

# Los paleoambientes holocénicos de la Laguna de Babícora, Chihuahua, México

José R. Ortega-Ramírez

*Departamento de Paleomagnetismo.*

*Instituto de Geofísica, UNAM, MEXICO.*

Recibido: 10 de mayo, 1993; aceptado: 13 de octubre, 1994.

## RESUMEN

En la región semiárida de la Laguna de Babícora, al noroeste del Estado de Chihuahua, se estudiaron ocho perfiles estratigráficos que cubren temporalmente el intervalo del Estadío Isotópico I. La interpretación de los resultados de los análisis sedimentológicos, estadísticos, estratigráficos y siete fechamientos de  $^{14}\text{C}$ , permiten reconstituir y en algunos casos inferir los paleoambientes desde el Wisconsiniano Tardío hasta el Presente. La cronología paleoambiental propuesta en este trabajo es: (1) de ca. 18 ka. A.P. a ca. 10 ka A.P. ambiente pluvial u Óptimo Lacustre; (2) de ca. 10 ka A.P. a ca. 6 ka A.P., disminución de la precipitación y aumento de la temperatura, los ambientes son de tipo pantano; (3) de ca. 6 ka A.P. a 3 ka A.P. las condiciones áridas persisten; sin embargo, las estructuras, la morfología y la sedimentología de los depósitos fluviales sugieren precipitaciones ocasionales abundantes; (4) de ca. 3 ka A.P. al Presente, las condiciones semiáridas que caracterizan en nuestros días la región se instalan, precedidas por una fase de morfoestabilidad manifestada en un paleosuelo (horizonte Bt).

De acuerdo con las características paleoambientales anteriores, suponemos que las condiciones paleoclimáticas de la región de La Laguna de Babícora fueron similares a las del suroeste de los Estados Unidos; es decir, régimen de lluvias centradas en invierno durante el Wisconsiniano Tardío, y en verano durante el Holoceno.

**PALABRAS CLAVE:** Chihuahua, Estadío Isotópico I, Wisconsiniano Tardío, Holoceno, paleoambientes, paleoclima, semiárida.

## ABSTRACT

In the semi-arid region of Laguna de Babícora, northwestern State of Chihuahua, eight stratigraphic profiles have been studied which cover the interval of the Isotope Stage I. The results of the sedimentological, statistical and stratigraphical analyses supported by seven dates of  $^{14}\text{C}$  enable us to reconstruct and infer the paleoenvironments since the Late Wisconsin up to the Present. The paleoenvironmental chronology suggested in this study is: (1) from ca. 18 ky B.P. to ca. 10 ky B.P. pluvial environment or Lacustrine Optimum; (2) from ca. 10 ky B.P. to ca. 6 ky B.P. decrease in precipitation and increase in temperature with a marsh-type environment; (3) from ca. 6 ky B.P. to 3 ky B.P.: the arid conditions persist, but the sedimentary structures and the morphology of fluvial deposits suggest abundant occasional precipitations; (4) from ca. 3 ky B.P. to the Present, the semi-arid conditions that characterize the region today become firmly established, preceded by a period of soil formation as suggested by presence of paleosol (horizon Bt). We suggest that the paleoclimatic variations of Laguna de Babícora were similar to those of the southwestern part of the United States; i.e. abundant precipitations in winter during Late Wisconsin and in summer during Holocene.

**KEY WORDS:** Chihuahua, Isotope Stage I, Late Wisconsin, Holocene, paleoenvironments, paleoclimate, semi-arid.

## INTRODUCCION.

A lo largo de la historia geológica de la Tierra, el ambiente considerado como un sistema dinámico en el que se realizan transferencias de energía y de materia ha sufrido transformaciones a veces graduales y en otros casos repentinas. Estas últimas, particularmente las ocurridas durante la última deglaciación (Estadío Isotópico I), han provocado cambios en la vegetación (Jacobson *et al.*, 1987; Spaulding, 1990); en la estacionalidad de las lluvias (COHMAP, 1987); en la salinidad de las corrientes marinas y temperaturas de las superficies oceánicas (Duplessy *et al.*, 1992; Broecker, 1990; Berger W.H., 1990); en los niveles lacustres (Street-Perrot y Harrison, 1985; Kutzbach y Street-Perrot, 1985); en la dinámica fluvial (Schumm y Brakenridge, 1987); en los niveles marinos (Schnack y Pirazzoli, 1990); en el dióxido de carbono atmosférico (Siegenthaler y Wenk, 1984; Pisias y Shackleton, 1984; Shackleton *et al.*, 1983; Delmas y Legrand, 1980; Sarmiento y Toggweiler, 1984) y en el volumen de los glaciares continentales.

La manera de inferir estas transformaciones es por medio de los estudios pluridisciplinarios de reconstrucción paleoambiental. Estos aportan elementos que permiten precisar la temporalidad y la variabilidad natural del sistema terrestre, además proporcionan datos para la elaboración de modelos numéricos contra los que se compara el ambiente actual; de esta manera se puede determinar si las condiciones actuales son debidas a la influencia puramente antropogénica, o si son el resultado de procesos naturales. Conociendo el pasado y el presente se puede inferir el futuro.

En el presente trabajo de reconstrucción paleoambiental/paleoclimático se analizan las variaciones del componente físico del ambiente, tomando como base los resultados de los análisis sedimentológicos, estadísticos, mineralógicos, micromorfológicos, morfoscópicos, geomorfológicos y estratigráficos, de un paleolago localizado en el noroeste de México, la Laguna de Babícora.

Para tal fin se seleccionaron 8 perfiles cuyos espesores varían de 0.9 m. a 8.0 m., distribuidos al norte, nores-

te noroeste y sureste de la cuenca; de estos se tomaron un total de 99 muestras de sedimentos, de acuerdo con criterios de muestreo sedimentológico-estratigráfico.

La correlación estratigráfica entre perfiles se apoyó, además de los estudios anteriormente citados, en el análisis en componentes principales (Ortega-Ramírez, 1990) y en 7 fechamientos por  $^{14}\text{C}$ . Por último, se compararon nuestros datos con los resultados de los estudios paleoambientales de regiones situadas en latitudes vecinas como son las del suroeste de los Estados Unidos, con el propósito de integrarlos dentro de un contexto paleoclimático global para el norte de México.

## SITUACION Y ASPECTOS FISIOGRAFICOS DE LA REGION

La región en estudio es una cuenca situada en el noroeste del Estado de Chihuahua: latitud  $29^{\circ} 15' - 29^{\circ} 30' \text{N}$ ; Longitud  $107^{\circ} 40' - 108^{\circ} 00' \text{O}$  (Figura 1).

