de concreto armado (construidos a finales de los noventa con una base de terraplén), presentan ligeros cambios de nivel (Fig. 4 A y B), mientras que los de carpeta asfáltica presentan cambios con hundimientos marcados en el relieve. La sección de la carretera afectada, desde El Potosí (Catarino Rodríguez) hasta el Rancho Los Enebras, es alrededor de 8 km. Efectos más apreciables se localizan en la carretera municipal que conecta el poblado del Potosí (Catarino Rodríguez), con la Carretera Federal No. 57, donde 4.5 km de carpeta asfáltica se ven modificados en su trazo por cambios en el relieve y hundimientos más pronunciados. Uno de los impactos económicos que repercuten hacia la población, es la limitante del uso del suelo con fines agrícolas, dentro del área afectada por la subsidencia o combustión, debido a las condiciones no aptas del suelo. Éstos sitios tampoco pueden ser utilizadas con fines de urbanización.

12.3 Causas de subsidencia

Rhan (1986) menciona que los desplazamientos del suelo causados por la influencia humana, son el resultado del movimiento de fluidos o materiales bajo la superficie terrestre y el área de estudio no es la excepción. Según las observaciones de campo y el análisis de los sedimentos en laboratorio, al parecer el problema con la subsidencia en el área del Potosí – Los Enebras está relacionado a los sedimentos no consolidados y con alto contenido de materia orgánica (espesores de alrededor de 20m, PAICYT, 2002, Rodríguez-Pimienta en preparación), que son desestabilizados por las oscilaciones del nivel

freático, debido a la sobreexplotación del acuífero libre. Por lo anterior se distinguen las siguientes posibles causas de subsidencia:

12.3.1. Sobreexplotación del agua subterránea

Al extraer el agua a través de pozos, el nivel frático es abatido por el bombeo. En otras palabras la presión de poros en el acuífero del cual el agua está siendo extraída decrece; por lo que la capa de suelo o el acuífero será comprimida verticalmente (Holzer, 1984). El abatimiento del nivel freático, provoca cambios de volumen en los sedimentos, particularmente las turbas y arcillas, que pueden dar lugar a una deformación elástica donde el efecto mas prominente de subsidencia en una cuenca serán fisuras superficiales y fallamiento (Holzer, 1984; Bell, 1993), que para el área de estudio tienen una dirección principal NW-SE.

Éste tipo de manifestaciones pueden tener un comportamiento estacional relacionado a: (1) las fluctuaciones del nivel de agua subterránea; (2) asociación temporal con el fallamiento contemporánea con la sobreexplotación del acuífero y (3) expresión superficial de fallas dentro del sistema del acuífero. Las fisuras con patrones poligonales son causadas por contracción, inducida por estrés capilar en la zona deshidratada al descender el nivel del agua (Holzer, 1984). El nivel freático estático en el área de estudio es >6m de profundidad, pero en la zona más afectada cerca del ejido Potosí el nivel freático se encuentra hasta 30 m de profundidad, agudizando el problema de la subsidencia (Fig. 42).

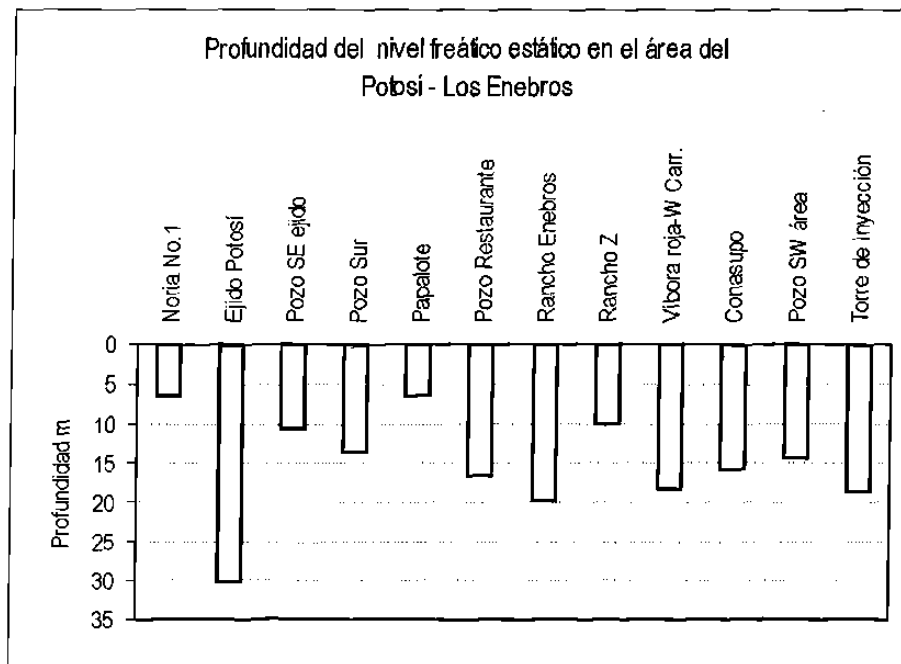


Figura 42. Gráfica de los Niveles Estáticos vs. Profundidad de los pozos en el área del Potosí – Los Enebros. Graficada con datos de PAICYT, 2002.

12.3.2 Alto contenido de materia orgánica

Stephens et al, (1984), mencionan que la subsidencia en turbas ocurre tanto por la **densificación** (pérdida de consistencia, deshidratación y compactación) así como por la **pérdida actual de masa** (oxidación biológica, combustión, hidrólisis, lixiviación, erosión). La densificación ocurre rápidamente después de su depósito, y lentamente continúa una pérdida de masa debida principalmente a la oxidación biológica. Las tasas de subsidencia están determinadas por el tipo de turba, el nivel del agua subterránea y la temperatura. El drenaje en turbas y la subsidencia tienen consecuencias severas ya que la turba seca se comporta como un coloide que absorbe nuevamente humedad (Stephens et al., 1984). Comparadas con los suelos minerales tienen una alta capacidad de calor, más cuando están húmedas tienen una baja conductividad del mismo. La combustión puede realizarse a relativamente bajas temperaturas, ya que tienen un alto intercambio catiónico por unidad de volumen y una alta capacidad de amortiguamiento que resiste fuertemente los cambios en las reacciones ácidas. La sustancia combustible de las turbas representa del 10 al 20 % de su volumen, el resto es agua (Flotte, 1992). Las tasas de subsidencia en sedimentos orgánicos se estiman de 1 a más de 8 cm por año (Stephens et al., 1984). En resumen, la subsidencia de suelos orgánicos ocurrirá principalmente debido a las alteraciones en el drenaje. Bajo condiciones naturales en la formación de la turba, el agua actúa como un agente de preservación a través de la exclusión del oxígeno (Stephens et al, 1984). Las seis causas de subsidencia orgánica son por: (1) pérdida de volumen por desecación; (2) consolidación; (3) compactación; (4) erosión por viento y agua; (5) combustión y (6) oxidación bioquímica.

