

CAMBIO AMBIENTAL DEL CUATERNARIO TARDIO EN DEPOSITOS  
LACUSTRES EN LA CUENCA DE ZACAPU, MICHOACAN.  
RECONSTRUCCION PRELIMINAR

Por S. E. Metcalfe<sup>1</sup>  
S. P. Harrison<sup>2</sup>

RESUMEN

Los depósitos superficiales alrededor de las márgenes de la cuenca lacustre cerrada de Zacapu, Michoacán (19°51'N, 101°40' W) han sido examinados como parte de una investigación del cambio ambiental del cuaternario tardío en el centro de México. Las diatomitas lacustres están intercaladas con arenas de playas, suelos pantanosos orgánicos y depósitos coluviales. Esta secuencia refleja fluctuaciones en el nivel del lago y cambios en la importancia relativa de los procesos lacustres y terrestres en la cuenca. El examen de estas secciones sobre la base del ambiente de las fuentes de sedimento, usando diferentes técnicas, provee un medio de evaluar la importancia relativa de factores específicos, tales como el cambio climático o el impacto del hombre, que causan las fluctuaciones registrados por los depósitos.

SUMMARY

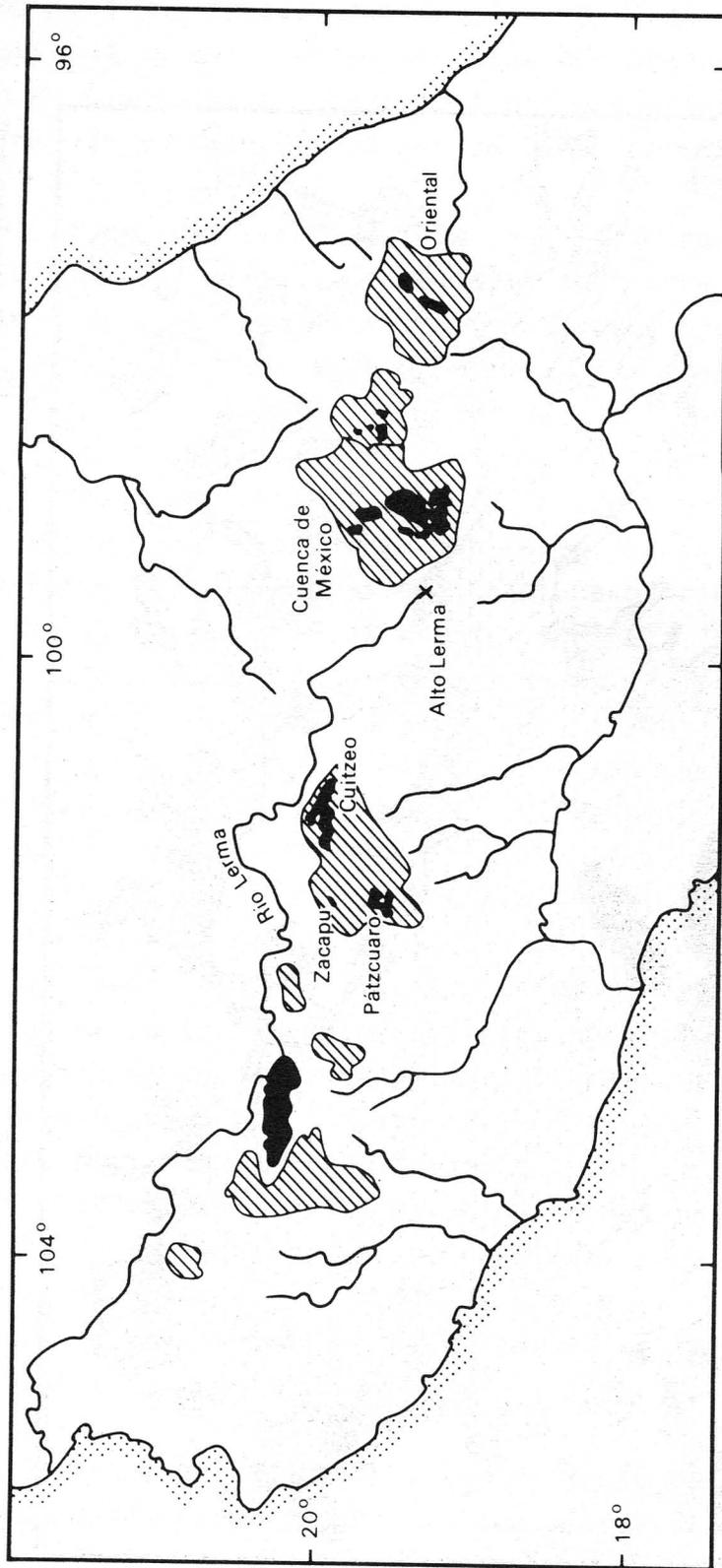
Surface exposures of deposits around the margins of the closed lake basin of Zacapu, Michoacan (19°51'N, 101°40'W) have been examined as part of an investigation of Late Quaternary environmental change in Central Mexico. Lacustrine diatomites in these exposures are intercalated with beach sands, organic mars soils and colluvial deposits. Such a sequence reflects fluctuations in lake level and changes in the relative importance of lacustrine and terrestrial processes within the basin. The examination of these sections in terms of sediment source environment, using a number of different techniques, provides one means of evaluating the relative importance of specific factors, such as climatic change or the impact of Man, in causing the fluctuations recorded by the deposits.