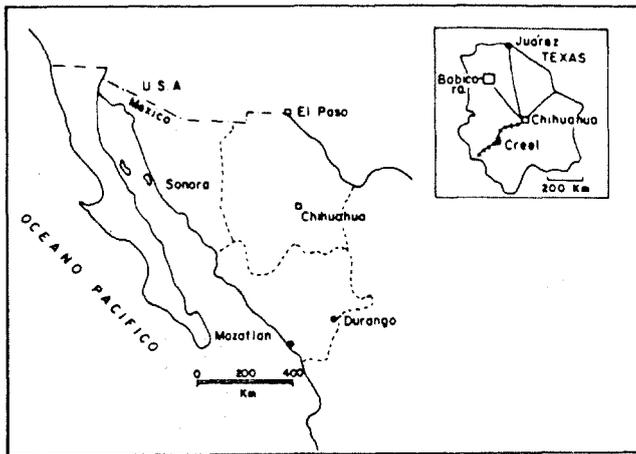


Fig. 1. Croquis de localización.

La cuenca tiene una orientación noroeste/sureste; una superficie de ca.  $437 \text{ km}^2$  y una altitud promedio de  $2160 \text{ m.s.n.m.}$  Las estructuras montañosas que la rodean alcanzan hasta  $3100 \text{ m.s.n.m.}$  (Figura 2).

La cuenca debe su origen a los fenómenos tectónicos de tipo distensivo del Terciario Superior que modelaron el conjunto del sector, en una sucesión de horst y graben alineados N-NW/S-SE. Por consiguiente, la región que ocupa la Laguna de Babicora corresponde a un graben; los pilares tectónicos o horsts que la rodean están formados en la base por rocas riolíticas con intercalaciones de andesitas, por ignimbritas y tobas riolíticas; y en la cima, por conglomerados y derrames de lavas basálticas (Figura 3). Las vertientes que la rodean presentan en las partes más elevadas pendientes de ca.  $40^{\circ}$ , y de ca.  $15^{\circ}$  en el contacto con la planicie.

Las características tectónicas, estructurales, y sedimentarias de la región (Ortega-Ramírez, 1990), produjeron el asolvamiento de la cuenca y consecuentemente, las

variaciones horizontales del cuerpo lacustre. Esto explica que no se observen en la actualidad terrazas lacustres y/o líneas de playa.

Las formaciones superficiales identificadas dentro de la cuenca están representadas por depósitos fluviales, lacustres y alteritas, mismos que nos permiten afirmar que los procesos morfodinámicos durante el último interglacial fueron más activos que en la actualidad, en la que observamos la formación de arroyos, fenómenos de deflación y suelos poco evolucionados (horizontes A0-A1 y A/C), producto de la escasa precipitación (ca.  $400 \text{ mm/año}$  en promedio) y a la falta de cubierta vegetal durante la mayor parte del año.

## El clima y la vegetación.

De acuerdo con su posición geográfica y latitudinal, la región se encuentra en el dominio climático de Clima Semi-frío continental (García, 1973), con características semiáridas (Índice de De Martonne  $I_a = 15.7$ ). El promedio de las precipitaciones calculadas a partir de los datos de las estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca, San José Babicora, Las Varas y Gómez Farías para el período 1971-1980, son de  $350$  a  $450 \text{ mm/año}$ , distribuidas de julio a septiembre; y las temperaturas medias anuales, de  $13^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ , con variaciones térmicas muy amplias entre el día y la noche, lo cual produce fenómenos de termoclastismo.

El carácter montañoso de la región que rodea la cuenca ocasiona una estratificación de la vegetación, misma que varía en función de la altitud. Así tenemos:

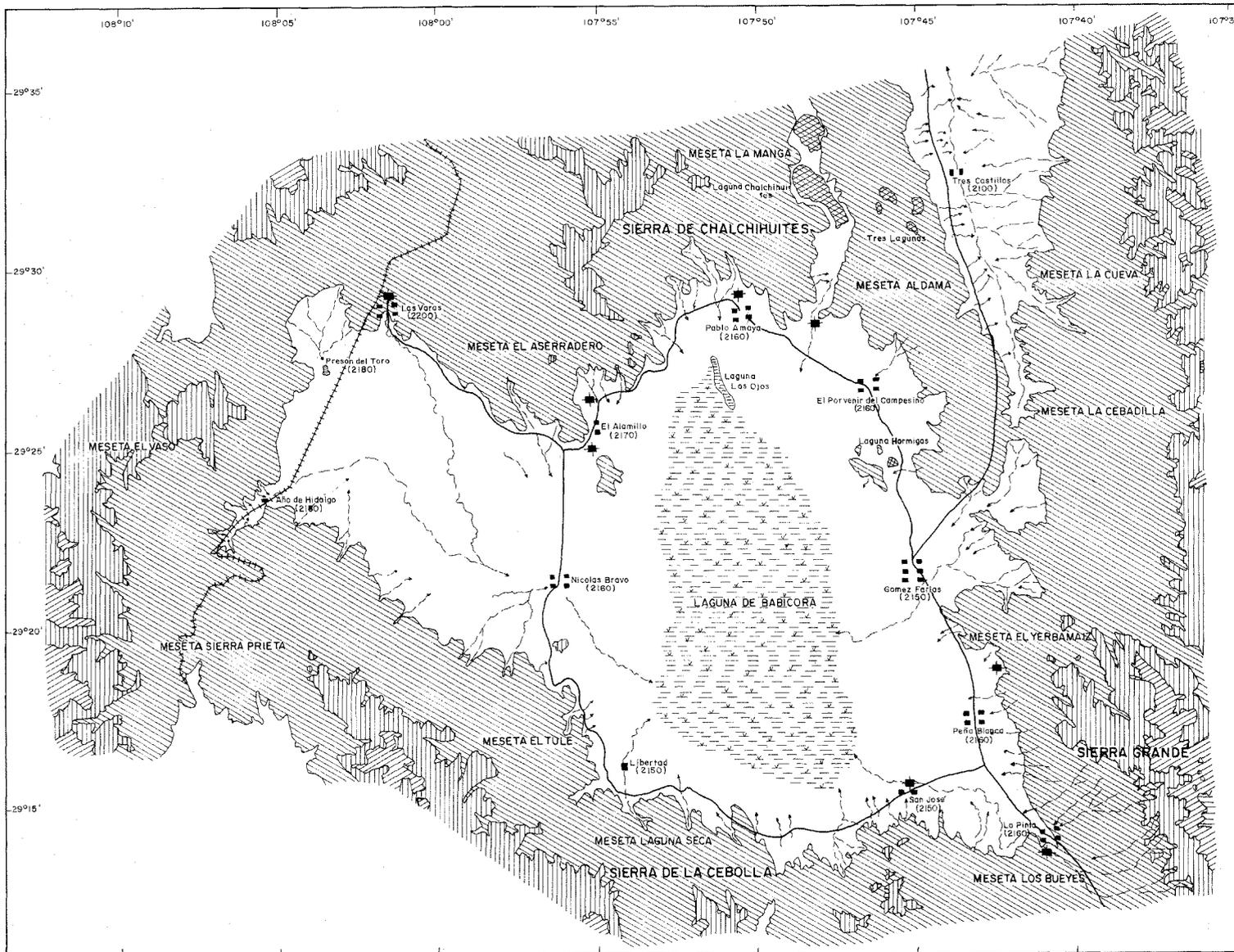
- de  $\approx 2,800$  a  $2,400 \text{ m.s.n.m.}$ , un bosque de coníferas;
- de  $2,400$  a  $2,200 \text{ m.s.n.m.}$ , un bosque mixto de pinos y encinos, éste, a medida que desciende se transforma en un bosque más abierto conteniendo principalmente poblaciones de juníperos y de gramíneas;
- de  $2,200$  a  $2,160 \text{ m.s.n.m.}$  son las gramíneas las más importantes, seguidas, hacia las partes sujetas a inundaciones, por vegetación de tipo subacuática.