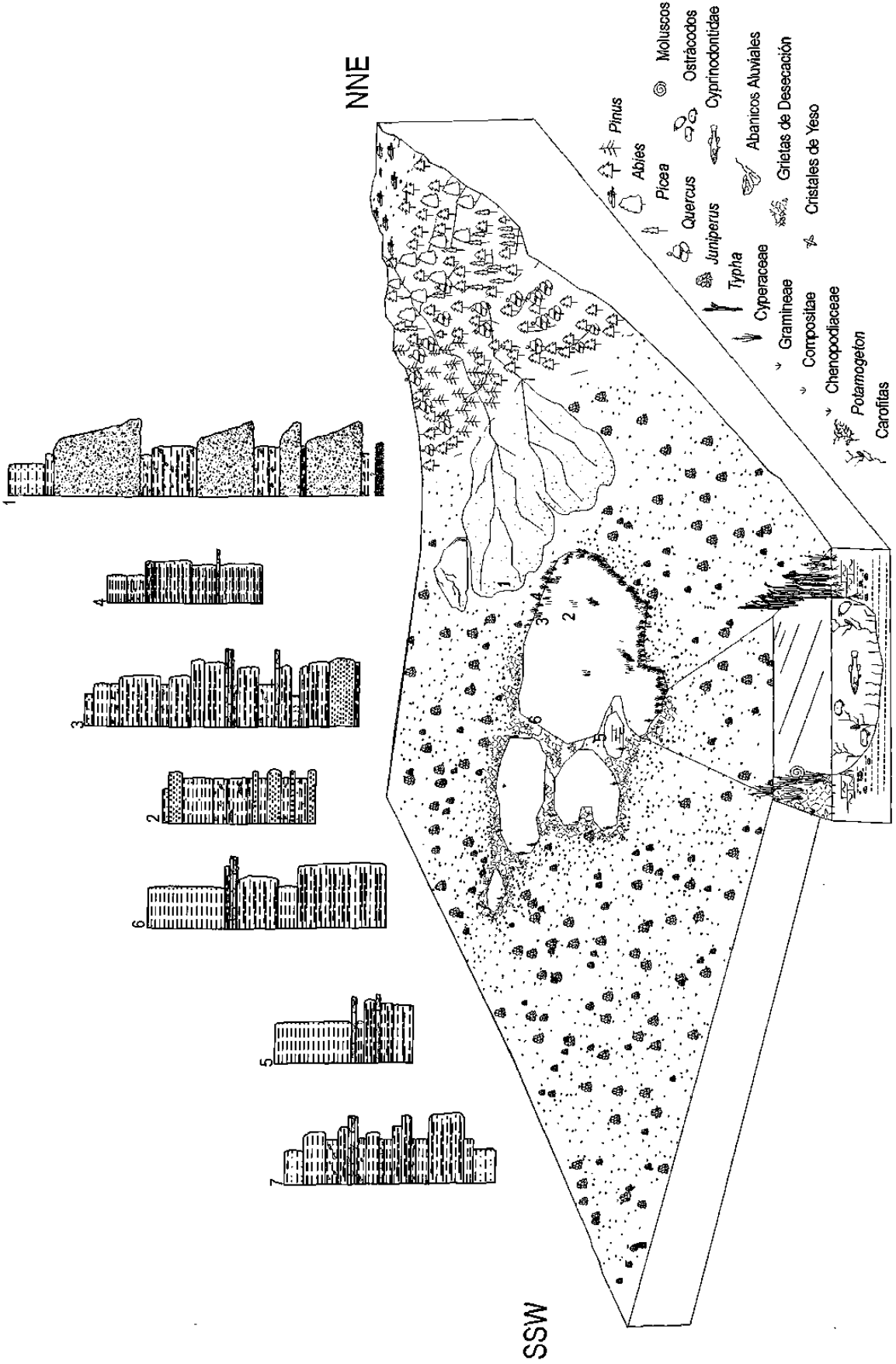
12.4 Control de la subsidencia

El uso del suelo en ésta región es agrícola, por lo cual todo fenómeno natural o antropogénico que le afecte se verá también reflejado en problemas socioeconómicos. Stephens et al, 1984, proponen algunas medidas de control para obtener el máximo uso agrícola en estos suelos: (1) proveer un control adecuado de los niveles de agua, para mantenerlos tan altos como los cultivos lo permitan y que a su vez disminuya la subsidencia; y (2) intensificar la investigación para el desarrollo de prácticas agrícolas que prolonguen la vida de éstos suelos.

13 Conclusiones

- Las Formaciones Cretácicas Tamaulipas Superior, Cuesta del Cura y Agua Nueva, se encuentran plegadas y desplazadas por el fallamiento normal con dirección NW-SE, buzando ligeramente al NE y están enmarcando la Cuenca del Potosí.
- Los sedimentos que rellenan la Cuenca del Potosí son principalmente limos de carácter carbonatado y depósitos de materia orgánica, con menor frecuencia del tipo clástico y evaporítico.
- Los sedimentos indican la existencia de un sistema lacustre denominado Paleolago Potosí, el cual contiene distintas asociaciones de facies, que respondieron a condiciones locales y del clima regional mas que a factores globales.
- Las Facies identificadas son lacustres, palustres y de caliche, mostrando en su conjunto que el Paleolago Potosí fue principalmente un sistema de playa en una cuenca cerrada, con un depocentro principal ubicado en el E hacia el margen W del anticlinal Potosí y que, consistió en un cuerpo de agua principal que generó cuerpos de agua aislados durante periodos de desecación.
- Los sedimentos del Paleolago Potosí contienen gran cantidad de microfósiles (moluscos, ostrácodos, carofirtas, otolitos) en excelente estado de preservación, los cuales incluyen fauna de hábitat terrestre, acuático y de ambientes de transición, que son indicadores de condiciones paleohidroquímicas de variaciones la salinidad del agua y del carácter somero de sus aguas (menos de 2m de profundidad).
- Conforme un sistema lacustre se desarrolló y el clima y drenaje fluctuaron, se alteró el balance hidrológico del lago, por lo que la composición de las asociaciones fosilíferas señalan cambios significativos del nivel del agua en una cuenca lacustre cerrada.
- El análisis palinológico indica una vegetación de plantas terrestres y acuáticas de aguas someras, que fueron condicionados por cambios en los factores edáficos de humedad del suelo y salinidad y muestran cambios ambientales entre condiciones climáticas cálido húmedas, cálido templadas y secas, con aparente tendencia hacia un calentamiento.
- La variación isotópica en la covarianza del $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en conchas de ostrácodos responde a cambios ambientales reflejados en la paleohidroquímica del agua del lago.

- Los registros isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ reflejan cambios de la paleoprecipitación - paleoevaporación, donde el enriquecimiento en éste isótopo corresponde a periodos de alta evaporación y su empobrecimiento a dilución de las aguas durante la perezipitación.
- El $\delta^{13}\text{C}$ refleja las variaciones en la paleoproduktividad del lago, relacionada a la vegetación y volumen de agua, donde los enriquecimientos se atribuyen a materia orgánica derivada del fito y zooplancton, mientras que los empobrecimientos se relacionan al aporte de material terrestre y flotante, en periodos de alta precipitación.
- Los sedimentos del Paleolago Potosí contienen horizontes con mayor o menor contenido de materia orgánica, resultado de episodios con elevada productividad primaria y aporte de material vegetal al lago, la cual es tipificada como kerógenos tipo II, III y IV.
- Los mayores porcentajes de Carbono Orgánico Total (COT) corresponden a las turbas y los menores a limos, arcillas y caliches, y pueden ser utilizados en una reconstrucción de la cuenca.
- El Índice de Hidrógeno es un indicador de condiciones de reducción en depósitos con alto COT, y es utilizado como parámetro del grado de alteración y vulnerabilidad de la materia orgánica.
- Las condiciones reductoras en las turbas son favorecidas por la saturación del agua, donde las fluctuaciones en el contenido de ésta propician su oxidación.
- Rock-Eval 6 además de ser útil en el análisis paleoambiental, puede ser utilizado en la caracterización de depósitos recientes a través del reconocimiento e identificación de fuentes sedimentarias potenciales de peligros geológicos.
- La subsidencia en el área del Potosí–Los Enebro es ligada a la composición y distribución de los sedimentos cuaternarios, donde la turba es el sedimento más conflictivo en éste proceso, debido a su densificación (pérdida de consistencia, deshidratación y compactación) y pérdida de masa (durante la oxidación, combustión, hidrólisis y lixiviación), las cuales pueden evitarse al mantenerla la turba saturada de agua.
- Se propone un modelo paleogeográfico, paleoambiental para la depositación de sedimentos en la Cuenca del Lago Potosí (Fig. 43), elaborado tomando en consideración las características litológicas, palinológicas, micropaleontológicas y geoquímicas.



92 Figura 43. Modelo deposicional propuesto para la Cuenca del Lago Potosí. Sin Escala. La simbología litológica de las secciones estratigráficas se muestra en la Figura 9.

14 **Recomendaciones**

- Fechamientos por ^{14}C para ubicar espaciotemporalmente las secuencias y comprender de una manera mas precisa la evolución climática del Noreste de México.
- Crear y registrar una colección de referencia de polen para futuros estudios sobre el cambio de vegetación en las zonas áridas actuales del Noreste de México.
- Crear y registrar una colección de referencia sobre la microfauna acuática.
- Generar a partir de los fechamientos en las secciones, un modelo paleogeográfico del Paleolago Potosí.
- Análisis de minerales de arcilla para complementar la interpretación de los cambios ambientales y a la vez conocer el tipo de arcillas involucradas en los procesos de subsidencia al disminuir el nivel freático.
- Correlacionar con los fechamientos las posibles relaciones espaciotemporales entre los perfiles a través de curvas isotópicas.
- Elaboración de una carta piezométrica evaluando en mas de una temporada los niveles freáticos estáticos del área del Potosí – Los Enebros con el fin de conocer el comportamiento del acuífero.
- Informar a la población sobre los factores que desencadenan el fenómeno de combustión y subsidencia, además de asesorarles sobre técnicas agronómicas para éste tipo de suelos.
- Establecer marcas de control para monitorear el desarrollo y tasa de subsidencia en el Potosí – Los Enebros.
- Estudiar y llevar un registro de otras áreas activas que presenten éste mismo tipo de fenómenos y que se encuentran en el Estado de Nuevo León.
- Analizar cuantitativa y cualitativamente la toxicidad de los gases emanados durante la combustión u oxidación de las turbas.
- La subsidencia en el área del Potosí-Los Enebros no puede ser evitada más puede y debe controlarse a través del uso regulado del agua subterránea.

15**Síntesis**

En área de estudio el fallamiento normal evidente en las Formaciones Cretácicas, propició la formación y el relleno de la cuenca del Lago Potosí. Los sedimentos de la cuenca son clásticos, carbonatados, evaporíticos y de materia orgánica, presentando facies lacustres, palustres y fluviales. Dentro de las facies lacustres y palustres, los indicadores bióticos y abióticos evaluados, muestran que el Paleolago Potosí fue un lago tipo sistema de playa de aguas someras con márgenes fluctuantes, que dejaron durante periodos de alta evaporación y desecación, cuerpos de agua aislados del cuerpo principal, lo cual se ve reflejado en su flora y fauna fósil. Los sedimentos y sus componentes reflejan cambios entre periodos de precipitación pluvial y alta evaporación, ligados a fases cálido húmedas, cálido secas y secas. La abundante precipitación y bioproducción en periodos más estables propiciaron el enriquecimiento de los sedimentos por materia orgánica. El contenido de carbono orgánico en la materia sedimentaria se encuentra en distintos grados de preservación. Las condiciones de estabilidad en los sedimentos con alto contenido de materia orgánica sedimentaria se ven afectados por los cambios en el nivel del agua subterránea. La disminución del nivel freático propicia que las condiciones de reducción que mantienen estables las capas con materia orgánica (en particular a las turbas), sean afectadas por condiciones de oxidación, desarrollando el fenómeno de combustión y subsidencia en los depósitos del Paleolago Potosí. Finalmente este trabajo muestra la posibilidad de utilizar distintas disciplinas y metodologías que pueden converger en el análisis y comprensión de un fenómeno para la solución de un problema.