1,2 Tropical Palaeoenvironments Research Group, School of Geography, University of Oxford.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de investigaciones en la cuenca lacustre cerrada de Zacapu, Michoacán, que forman parte de un estudio más amplio sobre el cambio ambiental en el centro de México durante el cuaternario tardío (Figura 1). Desde hace mucho tiempo ha sido reconocido que el nivel de muchos lagos fluctúa como respuesta a un cambio climático (Halley, 1715). Se ha reconocido que a este respecto son sumamente sensibles los lagos cerrados que carecen de salida superficial (Street Perrot y Harrison, en prensa). Cambios hidrológicos de las cuencas y, por tanto, en el comportamiento de los lagos pueden ser causados, sin embargo, por factores que no son climáticos. En un área como Zacapu, con una larga historia de asentamientos humanos, la más importante de estas influencias es el uso de la tierra por el hombre. El estudio de depósitos lacustres marginales, con base en su fuente de sedimentos provee un medio para evaluar la importancia relativa de estos factores en el comportamiento lacustre a través del tiempo.

La de Zacapu es una de una serie de cuencas lacustres cerradas del centro de México, formada por la interrupción del sistema de drenaje del río Lerma debido a la actividad volcánica del plioceno y del pleistoceno (Waitz, 1943; Barbour, 1973). Esta amplia cuenca rellena de sedimentos aluviales y lacustres (Figura 2) está rodeada por altas tierras volcánicas basálticas y andesíticas (Demant, 1980) que alcanzan una elevación de 3 365 m sobre el nivel del mar. Su piso se encuentra a una altitud aproximada de 1988 m. Aun cuando el área ha sido drenada artificialmente hacia el noroeste, cerca de la actual localidad de Zacapu, al suroeste de la cuenca, se encuentra un lago relicto. Evidencias sedimentarias y geomorfológicas indican que la cuenca fue anteriormente el sitio de un paleolago extenso e importante, con un área aproximada de 261 km<sup>2</sup>.

Los sedimentos que afloran en las márgenes de la cuenca de Zacapu y alrededor de ella registran condiciones lacustres que se extienden hasta el cuaternario tardío. El análisis de estos depósitos proporciona información sobre la fluctuación del nivel del lago, que permite hacer estimaciones de su extensión a través del tiempo.