## Métodos de estudio.

Los sitios de estudio fueron seleccionados en función de la disponibilidad de los afloramientos en el terreno. La profundidad se limitó a los espesores expuestos, variando de  $0.9$  a  $8.0 \text{ m}$ .

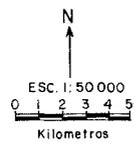
Los perfiles estudiados se encuentran distribuidos alrededor de la planicie, de la manera siguiente: al norte tenemos los perfiles "La Martha", "La Falla" y "El Alamillo"; al noroeste los perfiles "El Hormiguero" y "Las Varas"; al este "Peña Blanca y Gómez Farías", y al sur "La Pinta" y "San Jo-sé Babicora" (cf. carta hipsométrica).

Se efectuó una descripción de los perfiles con el objeto de resaltar las principales características de las secuencias sedimentarias: presencia de niveles granulométricos



**SIMBOLOGIA**

- > 2800 m.s.n.m.
- 2800 m.s.n.m.
- 2600 m.s.n.m.
- 2400 m.s.n.m.
- 2200 m.s.n.m.
- Area Hundida
- ( ) Altitud en m.s.n.m.
- cuero de agua permanente
- terrenos sujetos a inundaciones
- cuero de agua temporal
- Perfiles estratigráficos
- Pueblos importantes
- carretera
- via ferrea



Carta Hipsométrica

Los paleoambientes de la Laguna de Babicora, Chih., México

Fig. 2. Carta hipsométrica de la región, basada en las cartas topográficas. Esc. 1:1,000,000, S.P.P., 1981.

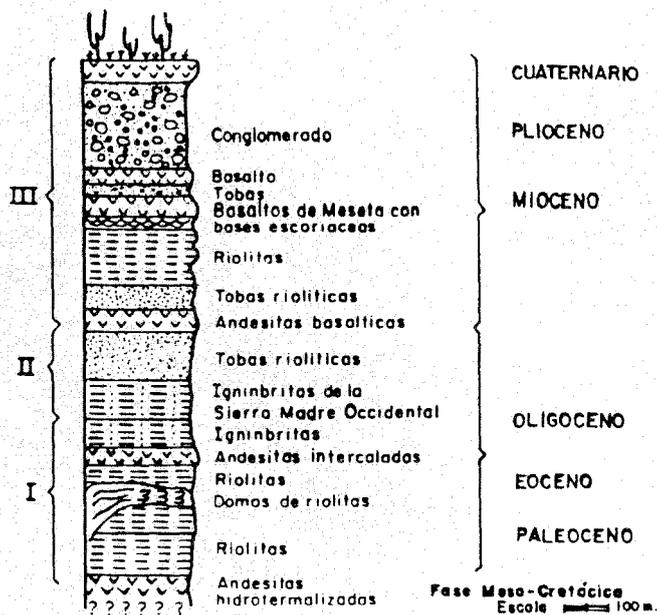


Fig. 3. Perfil litoestratigráfico sintético de los pilares tectónicos que rodean la cuenca de la Laguna de Babicora.

diferentes y variaciones bruscas o progresivas del aspecto del sedimento (facies). Los colores de éstos se tomaron en húmedo y en seco, siguiendo la clasificación del código Munsell Soil Color Chart (1971).

El muestreo de las diferentes unidades sedimentarias y horizontes pedológicos se llevó a cabo con base en criterios sedimentológicos y estratigráficos; se tomaron de los perfiles un total de 99 muestras (de 1 a 2 kg.), y cada una se sometió a un cuarteo en laboratorio con el objeto de obtener la cantidad requerida representativa de la población granulométrica, misma que fué sometida a los análisis granulométricos en laboratorio.

Con el propósito de determinar los diferentes tipos de ambientes de transporte y de depósito, se trabajó con la fracción arenosa (de 4 a 0.0625 mm de diámetro de partícula), utilizando 14 clases granulométricas y tamices módulo A.S.T.M, con aberturas de malla desde 2.0φ (granulos) hasta 4.5φ (limos gruesos), a intervalos de 0.5φ. La fracción granulométrica superior a 0.0625 mm. (<4.φ), fué objeto de estudios mineralógicos y morfoscópicos; y, a la fracción inferior a 0.0625 mm., se le efectuaron análisis micromorfológicos e identificaciones de minerales arcillosos de neoformación por el método de difracción de rayos-X.

Con los resultados granulométricos, se elaboraron curvas de frecuencia. A cada una se le determinó por el método gráfico y estadístico (cálculo de momentos), los parámetros centrales, la dispersión y la angulosidad.

Además, se utilizaron los métodos gráficos C-M de Passega (1957, 1964, 1969, 1977), las representaciones de los valores granulométricos en escala de probabilidad de Visher (1965, 1969) y las relaciones que existen entre

los valores de la desviación estándar, la dispersión y la angulosidad de Friedman (1961, 1962, 1967); por último, se llevó a cabo el análisis en componentes principales para una población finita de 99 individuos (total de muestras), con tres variables (arrastre, saltación y suspensión) de tipo cuantitativo (% granulométricos).