16

Bibliografía

- Adler, R. E., Fencher W., Martini H.I., Pilger A., 1965, Einige Grundlagen der Tektonik II. Die tektonischen Trennflächen. Clausthaler Tektonische Hefte, 3: 94S. Clausthal – Zellerfeld.
- Adler, R. E., 1997, Statistisch –gefügetektonische Structuranalyse in der Montanpraxis. En: Tectonische Vorfelderkundung im Ruhrkarbon Bd.III, Forsh. Ber. Ld. Nordh. Westf. 2675:5-120; Opladen.
- Amundson, R. Chadwick O., Kendall C., Wang y DeNiro M., 1996, Isotopic evidence for shifts in atmospheric circulation patterns during the late Quaternary in mid-North America: *Geology*, vol. 24. No. 1. p. 23-26.
- Amundson, R. y Lund, L.J., 1987, The stable isotope chemistry of a native and irrigated typic Natrargid in the San Joaquin Valley of California: *Soil Science Society of America Journal*, v.51, p. 761-767.
- Armenteros, I., Daley B., García R., 1997, Lacustrine and palustrine facies in the Bembridge Limestone (late Eocene, Hapshire Basin) of the Isle of Wight, southern England: *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 128: 111-132.
- Bard, E., Hamelin, B., Lao, Y., Anderson, L.F., y Fairbanks, R.G., 1989, Dating of the last interglacial period by U/Th mass spectrometry of caribbean corals (abs.): International Correlation Program, 3 meeting 1989, Cambridge, United Kingdom.
- Bates, C., y Jackson, G., 1984, Dictionary of Geological Terms. Academic Press, 358 pp.
- Battarbee, R. W., 2000, Paleolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews*. 19:107-124.
- Baker, R.G., Gonzalez, L.A., Raymo, M., Bettis III E.A., Reagan M.K., Dorale, J.A., 1998, Comparison of multiple proxy records of Holocene environments in the Midwestern United States: *Geology*, v. 26; no. 12; p. 1131-1134.
- Bell, F. G., 1995, Engineering Geology. Blackwell Science. 359, pp
- Bredden, H. 1960. Vorschläge zu einer international einheitlichen Darstellung auf lithologischen, tektonischen und hydrogeologischen Zeichnungen und Karten. Erster Teil. Geologische Mitteilungen. Aachen, pp.120.
- Brie, P.R., 2000, Playa, Playa Lake, Sabkha: Proposed definitions for old terms: *Journal of Arid Environments*, 45: 1-7.
- Bryant, V.B., 1978, Late Quaternary pollen records from the East-Central periphery of the Chihuahuan Desert. Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico. Ed: R.H. Wauer y D.H. Riskind U.S. Dept. of the Interior Transactions and Proceeding Series No. 3.

- Bryant, M. B. y Riskind D.H., 1980, The Paleoenvironmental record for northeastern Mexico: A review of the pollen evidence. Center of Archeological Research. Univ. of Texas, San Antonio, Special Report 9. p.7-31
- Burne, R.V. Bauld J., De Deckker P., 1980, Saline Lake Charophytes and their geological significance: *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 5, No. 1, p. 281-293.
- Calvert, S.E., Bustin, R.M., y Pedersen, T.F., 1992, Lack of evidence for enhanced preservation of sedimentary organic matter in the oxygen minimum of the Gulf of California: *Geology*, v. 60, p. 757-760.
- Campa, M.F., 1985, The Mexican Thrust Belt. Tectonostratigraphic terranes of the Circum – Pacific Council for Energy and Mineral Resources. Huston, Texas: *Earth Sciences Series*, No. 1 p. 229 - 313.
- Carroll, A.R, y Bohacs, K.M., 2001, Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins: *AAPG Bulletin*, v. 85, No. 6, pp. 1033-1053.
- Centeno–García, E., Silva-Romo, G., 1997, Geology, Geochemistry and tectonic evolution of central México during Mesozoic time: *Revista de Ciencias Geológicas*, Instituto de Geología, UNAM v. 14, n. 2, p. 244-260.
- Cerna, de Z., 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México entre Torreón y Monterrey: México. D.F., Cong. Geol. Internacional, 20, Monografía, 87pp.
- Chivas, A., De Deckker P., Shelley J.M.G., 1983, Magnesium, strontium, and barium, partitioning in nonmarine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions – A preliminary study. In: Applications of Ostracoda. 8th International Symposium Ostracoda (Ed. R.F. Maddocks). University of Huston Geosciences, Huston, 238-249.
- Clisby, K, Sears P.B., 1955, Palynology in Southern North America. III. Microfossils profiles under Mexico City correlated with sedimentary profiles: *Bull. Geol. Soc. Am.* 66: 511-520.
- Cody, R.D. y Cody A.M., 1988, Gypsum nucleation and crystal morphology in analog saline terrestrial environments: *Journal of Sedimentary Petrology*, 58(2):247-255.
- Cohen, A. S., 1982, Paleoenvironments of root cast from the Koobi Flora Formation, Kenya: *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 52, 401-414.
- , 2003, Paleolimnology, The History and Evolution of Lake Systems. Oxford, University Press, 500 pp
- Cohen, A.S. y Thouin, C., 1987., Near shore carbonate deposits in Lake Tanganika: *Geology*, 15:414-418.
- Covich, A.P., y Stuiver, M., 1974, Changes in oxygen 18 as a measure of long –term fluctuations in tropical lake levels and molluscan populations: *Limnol. Oceanogr.*, 19; p. 682-691.

- Curtis, J.H., Hodell, D.A., y Brenner, M., 1996, Climate variability on the Yucatán Peninsula (Mexico) during the past 3500 years, and implications for Maya cultural evolution: *Quaternary Research*, 46, p. 37-47.
- Davis, H.R., Byers, H.R., Pratt, L.M., 1989, Depositional mechanisms and organic matter in Mowry Shale (Cretaceous) Wyoming. *AAPG*, V. 73, No. 9 p. 1103-1116.
- Dean, W.E. y Gardner J.V., 1998, Pleistocene to Holocene contrast in organic matter production and preservation on the California continental margin: *Geological Society of America Bull.* V.110; No.7 p. 888-899.
- Deevey, E.S., 1944, Pollen analysis and Mexican archaeology: an attempt to apply the method: *American Antiquity* . 10, 135-149.
- De León-Gutiérrez A., 1999, Investigación de las terrazas fluviales en el Cañón Santa Rosa para la reconstrucción de las variaciones climáticas regionales, desde Iturbide hasta las Crucitas, Linares, Nuevo León, México y la propuesta de una estratigrafía regional Cuaternaria. Fac. Cs. De la Tierra. U.A.N.L. Tesis de Maestría.
- Delrome, L.D., 1969, Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators: *Can. Journal Earth Sci.* # 6:1471-1475
- Delrome, L. D., 1989, Methods in Quaternary ecology #7. Freshwater ostracods: *Geosci. Can.*, 16, num. 2 pp. 85-90.
- Delrome, L. D., Zoltai, S.C., 1984, Distribution of an arctic ostracod faunal space and time: *Quaternary Research*, v. 21, p.65-73.
- DeNiro, M. J., y Hastorf, C., A., 1985, Alteration of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plant matter during the initial stages of diagenesis: Studies utilizing archaeological specimens from Peru : *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, p. 1737-1746.
- Desmarchelier, J.M., Goede A., Ayliffe L.K., McCulloch M.T., Moriarty K., 2000, Stable isotope record and its palaeoenvironmental interpretation for a late Middle Pleistocene speleothem from Victoria Fossil Cave, Naracoorte, South Australia: *Quaternary Science Reviews*, 19. p. 763-774.
- Dohrenwend, J. C., Bull W. B., McFaden L. D., Smith G. I., Smith R. S. U. y Wells S. G., 1991, Quaternary Geology of the Basin and Range Province in California en Morrison, R. B., ed., Quaternary nonglacial geology: Conterminous U.S. Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v K2. pp. 321-352
- Eguiluz, A. S., Aranda G., Marret R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. LIII, p. 1-26.
- Einsele, G., 2000, Sedimentary basins, evolution facies and sediment budget. 2nd Ed. Springer Verlag. 792 pp.