 Cuenca cerrada      Laguna

Figura. I

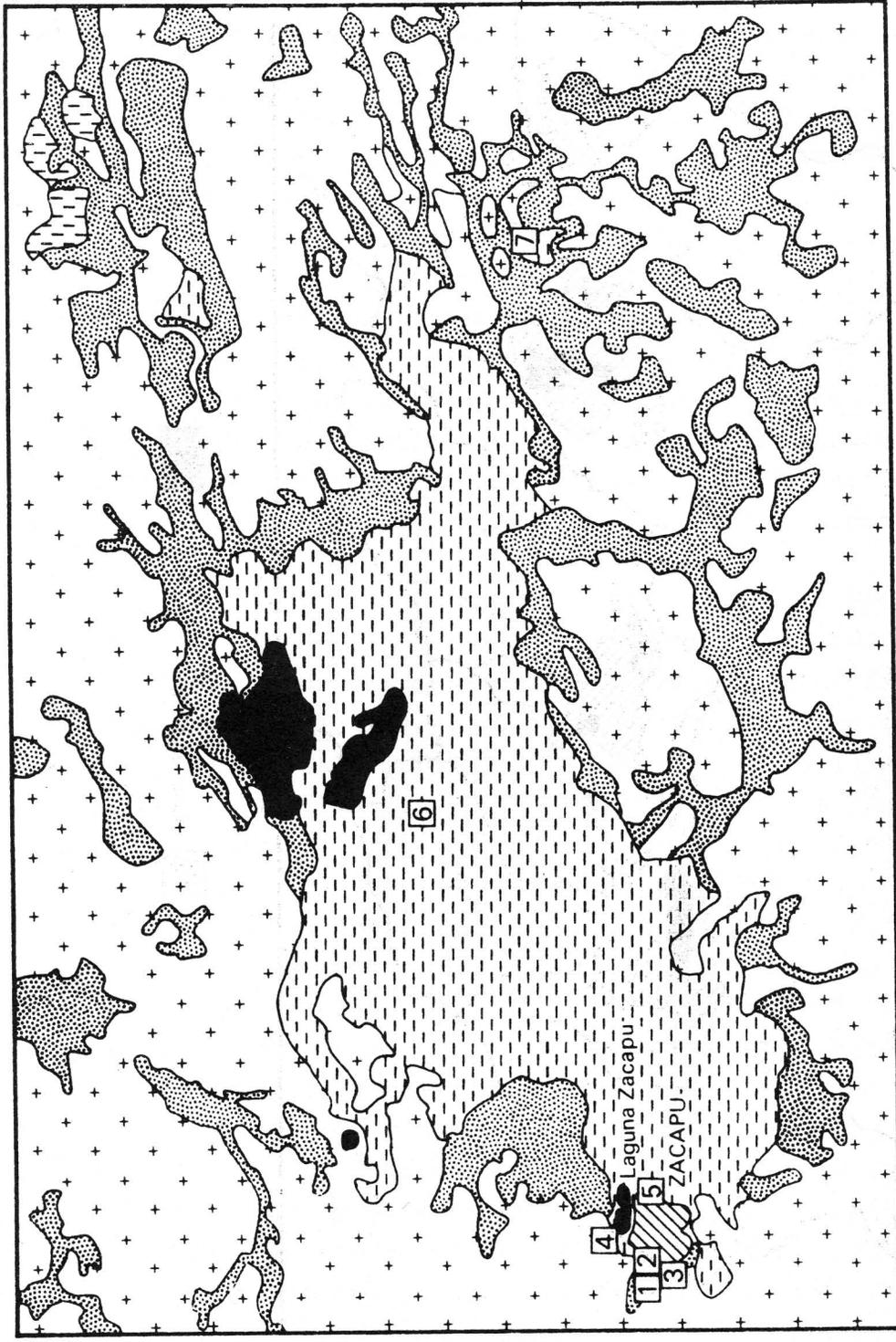


Figura. 2

Han sido descritas y muestreadas en el campo siete secciones principales (Figura 2), y sobre ellas se están elaborando detalladas investigaciones de laboratorio. En este trabajo analizamos los resultados de dos de ellas: sección Zacapu I y sección Ladrillera.

La sección Ladrillera (Figura 3) está localizada al oeste de la actual ciudad de Zacapu, cerca de la carretera a Guadalajara, en la base de flujos de lava basáltica recientes conocidos como malpais (Demant, 1980); tiene una elevación basal de 15.82 m sobre el nivel actual del lago. En esta sección de 5 m, diatomeas lacustres están intercaladas con arenas de playa bien clasificadas, suelos orgánicos pantanosos y depósitos coluviales bien estructurados de marga arcillosa. El afloramiento registra, por tanto, varias fases de fluctuación del nivel del agua. Los suelos pantanosos registran un promedio de pérdida de ignición de 10.3% y son, por ello, datables por medio de radiocarbono. Han sido obtenidas dataciones por radiocarbono de los siguientes suelos: el estrato 4 fue datado en  $26\ 600 \pm 590$  años a.P. (0xA -159); el estrato 10 en  $28\ 100 \pm 680$  años a.P. (0xA -158) y el estrato 14 en  $25\ 200 \pm 530$  años a.P. (0xA -160).