La correlación estratigráfica entre perfiles (Figura 4), se apoyó, además de los estudios anteriormente citados (Ortega-Ramírez, 1990), en 7 fechamientos por 14C (Tabla 1).

Tabla 1

Datos radiométricos de 14C de las muestras de los perfiles "La Pinta" y "Las Varas".

Nº de muestra	Prof en cm.	Material fechado	Edad en años A. P.	Perfil
INAH-815	100	carbón vegetal	2,800 ± 60	La Pinta
INAH-814	121	paleosuelo	2,890 ± 60	La Pinta
INAH-807	100	carbón vegetal	3,305 ± 60	Las Varas
INAH-809	200	carbón vegetal	3,840 ± 45	Las Varas
INAH-811	275	carbón vegetal	3,870 ± 45	Las Varas
INAH-813	395	carbón vegetal	8,070 ± 90	La Pinta
INAH-810	410	carbón vegetal	8,120 ± 105	La Pinta

## RESULTADOS E INTERPRETACIONES

Basados en la interpretación de los resultados analíticos de los perfiles estudiados y en los estudios geológicos y geomorfológicos de la región, se proponen cuatro tipos de variaciones paleoambientales durante el Cuaternario Tardío, con las características y cronologías tentativas siguientes (Figuras 4 y 5.):

1)- de ca. 18,000 a ca. 10,000 A.P. (Wisconsiniano Superior). Este período ampliamente estudiado, desde el punto de vista paleoambiental en el suroeste de los Estados Unidos (Spaulding, 1991; Street y Grove, 1979; Benson *et al.*, 1990), se caracterizó por abundantes precipitaciones de invierno y por veranos templados. Estas condiciones pluviales -Óptimo Lacustre- favorecieron el desarrollo de paleolagos, cuyas evidencias en la Laguna de Babicora podrían corresponder a los depósitos de limos y arcillas de hasta 80 m. de espesor (sic), reportados en el Estudio Hidrológico de la Alta Babicora realizado por el INEGI (1990).

2)- de ca. 10,000 a 6,000 A.P. (Holoceno Inferior). Los resultados sedimentológicos (sedimentos transportados en suspensión con clasificación moderada), mineralógicos (alteración de plagioclasas, alteroplasma de tipo eskelsépico), la abundancia de saprolitos ferruginizados, la microflora (fragmentos de diatomeas), la abundancia de fragmentos de carbón y de tejido vegetal, y los datos radiométricos de 14C (8,120 ± 105 a. A.P. y 8,070 ± 90 a.

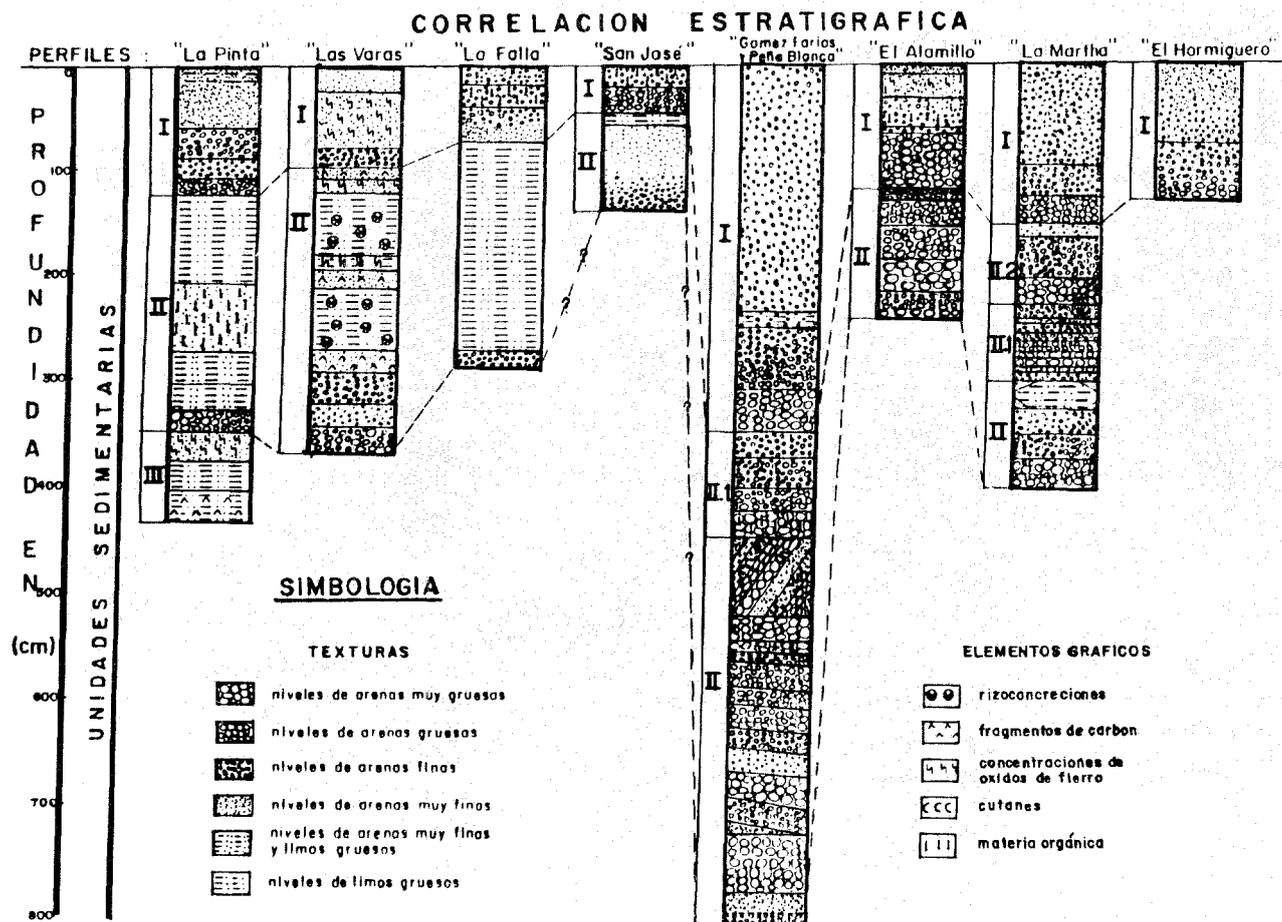


Fig. 4. Correlación estratigráfica de los perfiles (Ortega-Ramírez, 1990).