- Espitalié, J., Laporte, J.L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P., Paulet, J., Boutefeu, A., 1977, Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré de dévotion: *Revue de L'Institut Français du Pétrole*, v. 37, p. 23-42.
- Espitalié, J., Deroo y Marquis, F., 1985, La Pyrolyse Rock-Eval et ses Applications: *Revue de L'Institut Français du Pétrole*, v. 40, No. 5. p. 563-579 y 755-784
- Espitalié, J., Deroo y Marquis, F., 1985, La Pyrolyse Rock-Eval et ses Applications: *Revue de L'Institut Français du Pétrole*, v. 41 No. 1 p. 73-89
- Esteban, M., Klappa C.F., 1983 Subaerial Exposure. En Carbonate Depositional Environments, Scholle, P.A. Bebout, D.G. Moore, C.H. (Eds.): *A.A.P.G. Mem. 33*, 1-54.
- Esteva, L. M. (1963) Regionalización Sísmica de la República Mexicana: *Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica* 1(1) 30-35.
- Fægry, K, Iversen J., 1992 Textbook of Pollen Analysis. IV Ed. K. Faegry, P. Kaland, K. Krzywinski. John Willey & Sons, pp.328
- Fisher, M.P. y Jackson, P.B., Stratigraphic controls on deformation patterns in fault-related folds: a detachment fold example from the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico: *Journal of Structural Geology*, 21, p. 613-633.
- Flotte, L., M., 1992, El carbón y su análisis petrográfico, CFE, N.C. 8. 86 pp.
- Forester, R. M., 1991 a, Pliocene – Climate history of the western United States derived from lacustrine ostracods: *Quat. Sci. Rev.*, 10, p. 133-146,
- Freytet, P., 1973, Petrography and paleo-environment of continental carbonate deposits with particular reference to the Upper Cretaceous and Lower Eocene of Languedoc (Southern France): *Sediment. Geol.*, 10:25-60.
- Freytet, P., 1975, Quelques observations pétrographiques sur les calcaires continentaux rencontrés à l'excursion de mai 1974 de l'a. G. B.P. : faciès lacustres, modifications pédologiques, Microcodium: *Bull. Inf. Geol. Basin Paris*, 12(2):15-23.
- Freytet, P. y Plaziat J.C., 1982, Continental carbonate sedimentation and pedogenesis. Late Cretaceous and Early Tertiary of Southern France: *Contrib. Sedimentol.* 12, 213 pp.
- Götte, M., 1988, Estudio Geológico Estructural de Galeana, N.L. (México) y sus alrededores. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra U.A.N.L. Linares, 3:61-87
- Götte, M., Michalzik, D., 1992, Stratigraphic relations and facies sequences of an Upper Jurassic evaporitic ramp in the Sierra Madre Oriental (Mexico). *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 1991 (6) 1445-1446; Stuttgart.

- Hershler, R., 1984 The Hydrobiid snails (Gastropoda: Rissoacea) of the Cuatro Ciénegas Basin: Systematic relationships and ecology of a unique fauna: *Journal of the Arizona Nevada Academy of Science*. 19, 61-76 p.
- Héroux, Y., Tasse, N., 1990, Organic matter alteration in an Early Paleozoic basin: Zonation around mineral showings compared to that around intrusions. St. Lawrence Lowlands, Quebec, Canada: *Bulletin Geological Society of America*, v. 102, p. 877-888.
- Hodell, D.A., Curtis, J.H., y Brenner, M., 1995, Possible role of Caribbean climate change in the collapse of Classic Maya civilization: *Nature* 352, p. 391-394.
- Hoefs, J., 1997, Stable Isotope Geochemistry 4th ed. Springer Berlin, 201pp.
- Holzer, T.L., 1984, Ground failure induced by ground –water withdrawal from unconsolidated sediment. En: Man-Induced Land Subsidence, Reviews in Engineering Geology, vol. VI, Holzer, T.L., ed.: Geological Society of America p. 67-105.
- Huizar-Álvarez, R., Oropeza-Orozco, O., 1989, Geomorfología Karstica de la región de Galeana, Estado de Nuevo León: Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología. 8 (1): 71-83.
- Humphrey, W.E., 1956, Tectonic framework of Northeast Mexico: Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Society, v.6. p. 25-35.
- Hunt, J. M., 1996, Petroleum Geochemistry and Geology, 2nd Ed., W.H. Freeman and Co. N.Y. pp. 743.
- Hutchinson, G., Patrick R. y Deevey E.S., 1956, Sediments of lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 67, 1491-1504.
- Imlay, R. W., 1938. Studies of the Mexican geosyncline: *Geol. Soc. Am. Bull.* v. 49, p. 1651-1694.
- INEGI, 1986. Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León. Editado por la Secretaria de Programación y Presupuesto (S.P.P.), México, 170 p.
- Katz, B.J., 1990, Controls on distribution of lacustrine source rocks through time and space, En B.J. Katz, ed., Lacustrine basin exploration – case studies and modern analogs: AAPG Memoir 50, p. 61-76.1990
- Kelts, K., Hsü K.J., 1978, Fresh water carbonate sedimentation. En: Lakes, Chemistry, Geology and Physics. A. Lerman (Ed), Springer Verlag. 363pp.
- Kelts, K., Talbot M., 1988, Lacustrine Carbonates as Geochemical Archives of Environmental Change and Biotic / Abiotic Interactions. En: Lacustrine Petroleum Source Rocks, Fleet, A. J., Kelts, K. R. y Talbot, M.R. Ed. Geological Society Special Publication No. 40 p 289 – 315.

- Klappa, C.F., 1979, Lichen Stromatolites; criterion for subaerial exposure and a mechanism for the formation of laminar calcretes (caliche): *Jour. Sed. Petrology*, v. 49 p. 387-400.
- Klappa, C.F., 1980, Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance: *Sedimentology*, 27, 613-629.
- Laardère, T.G., Chaumillon, G., Amana, R., Heineman, G.; Lago, J. M., 1995, Examination of otholith morphology and microstructure using Laser Scanning Microscopy. En: Recent developments in fish otolith research. D.H. Décor; J.M. Dean; S. E. Campana, Eds. The Belle W. Baruch Library in Marine Science. No. 19. University of South Carolina Press, 735 pp.
- Lafargue, E., Espitalié, J., Marquis, F., y Pillot, D., 1996, Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon, production and in soil contamination studies. Institut Français du Pétrole, Vinci Technologies. 5th Latin American Congress on Organic Geochemistry, Cancun, 1986. 26 pp.
- Langford, F.F., Blanc-Valleron, M.M., 1990, Interpreting Rock-Eval Pyrolysis Data Using Graphs of Pyrolyzable Hydrocarbons vs. Total Organic Carbon: *American Association of Petroleum Geologist*. V.74 No. 6 p.799-804.
- Leuschner, D.C., y Siroco, F., 2000, The Low-latitude monsoon climate during Dansgaard –Oeschger cycles and Heinrich Events: *Quaternary Science Reviews*, 19, p. 243-254.
- Li, H.C., y Ku, T.L., 1997, $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{13}\text{O}$ Covariance as a paleohydrological indicator for closed-basin lakes: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. V. 133: 69-80.
- Löffler, H., 1986, Ostracod Analysis. En: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology, B. E., Berglund Ed. John Wiley & Sons. p 639 – 702 .
- López – Doncel, R., 1990, Mapeo Geológico en el área de Puente de Dios al Norte de Galeana N.L. y desarrollo facial de las Formaciones Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva (Albiano –Turoniano) en las regiones de Galeana e Iturbide, N.L. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L. Linares, 113 pp.
- Lozano-García, M.S., Xelhuanzi-López, M.S., 1997, Some problems in the Late Quaternary pollen records of Lake Chalco, central Mexico: Basin of Mexico and Zacapu: *Quaternary International*, 43/44, 117-123.
- Ložek, V., 1986, Mollusca analysis. En: Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. B. E. Berglund, (Ed) John Wiley & Sons. 869 p.
- Lugo-Hubp, J., 1990, El Relieve de la República Mexicana: México, D.F. , Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 9, p. 81-111.

- Martin, S., Mehringer P.J., 1965, Pleistocene pollen analysis and biogeography of the Southwest. En: *The Quaternary Story of the United States*, a review volume for the VII Congress of the International Association for Quaternary Research. Eds. H. E. Wright y D. G. Frey. Princeton University Press. 433 - 451pp.
- Marret, R., Aranda-García, M., 1999, Structure and Kinematics development of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, Mexico. In *Stratigraphy and structure of the Jurassic and Cretaceous platform and basin systems of the Sierra Madre Oriental. A field work and related papers*. South Texas Geological Society.
- Medina-Barrera, F., De León-Gómez, H., 2000, Zonas de Colapso en la Autopista 57 Saltillo-San Roberto, Nuevo León, México. Resumen, Memorias. XVII Simposio de Geología de Latinoamérica, Stuttgart, Alemania.
- Medina-Barrera, F., De León-Gómez, H., 2001, Impacto Geomorfológico por zonas de colapso en la región de Galeana, Nuevo León, México. XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo. UNESCO. Memorias.
- Meiburg, P., Aguilera, V., Muñoz B., 1982, Halotectonics and subsidence in the Northern Sierra Madre Oriental, Mexico. 8 Geowiss. Lat. Amerika-Kolloquium 1982, Göttingen, Tagungsheft: 64-65.
- Meinzer, E., 1922, Map of the Pleistocene Lakes of the Basin and Range Province and its Significance. *Geological Society of America Bull.*, V. 33 p 541-552.
- Meier, D., Kronberg, P., 1989, Klüftung in Sedimentgesteinen. 116S. 75 abb. Stuttgart.
- Metcalfe, S.E., 1997, Paleolimnological records of climate change in Mexico- frustrating past, promising future?: *Quaternary International*, v. 43/44, pp. 111-116.
- Meybeck, M., 1995, Global distribution of lakes. In *Lakes: Chemistry, Geology and Physics*, Lerman, A., Imborden, D.M., Gat, J.R. Eds. Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg, 308 pp.
- Meyer, E. R., 1973, Late-Quaternary paleoecology of the Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, Mexico: *Ecology*, 54: 982-995.
- Meyer, E. R., 1975, Vegetation and Pollen Rain in the Cuatro Ciénegas Basin Coahuila, México: *Southwestern Naturalist*, 1:22-36.
- Meyers, P.A., 1997, Organical geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes: *Org. Geochem.*, v. 27. No. 5/6, p. 213-250.
- Miall, A. D., 1996, *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer –Verlag. Berlin Heidelberg, New York. 582 pp.