El análisis de la fracción de lípidos de estos sedimentos indica que la aparente inversión en la secuencia datada es, de hecho, resultado de que el estrato 4 es anormalmente joven (A.J. Fowler, comunicación personal). En los estratos 10 y 14 hay indicaciones de plantas superiores como fuente de materia orgánica, mientras que el estrato 4 sólo tiene algas y bacterias. Esto sugiere que la fracción orgánica sufrió ataque bacteriano subsecuente al depósito. Una determinación más realista de la datación de este estrato puede ser 30 000 años a.P. En los horizontes superiores (estratos 22-23) de la sección fue encontrada una tumba. Huesos y artefactos de piedra y cerámica que se encontraron en ella han sido entregados al departamento de Prehistoria, en la Ciudad de México, para su identificación.

Una clase similar de tipos de sedimento está conservada en la sección 1 vecina a Zacapu (Figura 4) que se localiza a 530 m al oeste de la anterior, adyacente a la carretera a Guadalajara. Esta sección,

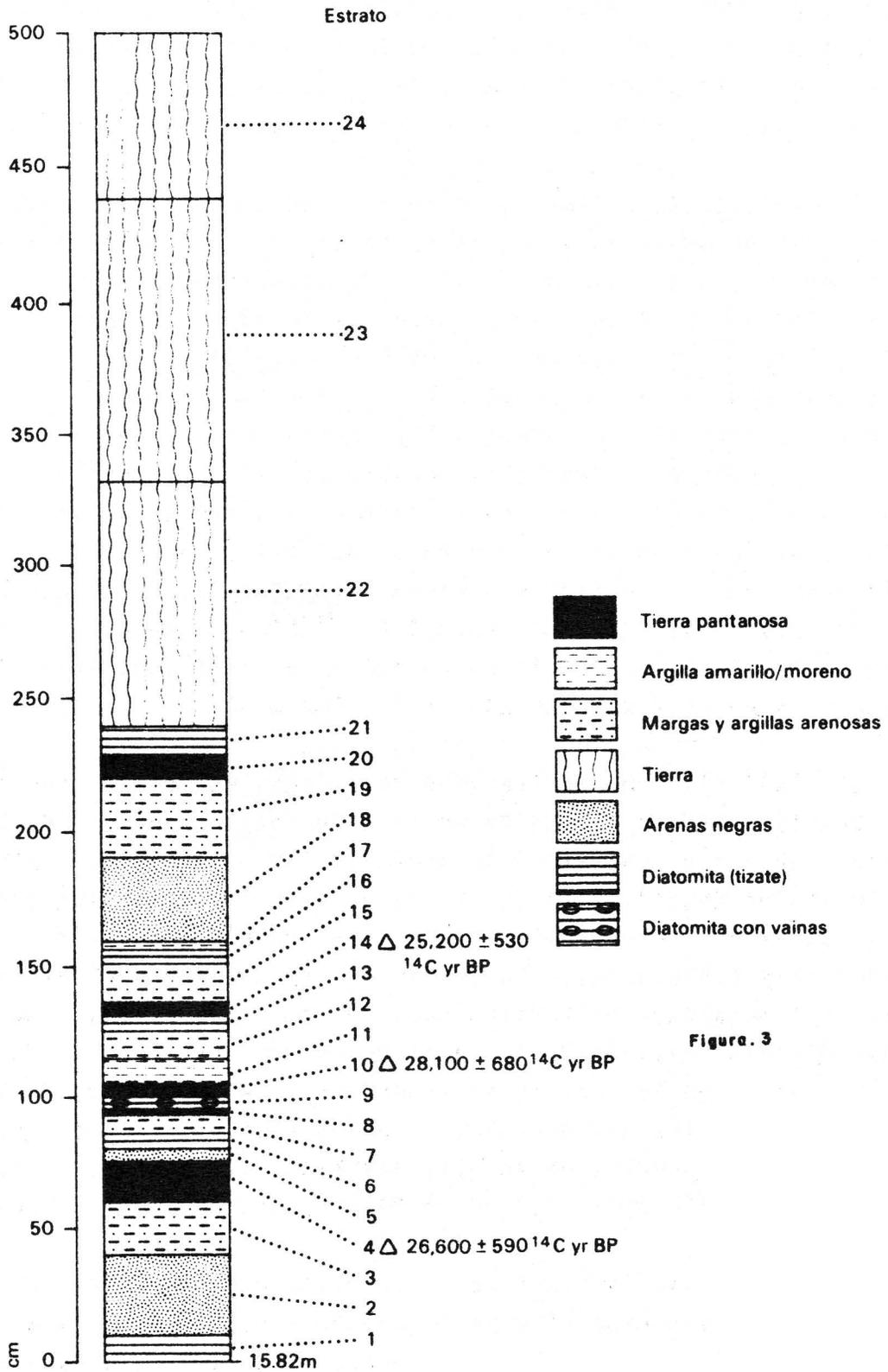


Figure. 3

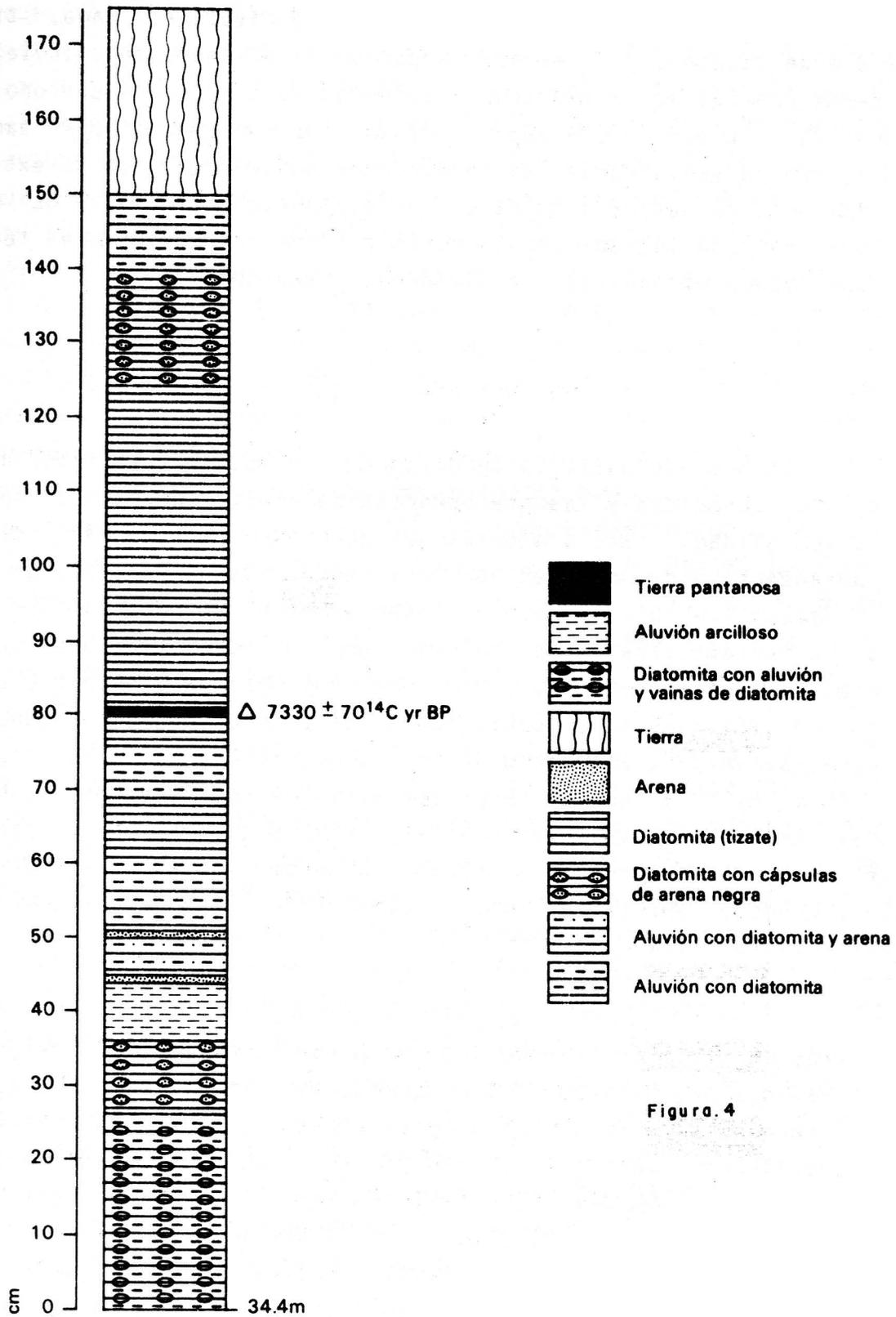


Figura. 4

con una elevación de 34.4 m antes del actual nivel del lago, tiene casi 2 m de espesor. La materia orgánica de un depósito coluvial en la parte central de la sección ha sido datada por radiocarbono en  $7330 \pm 70$   $^{14}\text{C}$  a.P. (SRR 2256). Estas dos secciones, por tanto, suministran un registro de las condiciones ambientales que se extienden hasta el cuaternario tardío. La evaluación detallada de este registro ha sido lograda por la aplicación de una variedad de técnicas, incluyendo el análisis de diatomeas y sedimentos.