A.P.); todos ellos de la parte basal de la unidad sedimentaria III del perfil "La Pinta" (cf. Figura 5), indican para este período, condiciones pantanosas: disminución de la precipitación y aumento de la evapotranspiración potencial.

Las condiciones de aridez parecen haber alcanzado un máximo, hacia 6,000 a.A.P., -**Óptimo climático**-, inferencia apoyada estratigráficamente, por el contacto entre la parte superior de la unidad III y la parte basal de la unidad II del perfil anteriormente citado, en el que se observa un cambio en la sedimentación de palustre a fluvial, que traducido en términos del diagrama C-M de Passega (1964), se tiene una variación del régimen energético de muy bajo (suspensión uniforme), a alto (transporte en tracción), así como en la microtextura de los sedimentos de la parte basal de la unidad II, de tipo intertética (cf. Ortega-Ramírez, 1990).

3) - de ca. 6,000 a ca. 3,000 A.P. (Holoceno Medio). Los resultados del análisis en componentes principales (Ortega-Ramírez, 1990), nos muestran una correlación estratigráfica entre las unidades sedimentarias N° II, correspondientes a ambientes palustres de los perfiles "La Pinta" y "Las Varas", con las unidades de tipo fluvial de alta energía (canales anastomosados), de los perfiles "La Martha" y "Entre Gomez Farías y Peña Blanca" (cf. Figura 4).

Desde el punto de vista granulométrico, los primeros ambientes se caracterizan por sedimentos de tipo limos y arenas muy finas (de  $4.4\phi$  a  $3.83\phi$ ), bien clasificados, y con asimetría negativa, además contienen fitolitos, fragmentos de carbón vegetal, rizoconcreciones y trazas de diatomeas; los segundos se diferencian por gravas finas y arenas gruesas (de  $-1.10\phi$  a  $2.51\phi$ ) con asimetría positiva y mal clasificados. Las estructuras sedimentarias de éstas últimas, son de tipo "cruzada" y "gradada".

Paleoclimatológicamente, estos datos indican condiciones áridas con precipitaciones esporádicas importantes -**deterioración climática**-, como lo muestran los depósitos fluviales anteriormente citados. Las edades radiométricas obtenidas de dos muestras (cf. Tabla 1, Figura 5) reportan edades de  $3870 \pm 85$  y  $3305 \pm 60$  A.P. (INAH-811, INAH-807 respectivamente).

4).- de ca. 3,000 a. A.P. al Presente. El paleosuelo identificado en la parte superior de la unidad sedimentaria II del perfil "La Pinta" (horizonte B1) fechado entre  $2,890 \pm 60$  a. A.P. y  $2,800 \pm 60$  a.A.P. (cf. Figura 4; INAH-814, INAH-815); el estudio sedimentológico de las unidades superiores de los perfiles constituidos por sedimentos mal clasificados, y las superficies de erosión situadas en

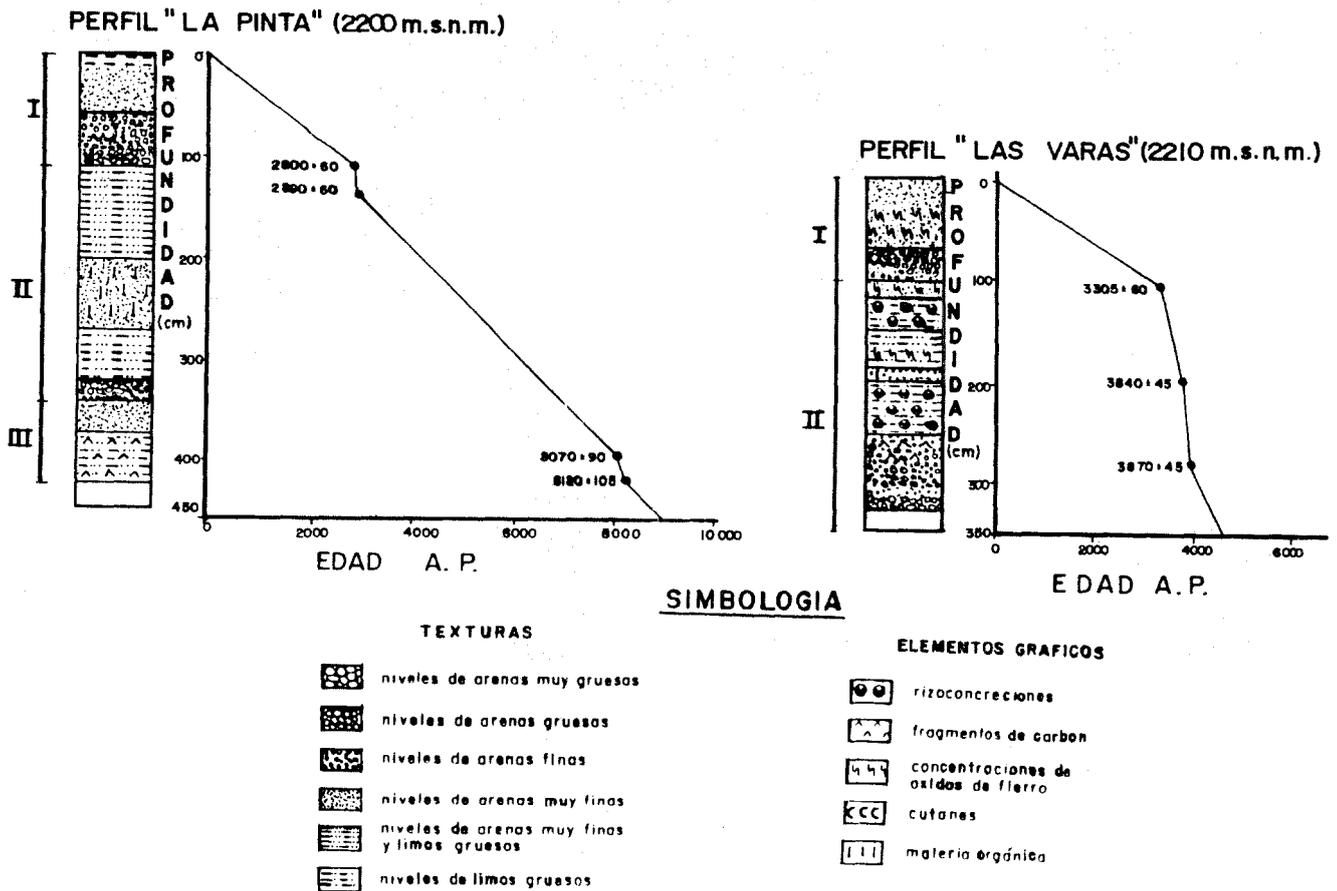


Fig. 5. Diagrama de profundidad/tiempo de los perfiles "La Pinta" y "Las Varas".

la base de las unidades sedimentarias superiores de la mayoría de los perfiles estratigráficos (cf. Figura 4), sugieren una fase de morfoestabilidad seguida de otra erosiva. Esta última aún está presente como agente morfodinámico en la región (formación de arroyos).