- Miller, R.R., 1968, Two new fishes of genus *Cyprinodon* from the Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, Mexico, *Occ. Pap. Mus. Zool. Univ. Mich.*, No. 659: 1-15.
- Minkley, W. L., 1984, Cuatro Ciénegas Fishes: Research review and local test of diversity versus habitat size. En: *Biota de Cuatro Ciénegas, Coahuila México*. Marsh, P.C. Ed. *Journal of the Arizona Nevada Academy of Science*.19: 13-21.
- Morrison, R. B., 1991, Introduction. En Morrison R. B., Ed. *Quaternary Nonglacial Geology, Conterminous U.S. Boulder Colorado. Geological Society of America, The Geology of North America V K-2 1-13pp.*
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration / National Geophysical Data Center
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geology/odp/docs/reval.txt> Consultada 29.04.03
- Oropeza–Orozco, O., 1990, Depósitos Periglaciales y Erosión de Suelos en El Cerro Potosí, Mpio. de Galeana, N.L. México. *Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Degradación del Suelo*. p. 21-22.
- Padilla y Sánchez, J. R., 1978, Bosquejo Geológico - Estructural de la Sierra Madre Oriental en el área de Linares-Galeana-San Roberto, Estado de Nuevo León. Univ. Nal. Autón. México, *Revista Inst. de Geología*, 2 (1): p 45-54.
- Padilla y Sánchez, J. R., 1985, Las estructuras de la Curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. *Rev. Inst. Geol. U.N.A.M*, 6 (1) :1-20
- PAICYT CT629, 2002, Medina-Barrera F., Yutis V., Kouzoub N. Cartografía geológica y estratigrafía de El Potosí-Los Enebras, Galeana, N.L., como base para delimitar riesgos geológicos por incendios subterráneos. Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L. Reporte Interno.28 pp.
- Palacios-Fest, M.R., Cohen, A. S., Ruiz, J., Blank, B., 1993, Comparative Paleoclimatic Interpretations from Nonmarine Ostracodes Using Faunal Assemblages, Trace Elements Shell Chemistry and Stable Isotope Data. *Climate Change in Continental Isotopic Records: American Geophysical Union, Geophysical Monograph 78*, pp. 179 – 190.
- Palacios-Fest, M.R., Cohen, A. S., Anadon, P., 1994, Use of ostracodes as paleoenvironmental tools in the interpretation of ancient lacustrine records: *Revista Española de Paleontología*, 9 (2) pp. 145-164.
- Palacios–Fest, M.R., 1997, Continental ostracode paleoecology from the Hohokam Pueblo Blanco area, central Arizona: *Journal of Archaeology Science*, 24, 295-983.
- Palacios-Fest, M.R., Dettman, D.L., 2001, Temperature controls monthly variations in Ostracode valve Mg/Ca: *Cypridopsis vidua* from a small lake in Sonora, Mexico: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 65, No. 15pp. 2499-2507.

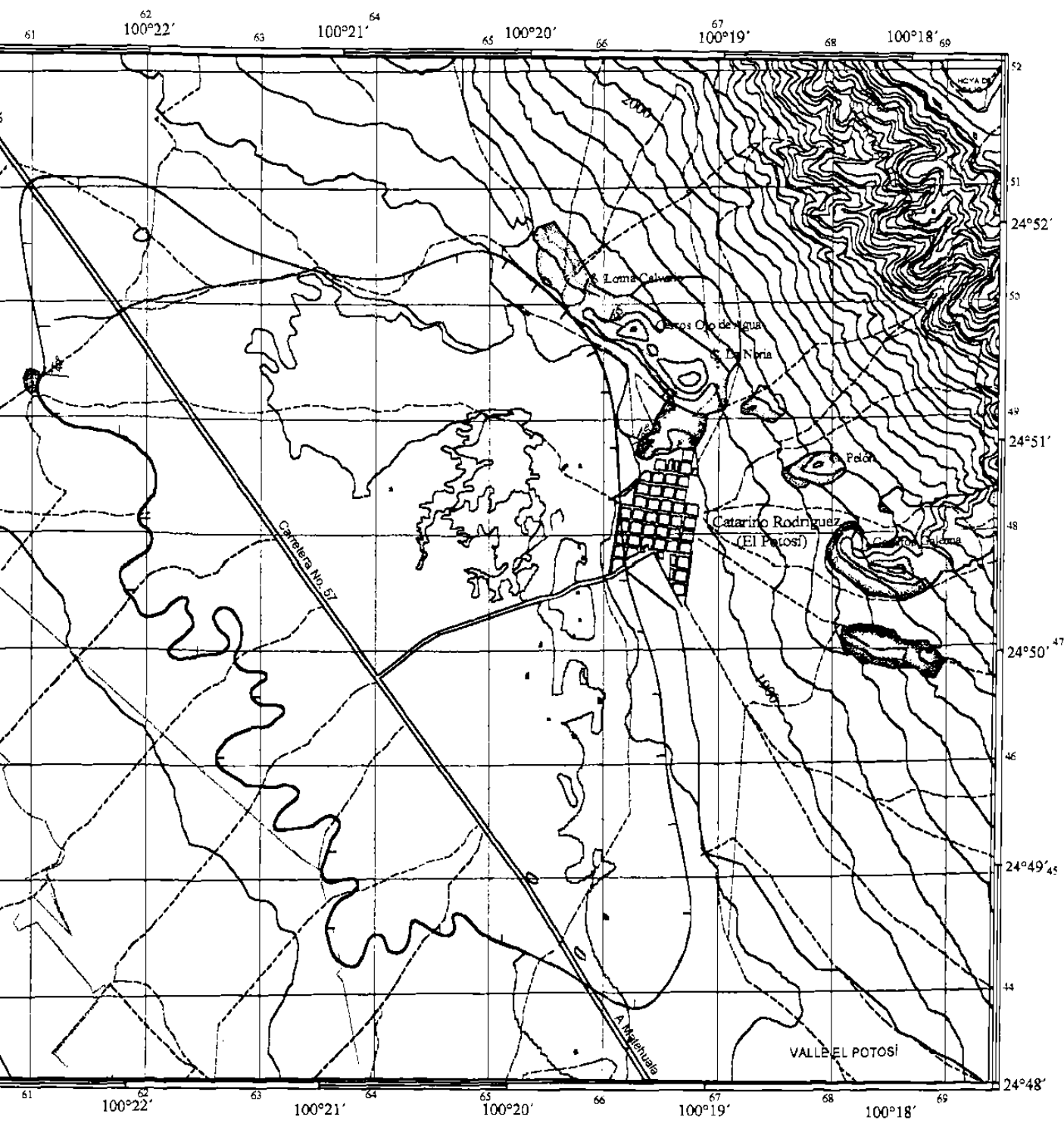
- Pearson, F., J., y Coplen, 1978, Stable isotope studies of lakes. En Lerman, A. (Ed.), *Lakes: Chemistry, Geology, and Physics*. Springer-Verlag, N.Y., p. 325-339.
- Pedersen, T.F. y Calvert, S. E., 1990, Anoxia vs. Productivity: What Controls the Formation of Organic-Carbon-Rich Sediments and Sedimentary Rocks?: *AAPG. Bull.* V.74, No. 4. p. 454-466.
- Pedraza-Rodríguez, M. U., 1997, Movimientos en masa y consecuencias en el área de Iturbide, N.L. Sierra Madre Oriental. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L. Linares, 95 pp.
- Peterson-Rodríguez, R. H., 2001, Análisis estructural en el anticlinorio de La Casita, Sierra de Parras, Coahuila, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. 173 pp.
- Platt, N. H., Wright, V.P., 1992, Palustrine carbonates and the Florida Everglades: toward an exposure index for the fresh-water environment: *Journal of Sedimentary Petrology*, 62(6): 1058-1071.
- Quade, J., Cerling, T.E., y Bowman, J.R., 1989, Systematic variations in the carbon and oxygen isotopic composition of pedogenic carbonate along elevation transects in the southern Great Basin, United States: *Geological Society of America Bulletin*, v.101, p. 464-475.
- Rhan, P.H., 1996., *Engineering Geology, an environmental approach*. 2 Ed. Prentice Hall, 657p.
- Rodríguez-Aranda, J.P., Calvo, J.P., 1998, Trace fossils and ricoliths as a tool for sedimentological and palaeoenvironmental analysis of ancient continental evaporite successions: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140: 383-399.
- Rodríguez-Pimienta, M. (en preparación) Estudio Gravimétrico en el Valle de Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis de Licenciatura, Ingeniero Geofísico, Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L.
- Romeis, B. 1968, *Mikroskopische Technik*. R. Oldenbourg Verlag München. 757 p.
- Rosen, M.R., 1994, The importance of groundwater in playas: A review of Playa Classifications and the sedimentology and hydrology of playas. En Rosen M.R., ed., *Paleoclimate and Basin Evolution of Playa Systems*: Boulder, Colorado: Geological Society of America Special Paper 289. pp. 1-18.
- Rosenmeier, M.F., Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., Martin, J.B., Anselmetti, F.S., Ariztegui, D., Guilderson, T., 2002 a, Influence of vegetation on watershed hydrology: implications for paleoclimatic interpretation of lacustrine $\delta^{18}\text{O}$ Records: *Journal of Paleolimnology*, 27: 117-131.
- Rosenmeier, M.F., Hodell, D.A., Brenner, M., Curtis, J.H., 2002 b, a 4000 – Year lacustrine record of environmental change in the southern Maya Lowlands, Petén, Guatemala: *Quaternary Research*, 57, p. 183-190.