### METODOS ANALITICOS

La técnica de análisis de diatomeas se basa en las tolerancias ecológicas conocidas y las preferencias de hábitat de las diatomeas en la actualidad. Las diatomeas son plantas microscópicas simples que durante su vida producen una resistente frústula silícea o concha. Estas frústulas llegan a conservarse en los sedimentos y sus formas características son la base para la identificación de la especie. Su potencial como indicadores del medio ambiente fue reconocido en vista de su sensibilidad a los cambios en la profundidad del agua, salinidad, alcalinidad y estado de los nutrimentos (Bradbury, 1975). Mientras que las especies aisladas no pueden ser diagnosticadas ambientalmente, los conjuntos o grupos de especies parecen estar asociados a condiciones ecológicas determinadas (Gasse *et al*, 1983) y pueden, por tanto, usarse como indicadores paleoambientales en el registro fósil.

Las muestras de diatomeas se preparan removiendo el carbonato y la materia orgánica por medio de métodos rutinarios (Battarbee, 1979). Cada muestra (0.1 g de materia seca) fue calentada ligeramente en una plancha eléctrica, con 10 ml de HCl 0.1 M, por 10 minutos o hasta que la reacción del ácido había cesado. Después se centrifugó durante 10 minutos a 2 000 r.p.m. El líquido fue decantado y los sedimentos lavados con agua destilada y vueltos a centrifugar. Este proceso de lavado fue repetido tres veces. Posteriormente se calentó

la muestra con 10 ml de  $H_2O_2$  (30%), durante 10 minutos y lavado varias veces con agua destilada. La solución final se llevó a un volumen de 30 ml. De esta suspensión se tomaron 4 muestras de 0.2 ml con el objeto de que fueran representativas respecto al contenido, y se colocaron en portaobjetos lavados con acetona. Se pusieron a evaporar a temperatura ambiente, para asegurar una distribución uniforme de diatomeas sobre el portaobjetos, antes de montarlas con resina Náprhras. Las laminillas fueron verificadas (inmersión en aceite, 1 000 X de ampliación) para determinar si eran necesarios otros procedimientos de limpieza (ejemplo: separación de arcilla usando solución de hidróxido de amonio). Aquellas muestras en que el número de valvas dentro del campo visual era demasiado grande para hacer una identificación correcta fueron diluidas. Para cada muestra por lo menos 400 valvas de diatomeas (Battarbee, 1979) se registraron de secciones de las cuatro laminillas preparadas, e identificadas por comparación con floras estándar (Hustedt, 1930; Patrick y Riemer, 1966; 1973; Germain, 1981). Los resultados para cada nivel se expresan en términos del porcentaje de la cuenta total representado por cada especie o, en algunos casos de baja población, por género.