**Paleoclimatología.**

Los estudios realizados en el suroeste de los Estados Unidos (Van Devender, T.R., 1977, 1990; Van Devender y Spaulding, 1979; Spaulding, 1990, 1991; Van Devender *et al.*, 1987; Thompson, 1990), los resultados de los modelos numéricos paleoclimáticos de los programas COHMAP(1988), CLIMAP(1976), y los datos isotópicos de paleolagos almanacenados en el Oxford Lake Level Bank (Harrison y Metcalfe, 1985a), indican que durante el Wisconsiniano Superior/Holoceno Inferior, de ca. 18 ka. a ca. 10 ka. A.P., se tenían en el hemisferio norte niveles marinos bajos (Ortlieb, 1986), grandes glaciares continentales ( McIntyre *et al.*, 1976), temperaturas promedio de las superficies oceánicas de 10°C y continentales de 3 a 8°C inferiores a las actuales, altas precipitaciones, y veranos fríos e inviernos frescos (Peterson *et al.*, 1979; Van Devender T.R., 1990).

Estas condiciones provocaron la migración hacia el Ecuador de los sistemas frontales polares y el desplazamiento del centro de depresiones (corriente de chorro de los vientos del oeste) y del anticiclón del Pacífico hacia el sur de la latitud 36°N (Gates, W.L., 1976; Harrison y Metcalfe, 1985b; Van Devender, 1977). El consiguiente aumento de la precipitación y de la humedad efectiva, conjuntamente con un régimen generalizado de bajas temperaturas producidas por la frecuencia de las tormentas ciclónicas (Bryson y Wendland, 1967) provocaron la disminución de la evaporación (Spaulding *et al.*, 1983; Spaulding y Graumlich, 1986).

Las anteriores características paleoclimatológicas explican los altos niveles lacustres (Óptimo Lacustre) identificados en el suroeste de los Estados Unidos (Thompson, 1992; Harrison y Metcalfe, 1985a, 1985b), y son la base de la hipótesis de una mayor precipitación durante este intervalo en la Laguna de Babicora.

El período Holoceno Temprano (de ca. 10 ka A.P a 6 ka. A.P.), denominado Óptimo Climático, se caracterizó por un incremento considerable de la insolación y de la temperatura (Berger, 1981; Kutzbach 1987). Ello tuvo co-

mo efecto el retroceso y la disminución de los glaciares continentales (Cordillerano y Laurentiano), el aumento de las superficies oceánicas, la disminución del albedo, y la intensificación de los monzones en varias partes del mundo (Kutzbach y Otto-Bliesner, 1982).

Este aumento térmico a nivel global para el hemisferio norte produjo la migración de la corriente de chorro de los vientos del oeste hacia la latitud 40°N (Harrison y Metcalfe, op. cit.), y con ella la zona de mayor precipitación. En el suroeste de los Estados Unidos los niveles lacustres descendieron (Street y Grove op. cit.), y la línea de vegetación de coníferas migró hacia latitudes cada vez más septentrionales (Davis, O.K., 1984; Van Devender *et al.* 1987). En la región de estudio, estas condiciones produjeron la disminución del cuerpo lacustre y la formación de pantanos.

Durante el Holoceno Medio (de ca. 6 ka A.P a ca. 3 ka A. P.), la cantidad de insolación recibida por la Tierra comenzó a disminuir (Berger, 1977). Este cambio produjo variaciones térmicas importantes entre los océanos y los continentes, lo cual provocó en el suroeste de los Estados Unidos y noroeste de México la entrada de las tormentas y de los huracanes del Pacífico hacia finales de verano y principios de otoño en los desiertos de Sonora y de Mohave (Hunnig, 1978).

Debido a la Deterioración Climática, los lagos en el suroeste de Norteamérica tienden a desaparecer y sólo se registran precipitaciones temporales que provocan fuertes episodios de agradación fluvial (Chatters y Hoover, 1988), formación de arroyos y fenómenos de deflación (Malde, 1964; Spaulding, 1985; Brakenridge, 1980), inundación y erosión (Davis, 1992), y avance de los glaciares de montaña (Benedict, 1973). Estos datos sugieren condiciones de aridez con precipitaciones esporádicas más abundantes que en la actualidad, mismas que en la Laguna de Babicora produjeron ambientes pantanosos y procesos fluviales de alta energía (canales anastomosados), identificados en las unidades sedimentarias de los perfiles "La Pinta" y "Las Varas"; y, "La Martha" y "Entre Gomez Farías y Peña Blanca" respectivamente.

Para el Holoceno Tardío (de 3 ka A. P. al Presente), las condiciones ambientales modernas de la región en estudio ya comienzan a definirse desde ca. 3 ka A.P., caracterizadas por un ambiente semiárido con lluvias en verano y precipitaciones esporádicas de invierno. Este período se inicia por una etapa de morfo-estabilidad, que probablemente pueda ser correlacionable con el intervalo entre los avances "Triple Lake" y "Audubon" del Front Ranges de Colorado (Benedict, loc. cit.), y con el período comprendido entre la "Neoglaciación I y II" de la cronoestratigrafía glacial del Ajusco en el centro de México (White *et al.*, 1990). Posteriormente, le sigue un período de fuerte erosión: formación de arroyos y fenómenos de deflación, el paleolago tiende a desaparecer y sólo en épocas de lluvias se llegan a formar pequeñas superficies inundadas, principalmente en el centro de la cuenca de la Laguna de Babicora.

## CONCLUSIONES

Apoyados en la investigación bibliográfica del suroeste de los Estados Unidos y en los datos reportados en el estudio hidrológico de la Alta Babicora del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (1990), inferimos para la región durante Wisconsiniano Tardío, precipitaciones abundantes.

En general, durante el Holoceno, el factor más importante de cambio ambiental fue la mayor cantidad de insolación recibida por la Tierra, producto de las variaciones de los parámetros astronómicos (Berger, 1981; Kutzbach 1987):

En el Holoceno Temprano, el nivel lacustre inferido en la región es bajo, con un mínimo deducido por un cambio en la sedimentación hacia 6,000 A.P.