- Rossinsky, V., Swart, P.K., 1993, Influence of Climate on the Formation and Isotopic Composition of Calcretes. En: *Climate Change in Continental Isotopic Records: Geophysical Monograph 78*. 67-75.
- Ruiz, M.A.M., 1990 Zur Gliederung, Verbreitung und oekologischen Bewertung der Boeden in der Region von Linares, N.L. Mexiko. *Göttinger Beiträger zur Land - und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, 56:119-143.
- Ruiz, M. M.A., Werner, J., 1997, Research into the Quaternary sediments and climatic variations in NE Mexico: *Quaternary International*, v. 43/44, pp. 145-151
- Sánchez, R., 1987, Cambios en la comunidad de *Pinus culminicola* Andersen & Beaman, en el Cerro Potosí, N. L. En *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, México pp.65-73.
- Secor, D. H., Dean, J. M., Campana, S. E., 1995, Fish Otoliths: Faithful biological and environmental chronometers? En: *Recent developments in fish otolith research*. D.H. Décor; J.M. Dean; S. E. Campana, Eds. The Belle W. Baruch Library in Marine Science. No. 19. University of South Carolina Press, 735 p.
- Schwalb, A., Locke, S. M., Dean, W. E., 1995, Ostracod $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ evidence of Holocene environmental changes in the sediments of two Minnesota lakes: *Journal of Paleolimnology*. 14, p. 281-296.
- Schoenherr, P., 1988, Litho-und Mikrobiostratigraphie der Mittel-und Oberkreide Nordmexiko (Alb. bis Campa.) Universität Hannover. 176 pp.
- Sears, P.B., Clisby, K., 1955, Palynology of Southern North America. IV. Pleistocene climate in Mexico.. *Geol. Soc. Am. Bull.* , 66: 511-520.
- Secretaría de Programación y Presupuesto -SPP- (1981) Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. INEGI, México, D.F. 170 pp.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez F., Speed, R. C., 1993, Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 287. 153pp.
- Siegenthaler, U., y Eicher, U., 1986, Stable oxygen and carbon isotope analysis, En *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Ed: B.E. Berglund, John and Wiley & Sons, p 407-422.
- Smith, G.J., 1991 Continental paleoclimatic records and their significance. En Morrison R. B., Ed. *Quaternary Nonglacial Geology, Conterminous U.S.* Boulder Colorado. Geological Society of America, *The Geology of North America V K-2* – p 35-42.
- SSN: Servicio Sismológico Nacional. Sitio web: <http://www.ssn.unam.mx/>. Consultado el 29.04.01.
- Stephens, J.C., Allen, L.H., Chen, E., 1984, Organic Soil Subsidence. En: *Man-Induced Land Subsidence, Reviews in Engineering Geology*, vol. VI, Holzer, T.L., ed.: Geological Society of America p. 107-122.

- Stinnesbeck, W., 1992, Amonites de la Formación Cuesta del Cura (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior) en el área de Galeana, Nuevo León: *Rev. Soc. Mex. de Paleont.* 4(1):63-85.
- Talbot, M. R., 1988, The origins of lacustrine oil source rocks: evidence from the lakes of tropical Africa, in A.J. Fleet, K. Kelts, and M. R. Talbot, eds., Lacustrine petroleum source rocks: Geological Society Special Publication 40, p. 29-43.
- Talbot, M. R., Allen, P. A., 1996, Lakes. En: Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy. H.G. Reading, Ed. Blackwell Science. 3rd Edition. p. 83-124.
- Tardy, M., 1972, Sobre la estratigrafía de la Sierra Madre Oriental en el sector de Parras, Coahuila; distinción de las series Coahuilense y Parrense: *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, v. 33, p. 51-70.
- Teeri, J.A., y Stowe, L.G., 1976, Climatic patterns and distribution of C4 grasses in North America: *Oecologia*, v. 23, p. 1-12.
- Tieszen, L.L., Senyimba, M.M., Imbamba, S.K., Troughton, J.H., 1979, The distribution of C3 and C4 grasses and carbon isotope discrimination along an altitudinal and moisture gradient in Kenya: *Oecologia* 37, p. 337-350.
- Tissot, B.P., y Welte, D.H., 1984, Petroleum formation and occurrence 2nd Ed: Berlin, Springer Verlag, 669 pp.
- Tucker M.E., Wright V.P. (1990) Carbonate Sedimentology. Blackwell, Oxford 424 pp.
- Werner, J., 1996, Introducción a la Hidrogeología. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra. 1^{ed}. 174 pp.
- Wolter, K., 1988, Geologische Kartierung (1:10 000) des Ober-Jura und der Unter-Kreide im Raum nordwestlich San Lucas /Galeana (Sierra Madre Oriental, Mexiko). Dipl.Arb.TU - Clausthal: 71 S. (no.pub.)
- Van Devender, T.R., Burgess, T.L., 1985, Late Pleistocene Woodlands in the Bolson de Mapimi: A Refugium for the Chihuahuan Desert Biota?: *Quaternary Research*, 24, 346-353.
- Van Devender, T.R., 1986, Pleistocene climates and endemism in the Chihuahuan Desert flora. Chihuahuan Desert -U.S. and Mexico, III, pp.1-19.
- Van Geel, B. S., 1981, Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. En: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. B.E. Berglund (Ed). John Willey & Sons. 869 pp.
- Van Geel, B. S., Bohncke, J. P., Dee, H., 1981, A palaeoecological study of an Upper Late Glacial and Holocene sequence from "De Borchert", The Netherlands: *Review of Paleobotany and Palynology*. 31:367-448.

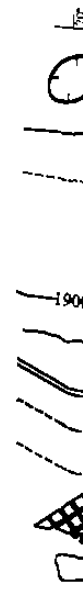
- Verdín, H., 1960, Vorschläge zu einer international einheitlichen Darstellung auf lithologischen, tektonischen und hydrogeologischen Zeichnungen und Karten. Geol. Mitt. Band1, FET 1, S.1-120 mit 32 Bildseiten, Aachen.
- Xelhuantzi-López, M.S., 1994^a, Estudio palinológico de cuatro sitios ubicados en la cuenca de Zacapu: fondo de ciénega, contacto lomas-ciénega, pantano interno y loma alta. Cuadernos de Estudios Michoacanos 6, 81-93.
- Yu, Z., McAndrews, J.H., Eicher, U., 1997, Middle Holocene dry climate caused by change in atmospheric circulation patterns: Evidence from lake levels and stable isotopes: *Geology*, v.25 no. 3. p. 251-254.