Se llevaron a cabo análisis de sedimentos, específicamente de pérdidas en ignición, distribución por tamaño de partícula, y química del catión más abundante, para hacer descripciones más rigurosas de los depósitos que las que fueron posibles en el campo. Ellos permiten hacer distinciones claras entre tipos de sedimentos para, así, tener un marco básico dentro del cual puedan ser interpretados datos *bioquímicos* y biológicos. Los análisis químicos se llevaron a cabo en muestras que habían sido predigeridas, de acuerdo con el método modificado de Mackereth, con ácido hidrofúrico (Van Loon et al, 1980). Se llevó a cabo el análisis granulométrico en muestras originales secadas a 60° C, durante 12 horas, previamente a su dispersión con solución amortiguada al 3% de pH, de hexametáfosfato de sodio (Folk, 1965). Las fracciones gruesas y finas fueron separadas por tamizado cribado, por lavado con una malla No. 8 (4.75Ø). La distribución granulométrica de la fracción gruesa se obtuvo por un cribado en seco, a intervalos de media pulgada de abertura, mientras que la

granulometría de las arcillas y limos fue obtenida por análisis hidrométricos (Bouyouenos, 1928, 1936; Folk, 1965).

## RESULTADOS

La Figura 5 resume los resultados de los análisis de tamaño de partícula en los sedimentos de la sección Ladrillera. La interpretación de estos análisis se basa en el conocimiento de la fuente geológica potencial, que determina el rango inicial de tamaño y la clasificación de característica de ambientes específicos. El predominio de material de grano fino ( $> 4.75 \phi$ ) en los sedimentos de Ladrillera reflejan, básicamente, la importancia del basalto en la cuenca. En estas circunstancias geológicas es probable que sean ricos en arcillas aun los ambientes lacustres de alta energía. El aporte autóctono de estos sedimentos, principalmente frústulas de diatomeas, es también, predominantemente, de grano fino. Sin embargo, estos análisis (Figura 5a) aún distinguen entre tipos de sedimentos. Así, los estratos 2, 5 y 18, identificados en el campo como arenas negras bien clasificadas, muestran mínimas pronunciadas en la fracción fina, mientras que depósitos descritos como suelos pantanosos orgánicos, como son los estratos 8, 10, 14 y 20 contienen consistentemente 65-70% en las fracciones finas. Esto es indicativo de diferencias energéticas en el grado de distribución llevado a cabo en cada uno de estos ambientes de depósito; las arenas tipifican una playa de alta energía, y los suelos de pantano condiciones de baja energía. El rango de tamaño de partícula de la fracción más gruesa ( $< 4.75 \phi$ ) de estos sedimentos (Figura 5b) que probablemente refleja más aproximadamente el grado de distribución que tiene lugar en ambientes específicos (Solohunm y Kloovan, 1970), también muestra diferencias pronunciadas. La fracción gruesa de las arenas de playa, por ejemplo, está extremadamente bien clasificada en comparación con la de los otros estratos; particularmente los depósitos coluviales (por ejemplo, los estratos 23 y 24).