En el Holoceno Medio el nivel lacustre se mantiene bajo y predominan los ambientes pantanosos; la presencia de depósitos fluviales producto de una dinámica en anastomosis sugiere precipitaciones temporales abundantes, probablemente debidas a la influencia ocasional (aunque más frecuente que en la actualidad) de lluvias de tipo monzónico.

El Holoceno Tardío se caracteriza por una fase inicial de morfoestabilidad (formación de paleosuelos), sucedida por un período de fuerte erosión, la cual ocasionó la truncadura de la mayor parte de las unidades sedimentarias superiores de los perfiles estratigráficos estudiados; y finalmente, por una evolución generalizada hacia la aridez que caracteriza la región en nuestros días ( $\approx 400$  mm/año).

Por las características, latitudinales, topográficas y climatológicas de la región, inferimos un régimen paleoclimático similar al del suroeste de los Estados Unidos; es decir, lluvias abundantes en invierno y altos niveles lacustres durante el Wisconsiniano Tardío, y lluvias de verano con niveles bajos y someros durante el Holoceno.

## BIBLIOGRAFIA

- BENEDICT, J. B., 1973. Chronology of Cirque Glaciation, Colorado Front Range. *Quaternary Research*, 3, 584-599.
- BENSON, L. V., D. R. CURREY, R. I. DORN, K. R. LAJOIE, C. G. OVIATT, S. W. ROBINSON, G. I. SMITH y S. STINE, 1990. Chronology of expansion and contraction of four Great Basin Lake system during the past 35,000 years. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 78, 241-286.
- BERGER, A. L. 1977. Support for the astronomical theory of climatic change. *Nature* 269, 44-45.
- BERGER, A. L. 1981. Le soleil, le climat et leurs variations. *Ciel et Terre*, 978, 229-244.

- BERGER, W. H. 1990. The Younger Dryas cold spell- a quest for causes.- *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology, (Global and Planetary Change Section)* 89, 219-237.
- BRAKENRIDGE, G. R. 1980. Widespread episodes of stream erosion during the Holocene and their climatic causes. *Nature* 283, 655-656.
- BROECKER, W. S. 1990. Salinity history of the Northern Atlantic during the last deglaciation. *Paleoceanography*, 5, 4, 459-467.
- BRYSON, R. A. y W. WENDLAND, 1967. Tentative patterns for some Late Glacial and post-glacial episodes in Central North America. *In: Life, Land and Waters*. S.J. Mayer-Oakes, Jr., ed. p. 271-298, Winnipeg; University of Manitoba Press.
- CHATTERS, J. C. y K. A. HOOVER, 1992. Response of Columbia River fluvial system to Holocene climatic change. *Quaternary Research*, 37, 42-59.
- CLIMAP PROYECT Members, 1976. The surface of the Ice-Age Earth: quantitative geologic evidence is used to reconstruct boundary conditions for climate 18,000 years ago. *Science*, 191, 4232, 1131-1137.
- COHMAP Members, 1988. Climatic changes of the last 18,000 years: observations and model simulation. *Science*, 241, 1043-1052.
- DAVIS, O. K., 1984. Multiple thermal Maxima during the Holocene. *Science*, 225, 617-619.
- DAVIS, O. K. 1992. Rapid climatic change in coastal Southern California inferred from pollen analysis of San Joaquin Marsh. *Quaternary Research*, 37, 89-100.
- DELMAS, R. J., J. M. ASCENCIO y M. LEGRAND, 1980. Polar ice evidence that atmospheric CO<sub>2</sub> 20,000 yr B.P. was 50% of present. *Nature*, 284, 155-157.
- DUPLESSY, J. C., L. LABEYRIE, M. ARNOLD, M. PATERNE, J. DUPRAT y T. C. E. Van WEERING 1992. Changes in surface salinity of the North Atlantic Ocean during the last deglaciation. *Nature*, 358, 485-488.
- FRIEDMAN G. H., 1961. Distinction between dune, beach, and river sand from their textural characteristics. *Journ. Sedim. Petrol.*, 31, 4, 514-529.
- FRIEDMAN G. H., 1962. On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain size distribution of sandstones. *Journal of Geology*, 70, 737-753.
- FRIEDMAN G. H., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and rivers sands. *Journ. sedim. Petrol.*, 37, 2, 327-354.
- GARCIA, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Bol. Inst. de Geogr. UNAM, 246 p.
- GATES, W. L., 1976. Modeling the Ice-Age climate. *Science*, 191, 1138-1144.
- HARRISON, S.P. y S.E. METCALFE, 1985a. Variations in lake levels during the Holocene in North America: An indicator of changes in atmospheric circulation patterns. *Géographie Physique et Quaternaire*, 39, 2, 141-150.
- HARRISON, S. P. y S. E. METCALFE, 1985b. Spatial variations in lake level since the Last Glacial Maximum in the Americas north of the Ecuador. *Zeitschrift Für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 21, 1-15.
- HUNING, J. R., 1978. A characterization of the climate of the California desert.- Riverside, Calif. U.S.Bureau of Land Management Report.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA, 1990. Estudio hidrológico de la Alta Babicora Chihuahua. INEGI, 143p. anexo cartas.
- JACOBSON, G. L., Jr., T. WEBB III y E. C. GRIMM, 1987. Patterns and rates of vegetation change during the deglaciation of eastern North America. *In: Ruddiman, W. F., and Wright, H. E., Jr., eds. North America and adjacent oceans during the last deglaciation: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, K-3, p. 277-288.*
- KUTZBACH, J. E. y F. A. STREET-PERROT, 1985. Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes from 18 to 0 kyr B.P. *Nature*, 317, 130-134.
- MALDE, H. E., 1964. Environment and Man in arid America: geologic, biologic, archaeologic clues suggest climatic changes in the dry southwest in the last 15,000 years. *Science*, 145, 123-129.
- McINTYRE, A., N. G. KIPP, A. W. H. BÉ, T. CROWLEY, T. KELLOGG, J. V. GARNER, W. PRELL y W. F. RUDDIMAN, 1976. Glacial North Atlantic 18,000 years ago: a CLIMAP reconstruction. *In: Cline, R.M. and Hays, J.P., eds., Investigation of Late Quaternary Paleocyanography and Paleoclimatology. The Geological Society of America, Inc., Memoir, 145, p. 43-76.*