Anexos

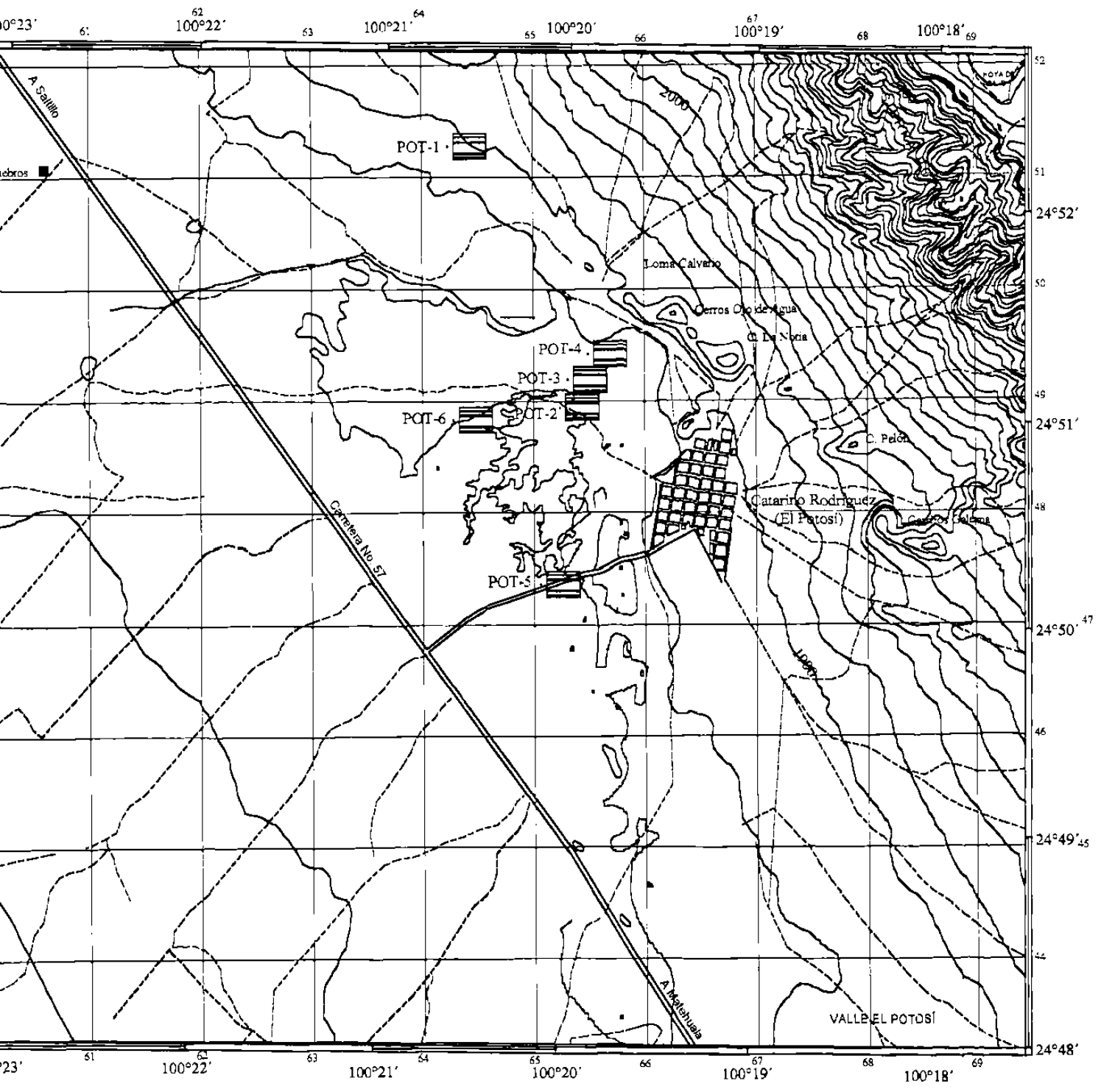


Topografía digitalizada de CETENAL-INEGI, 1975. Cartas La Paz G14C55 y Galeana G14C565, Escala 1:50,000. SYG.

Cenozoico	Cuaternario
Mesozoico	Cretácico



Univ
C



Topografía digitalizada de CETENAL-INEGI, 1975. Cartas La Paz G14C55 y Galeana G14C565, Escala 1:50,000. SYG.

Anexo 3

Metodología del preparado de muestras para el Análisis Palinológico

La preparación de muestras para análisis de polen se hizo considerando la metodología de Fægri e Iversen (1992), adaptada por Hölzer y Amezcua para el análisis de muestras del Potosí –Los Enebras.

- Tratamiento con HCl - Defloculación y eliminación de CaCO_3 .

En la mayoría de los casos HCl al 10% en frío, es suficiente para remover los carbonatos, éste es agregado a los 2 gr. de muestra. La espuma formada durante la reacción es controlada con gotas de alcohol al 96%. Si el Ca no es removido, forma un precipitado negro insoluble que puede destruir la preparación.

- Tratamiento con KOH - Ácidos húmicos

Los ácidos húmicos (por ejemplo, coloides orgánicos insaturados) son removidos al hervir con KOH al 10% o (NaOH). La concentración de KOH no debe exceder el 10%. Hervir por un periodo prolongado (mas de 5 min.) ataca la exina de algunas especies. Si la muestra contiene demasiados ácidos húmicos, el fluido resultante será de un color café oscuro a negro, por lo que se debe repetir el tratamiento para removerlo.

- Tamizado – Eliminación de partículas de gran tamaño

Para tamizar, las muestras deben ser agitadas inmediatamente después de haber sido hervidas con KOH y pasadas por un tamiz de 0.2 mm. La suspensión fina obtenida contendrá los granos de polen, la cual se centrifuga. El centrifugado se realiza durante 5 minutos a 3,000 rpm (Hölzer, com. pers.)

- Tratamiento en frío con HF- Remoción de Silicatos

Colocar el residuo obtenido del tratamiento con KOH en un contenedor de plástico y agregar HF 10%. Dejar 24 horas o más. Mezclar ocasionalmente. Centrifugar. Calentar con HCL 10%, sin hervir, para remover coloides de SiO_2 y flourosilicatos. Centrifugar mientras aun este caliente. Lavar repetidamente con agua destilada hasta neutralizar.

La conservación de las muestras lavadas se realiza colocando material obtenido del tratamiento con HF en un frasco con glicerina. Para el conteo y descripción del contenido polínico, se coloca una cantidad de la muestra anteriormente mencionada en un portaobjetos, mezclándola con glicerina gelatinizada (ver Romeis, 1968), colocando un cubreobjetos y sellando los extremos con una mezcla de resina y lanolina.

POTOSI 3					ENEBROS				
Sample Name	Run	Port	d13C VPDB	d18O VPDB	Sample Name	Run	Port	d13C VPDB	d18O VPDB
POT60-70	10348	6	-3.81	-3.45	ENE40-50	10321	9	-5.34	-2.41
POT80-90	10347	5	-5.46	-5.04	ENE50-60	10317	5	-5.60	-1.56
POT100-110	10349	7	-4.34	-6.52	ENE60-70	10318	6	-4.38	-1.04
POT120-130	10350	8	-4.01	-6.05	ENE70-80	10319	7	-5.26	-1.17
POT140-150	10351	9	-5.11	-5.71	ENE80-90	10320	8	-3.76	-2.18
POT160-170	10352	10	-4.38	-3.33	ENE110-120	10322	10	-3.75	-5.73
POT180-190	10353	11	-3.92	-3.81	ENE130-140	10323	11	-4.34	-5.07
POT200-210	10354	12	-4.93	-4.39	ENE180-190	10324	12	-4.26	-5.10
POT220-230	10355	13	-4.37	-1.35	ENE260-270	10325	13	-3.34	-6.76
POT240-250	10356	14	-5.11	-4.05	ENE270-280	10326	14	-3.66	-7.29
POT260-270	10360	18	-4.63	-1.88	ENE320-330	10330	18	-3.34	-7.33
POT280-290	10361	19	-4.01	-2.76	ENE330-340	10331	19	-3.61	-6.28
POT300-310	10362	20	-1.25	2.58	ENE340-350	10332	20	-4.58	-7.48
POT320-330	10363	21	1.15	1.10	ENE350-360	10333	21	-4.44	-6.64
POT460-470	10364	22	-1.80	-2.24	ENE360-370	10334	22	-4.22	-7.25
POT470-480	10365	23	-2.99	-5.89	ENE370-380	10385	14	-4.25	-6.19
POT500-510	10366	24	-3.43	-5.10	ENE380-390	10379	8	-5.11	-8.70
POT510-520	10367	25	-1.91	-3.24	ENE390-400	10380	9	-3.70	-7.56
POT520-530	10368	26	-0.08	-2.55	ENE400-410	10381	10	-4.06	-8.02
POT540-550	10376	5	-1.79	-4.04	ENE410-420	10382	11	-2.96	-5.12
POT560-570	10377	6	-1.92	-2.91	ENE420-430	10335	23	-3.26	-7.93
POT570-580	10378	7	-3.06	-5.31	ENE430-440	10336	24	-3.19	-7.78
POT630-640	10384	13	-4.21	-3.20	ENE440-450	10337	25	-4.82	-6.64
POT640-650	10383	12	-2.40	-2.87	ENE450-460	10338	26	-3.10	-6.61
					ENE460-470	10339	27	-3.27	-6.14

IRMS-MP März 2002,

Std. NBS 19

Limstone

$\delta^{13}\text{C} = 1.95$ [Promille], $\delta^{18}\text{O} = -2.2$ [Promille]

ANEXO 4.- Datos de isótopos estables de oxígeno y carbono de las secciones Potosí 3 y Enebras. Realizados en el Laboratorio de Espectrometría, Departamento de Geoquímica Universidad de Karlsruhe, Alemania, Marzo, 2002.

Potosí2

Sample	PC (%)	RC (%)	TOC (%)	MINC (%)	HI [mg HC/g TOC]	OI [mg CO2/g TOC]	Tmax [°C]	S1 [mg HC/g]	S2a [mg HC/g]	S2b [mg HC/g]	S3	(\$1+\$2a)/S2b	Repeats	Quant	CyctN	CyctT	Sample Date	File
12100	7.96	37.58	45.546786503566+075	3.27	132	174	330	9.72	25.25	34.81	79.35	1.00	Analysis	41.9	Default	Bulk Rock	03-13-03 17:29:06	077_11_r00
12101	11.76	35.56	47.42	2.43	214	148	334	16.97	44.30	57.25	70.41	1.07	Analysis	41.3	Default	Bulk Rock	03-14-03 13:16:42	077_12_r00
12102	0.07	0.94	1.01	10.79	32	170	368	0.00	0.05	0.28	1.72	0.19	Analysis	50.3	Default	Bulk Rock	03-14-03 14:17:19	077_13_r00
12103	0.22	2.46	2.66	9.30	48	159	381	0.00	0.17	1.13	4.27	0.15	Analysis	50.8	Default	Bulk Rock	03-14-03 15:11:07	077_14_r00
12104	0.23	3.75	3.98	10.46	32	118	357	0.00	0.12	1.15	4.88	0.10	Analysis	50.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 16:12:30	077_15_r00
12105	0.13	0.85	0.98	7.91	18	426	366	0.00	0.01	0.17	4.19	0.06	Analysis	50.9	Default	Bulk Rock	03-14-03 17:10:08	077_16_r00
12106	1.74	7.68	9.40	2.35	182	104	354	0.86	1.71	15.41	9.74	0.16	Analysis	40.2	Default	Bulk Rock	03-14-03 18:07:41	077_17_r00
12107	1.80	16.57	18.37	2.19	76	118	357	0.59	1.82	12.17	21.77	0.20	Analysis	40	Default	Bulk Rock	03-14-03 18:05:17	077_18_r00
12108	0.60	3.02	3.62	8.39	146	153	361	0.14	0.69	4.60	5.53	0.18	Analysis	51.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 20:42:52	077_19_r00
12109	1.89	10.92	12.81	1.43	132	115	351	1.00	2.06	14.86	14.78	0.21	Analysis	37	Default	Bulk Rock	03-14-03 21:00:38	077_20_r00
12110	2.04	8.97	11.01	6.33	173	140	354	0.55	2.65	16.35	15.39	0.20	Analysis	50.6	Default	Bulk Rock	03-14-03 21:08:30	077_21_r00
12111	3.17	11.46	14.64	3.23	210	129	358	1.26	5.01	25.75	18.95	0.24	Analysis	40.6	Default	Bulk Rock	03-14-03 23:53:15	077_23_r00
12112	0.56	3.88	4.44	11.22	97	181	354	0.05	0.44	3.98	7.15	0.13	Analysis	50.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 00:09:52	077_24_r00
12113	5.09	33.23	38.32	3.15	80	217	360	3.34	8.91	21.88	83.02	0.56	Analysis	40.4	Default	Bulk Rock	03-14-03 01:48:28	077_25_r00