- MEYER, E. R., 1973. Late-Quaternary paleoecology of Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, México. *Ecology* 54, 982-995.
- ORTEGA-RAMIREZ, J., 1990. Le sommet du remplissage Quaternaire de la Laguna de Babicora (Etat de Chihuahua, Nord-Ouest du Mexique): reconstitution des paléoenvironnements à partir de la sédimentologie et de la stratigraphie.- Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, France. 322p., unpublished.
- ORTLIEB, L., 1986. Neotectonique et variations du niveau marin au Quaternaire dans la région du Golfe du Californie, Mexique. Thèse d'Etat, Université d'Aix Marseille II, Fac. de Sciences de Luminy. 779, 2 anexe 442p.
- PASSEGA, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *Bull. of Amer. Assoc. of Petrol. Geol.*, 41, 9, 1952-1980.
- PASSEGA, R., 1964. Grain size representation by C-M pattern as a geological tool. *Journ. of Sedim. Petrol.*, 34, 4, 830-847.
- PASSEGA, R., 1977. Significance of C-M diagrams of sediments deposited by suspensions. *Sedimentology*, 24, 723-733.
- PASSEGA R. y R. BYRAMJEE, 1969. Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentology*, 13, 233-252.
- PETERSON, G. M. M., I. WEBB, J. E. KUTZBACH, T. VAN DER HAMMEN, A. WIJMSTRAT y F. A. STREET, 1979. The continental record of environmental conditions at 18,000 yr. B.P.: an initial evaluation. *Quaternary Research*, 54, 982-995.
- PISIAS, N.G. y J. SHACKLETON, 1984. Modelling the global climate response to orbital forcing and atmospheric carbon dioxide changes. *Nature*, 310, 757-759.
- SARMIENTO, J. L. y J. R. TOGGWEILER, 1984. A new model for the role of the oceans in determining atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 308, 621-624.
- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO, 1981. Atlas Nacional del Medio Físico. Cartas topográficas esc. 1:1,000,000, p. 29-33.
- SCHNACK, E. y P. PIRAZZOLI, 1990. Quaternary sea-level changes. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary change section) 82, 665-68.
- SCHUMM y BRAKENRIDGE 1987. River responses.- *In: Ruddiman, W.F. and Wright, H.E., Jr. eds., North America and adjacent oceans during the last deglaciation: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, K-3, 221-240.*
- SHACKLETON, N. J., M. A. HALL, J. LINE y C. SHUXI, 1983. Carbon isotope data in core V19-30 confirm reduced carbon dioxide concentration in the ice age atmosphere. *Nature*, 306, 319-322.
- SIEGENTHALER, U. y Th. WENK, 1984. Rapid atmospheric CO<sub>2</sub> variations and ocean circulation. *Nature*, 308, 624-626.
- SPAULDING, W. G., E. B. LEOPOLD y T. R. VAN DEVENDER, 1983. Late Wisconsin paleoecology of the America Southwest. *In: Late Quaternary environments of the United States: the Pleistocene.* edit. by Wright Jr. H.E. and Porter S.C. University of Minnesota, Minneapolis. p. 259-293.
- SPAULDING, W. G., 1985. Vegetation and climates of the last 45,000 years in the vicinity of the Nevada Test Site, south central Nevada. U.S. Geological Survey Professional Paper N°. 1329.
- SPAULDING, W. G. y L. J. GRAUMLICH, 1986. The last pluvial climatic episodes of Southwestern North America. *Nature*, 320, 441-444.
- SPAULDING, W. P., 1990. Vegetational and climatic development of the Mojave Desert: The Last Glacial Maximum to the Present. *In: Betancourt, J.L. Van Devender, T.R. y Martin, P.S. Eds., Packrat middens: the last 40,000 of biotic change.* The University of Arizona Press Tucson. p. 167-199.
- SPAULDING, W. G., 1991. Pluvial climatic episodes in North America and North Africa: types and correlation with global change. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 84, 217-227.
- SPAULDING, W. P., 1991. A Middle Holocene vegetation record from the Mohave Desert of North America and its paleoclimatic significance. *Quaternary Research*, 35, 427-437.
- STREET, F. A. y A. T. GROVE, 1979. Global maps of lake-level fluctuations since 30,000w yr B.P.-*Quaternary Research*, 12, 83-118.
- STREET-PERROT, F. A. y S. P. HARRISON, 1985. Lake levels and climate reconstruction. *In: A.D. Hecht, ed., Paleoclimate analysis and modelling.* New York, John Wiley and Sons, p. 291-340.
- THOMPSON, R. S., 1990. Late Quaternary vegetation and climate in the Great Basin." *In: Packrat middens: the last 40,000 of biotic change.* Eds. Betancourt J.L., Van Devender T.R., y Martin P.S., The University of Arizona Press Tucson, p. 201-239.

- THOMPSON, R. S., 1992. Late Quaternary environments in Ruby Valley, Nevada. *Quaternary Research*, 37, 1-15.
- VAN DEVENDER, T. R., 1977. Holocene woodlands in the Southwestern deserts. *Science*, 198, 189-192.
- VAN DEVENDER, T. R. y W. G. SPAULDING, 1979. Development of vegetation and climate in the western United States. *Science*, 204, 701-710.
- VAN DEVENDER, T. R., 1990. Late Quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and Mexico. In: Betancourt J.L., Van Devender T.R., y Martin P.S. Eds., *Packrat middens: the last 40,000 of biotic change*. The University of Arizona Press Tucson. p. 105-133.
- VAN DEVENDER, T. R., R. S. THOMPSON y J. L. BETANCOURT, 1987. Vegetation history of the deserts of southwestern North America: The nature and timing of the Late Wisconsin-Holocene transition. In: Ruddiman, W.F., and Wright, H.E., Jr., eds., *North America and adjacent oceans during the Last Deglaciation*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, *The geology of North America*, K-3.
- VISHER, G. S., 1965. Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposit. In: Middleton, G.V. ed., p.116-132: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Special publ. 12, 265 p.
- VISHER, G. S., 1969. Grain size distribution and depositional processes. *Journ. of Sed. Petrol.*, 1074-1106.
- WHITE, S. E., M. REYES-CORTES, J. ORTEGA-RAMIREZ y S. VALASTRO, Jr. 1990. El Ajusco: Geomorfología volcánica y acontecimientos glaciales durante el Pleistoceno Superior y comparación con las series glaciales mexicanas y de las Montañas Rocallosas. *Colección Científica*, 212, 77p. I.N.A.H.

---

José R. Ortega Ramírez  
Departamento de Paleomagnetismo.  
Instituto de Geofísica UNAM.  
Ciudad Universitaria, Circuito Exterior  
04510 México, D. F., MEXICO.