Potosí3

Sample	PC (%)	RC (%)	TOC (%)	MINC (%)	HI [mg HC/g TOC]	OI [mg CO2/g TOC]	Tmax [°C]	S1 [mg HC/g]	S2a [mg HC/g]	S2b [mg HC/g]	S3	(\$1+\$2a)/S2b	Repeats	Quant	CyctN	CyctT	Sample Date	File
12114	0.87	4.23	5.20	10.25	143	202	365	0.83	2.45	4.98	10.48	0.66	Analysis	50.3	Default	Bulk Rock	03-14-03 07:46:47	077_26_r00
12115	0.83	3.46	4.09	10.17	116	174	358	0.41	1.32	3.51	7.13	0.49	Analysis	50.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 08:43:37	077_27_r00
12116	0.10	0.37	0.47	10.33	115	382	355	0.00	0.07	0.47	1.84	0.16	Analysis	70	Default	Bulk Rock	03-14-03 09:41:12	077_28_r00
12117	0.04	0.06	<0.1	11.05	18	910	373	0.00	0.00	0.01	1.33	0.00	Analysis	70	Default	Bulk Rock	03-14-03 09:38:47	077_29_r00
12118	0.03	0.09	0.13	10.99	18	990	370	0.00	0.00	0.01	1.14	0.00	Analysis	70.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 09:35:51	077_30_r00
12119	0.03	0.06	0.11	10.57	80	213	370	0.00	0.13	0.43	1.13	0.00	Analysis	71.2	Default	Bulk Rock	03-14-03 09:33:57	077_31_r00
12120	0.09	0.61	0.69	7.26	80	680	375	0.00	0.06	0.29	1.48	0.29	Analysis	50.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 09:31:32	077_32_r00
12121	0.07	0.17	0.24	11.57	141	141	375	0.00	0.00	0.06	1.68	0.19	Analysis	68.1	Default	Bulk Rock	03-14-03 19:08:15	077_35_r00
12122	0.04	0.03	<0.1	11.67	9	831	383	0.00	0.00	0.06	1.24	0.00	Analysis	69.4	Default	Bulk Rock	03-14-03 19:06:51	077_36_r00
12123	0.04	0.04	<0.1	10.86	132	247	382	0.00	0.00	0.02	1.25	0.00	Analysis	69.9	Default	Bulk Rock	03-14-03 20:04:29	077_37_r00
12124	0.03	0.01	<0.1	11.50	186	120	356	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	Analysis	66.2	Default	Bulk Rock	03-14-03 21:02:06	077_38_r00
12125	0.04	0.06	<0.1	9.70	206	124	363	0.00	0.00	0.00	1.42	0.00	Analysis	66.3	Default	Bulk Rock	03-14-03 21:05:41	077_39_r00
12126	0.01	0.01	<0.1	2.69	231	145	360	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	Analysis	68.8	Default	Bulk Rock	03-14-03 22:57:16	077_40_r00
12127	0.03	0.09	0.12	8.41	9	831	383	0.00	0.00	0.01	0.89	0.00	Analysis	69.9	Default	Bulk Rock	03-14-03 23:04:42	077_41_r00
12128	0.11	0.51	0.62	7.77	132	247	382	0.00	0.23	0.60	1.54	0.38	Analysis	70.3	Default	Bulk Rock	03-14-03 09:53:37	077_42_r00
12129	3.17	14.89	18.07	2.85	186	120	356	1.06	4.49	25.56	21.60	0.22	Analysis	70.6	Default	Bulk Rock	03-14-03 01:40:02	077_43_r00
12130	3.18	11.86	15.04	5.38	206	124	363	1.13	5.84	25.19	18.61	0.28	Analysis	67	Default	Bulk Rock	03-14-03 02:47:38	077_44_r00
12131	1.27	4.09	5.36	8.78	231	145	360	0.36	1.85	10.52	7.78	0.21	Analysis	70.2	Default	Bulk Rock	03-14-03 03:46:10	077_45_r00

ANEXO 5. Resultados de la Pirólisis Rock-Eval 6 en las secciones Potosí 2 y Potosí 3, realizados en el Departamento de Geoquímica de la Universidad de Neuchâtel, Suiza, Marzo 2002.

Enebro

12061	0.09	0.32	0.41	10.83	84	521	378	0.00	0.09	0.26	2.12	0.33	Analysis	67.3	Default	Bulk Rock	032302164024	077_47,000
12062	0.05	0.18	0.23	10.86	38	687	375	0.00	0.02	0.06	1.55	0.33	Analysis	68.8	Default	Bulk Rock	032302163900	077_48,000
12063	0.05	0.15	0.20	9.88	49	756	376	0.00	0.03	0.09	1.50	0.50	Analysis	66.2	Default	Bulk Rock	032302163536	077_49,000
12064	0.06	0.18	0.24	10.17	54	682	388	0.00	0.03	0.10	1.66	0.33	Analysis	69.5	Default	Bulk Rock	032302163311	077_50,000
12065	0.03	0.06	<0.1	10.80				0.00	0.00	0.00	1.18		Analysis	69.9	Default	Bulk Rock	032302163047	077_51,000
12066	0.02	0.02	<0.1	8.18				0.00	0.00	0.00	0.67		Analysis	67.4	Default	Bulk Rock	032302162823	077_52,000
12067	0.01	0.01	<0.1	11.58				0.00	0.00	0.00	0.47		Analysis	68	Default	Bulk Rock	032302162599	077_53,000
12068	0.01	0.01	<0.1	10.87				0.00	0.00	0.00	0.27		Analysis	68.7	Default	Bulk Rock	032302162335	077_54,000
12069	0.01	0.02	<0.1	11.40				0.00	0.00	0.00	0.47		Analysis	68.5	Default	Bulk Rock	032302162110	077_55,000
12070	0.01	0.03	<0.1	10.01				0.00	0.00	0.00	0.54		Analysis	66.2	Default	Bulk Rock	032302161848	077_56,000
12071	0.02	0.03	<0.1	11.58				0.00	0.00	0.00	0.71		Analysis	69.9	Default	Bulk Rock	032302161621	077_57,000
12072	0.03	0.05	<0.1	11.12				0.00	0.00	0.00	1.21		Analysis	70.5	Default	Bulk Rock	032302161408	077_59,000
12073	0.01	0.03	<0.1	12.48				0.00	0.00	0.00	0.43		Analysis	68	Default	Bulk Rock	032302160998	077_90,000
12074	0.01	0.03	<0.1	11.55				0.00	0.00	0.00	0.26		Analysis	70.9	Default	Bulk Rock	032302160621	077_91,000
12075	0.01	0.03	<0.1	12.31				0.00	0.00	0.00	0.37		Analysis	67.6	Default	Bulk Rock	032302160398	077_92,000
12076	0.02	0.05	<0.1	11.24				0.00	0.00	0.00	0.79		Analysis	70.8	Default	Bulk Rock	032302160136	077_93,000
12077	0.01	0.07	<0.1	10.86				0.00	0.00	0.00	0.52		Analysis	70.2	Default	Bulk Rock	032302159903	077_94,000
12078	0.10	0.48	0.56	9.84	137	223	354	0.00	0.10	0.67	1.24	0.14	Analysis	67.2	Default	Bulk Rock	032302159638	077_95,000
12079	0.76	2.19	2.96	10.38	235	215	383	0.17	1.25	5.68	6.85	0.25	Analysis	67.5	Default	Bulk Rock	032302159354	077_96,000
12080	0.33	0.85	1.19	11.92	250	322	354	0.03	0.31	2.43	3.82	0.14	Analysis	69.8	Default	Bulk Rock	032302159122	077_97,000
12081	0.34	0.77	1.11	11.44	283	248	352	0.04	0.36	2.79	2.78	0.14	Analysis	68	Default	Bulk Rock	032302158848	077_99,000

ANEXO 5'. Resultados de la Pirólisis Rock-Eval 6 en la sección Enebro, realizados en el Departamento de Geoquímica de la Universidad de Neuchâtel, Suiza, Marzo 2002.

Natalia Amezcua
n_amezcua @ gmx.net