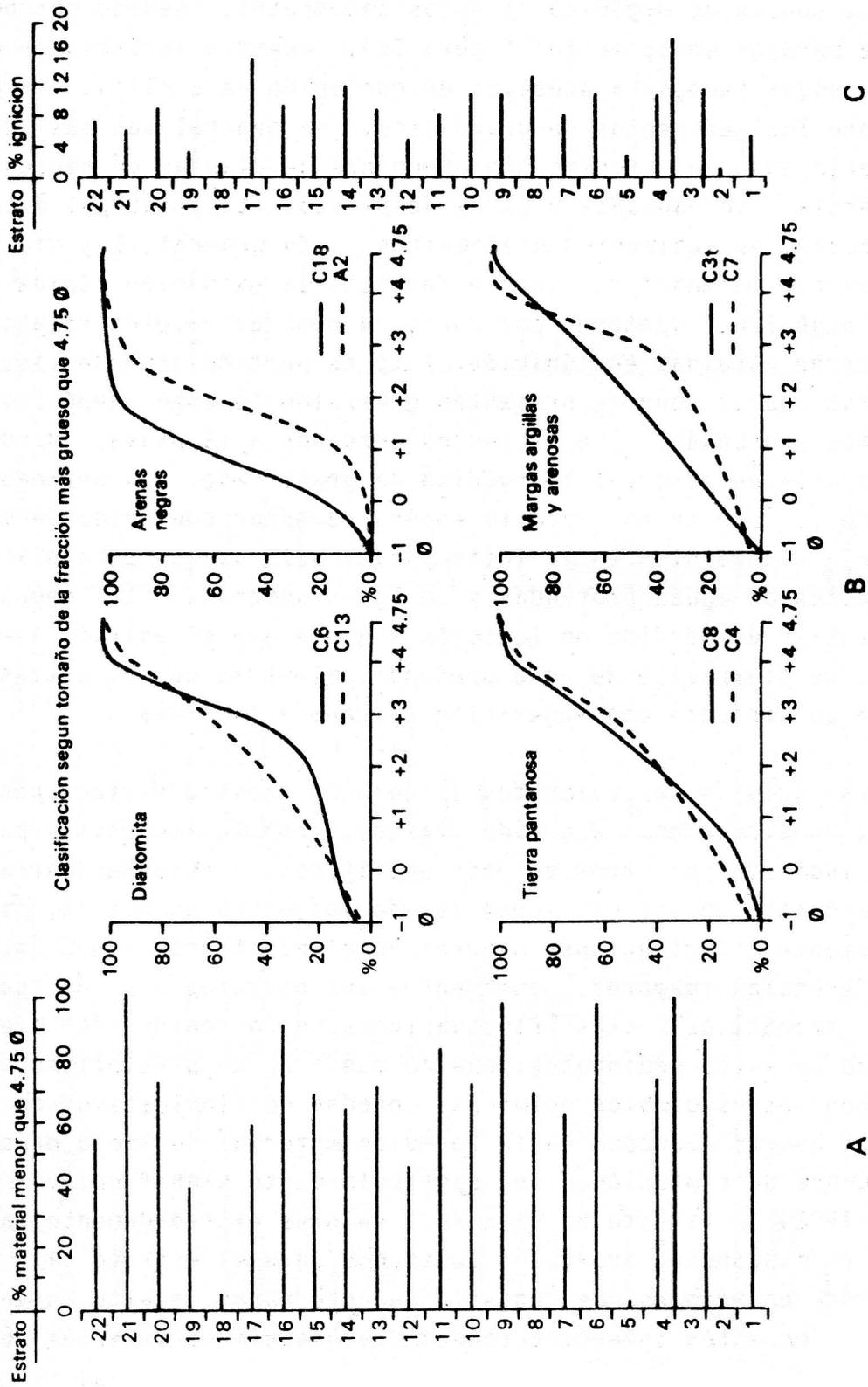


Figura. 5

El contenido orgánico de estos sedimentos, medido por porcentaje de pérdida en ignición (Figura 5c), muestra variaciones que a grandes rasgos semejan a aquellos en contenido de arcilla. Predominantemente los sedimentos de grano fino, en general son más orgánicos, reflejando el crecimiento abundante de plantas en ambientes de baja energía, en pantanos y cerca de playas. La principal excepción a esto ocurre en sedimentos diatomeicos. En general, las diatomitas son altamente permeables, lo que facilita la oxidación rápida de la materia orgánica. Tienden, por tanto, a mostrar valores relativamente bajos de pérdidas en ignición. Esto es particularmente cierto en diatomitas puras que se presentan generalmente como depósitos de aguas más profundas. En ambientes cercanos a la playa, donde hay mayor aporte de material inorgánico de grano fino, la permeabilidad se reduce y, por tanto, podría esperarse mayor contenido de materia orgánica. La pérdida en ignición puede, así, usarse para distinguir entre facies de aguas profundas y de aguas someras. La comparación de porcentaje de pérdida en ignición sugiere que el estrato 1 es, por ejemplo, de diatomitas de agua profunda, mientras que el estrato 9 se formó en un ambiente con vegetación cercano a la playa.

La química de sedimentos (Figura 6) muestra variaciones casi cíclicas consecuentes, a grandes rasgos, con la secuencia paleoambiental indicada por otros métodos analíticos. Pequeñas variaciones entre depósitos sucesivos, como las de los estratos 6 a 15, indican probablemente fluctuaciones menores en el nivel del agua, mientras que diferencias mayores, como entre los estratos 5 y 6, sugieren cambios dramáticos. Las fluctuaciones en contenido de hierro y manganeso de estos sedimentos, que no muestran un paralelismo consistente con otros cambios químicos, pueden ser indicativos de fases cuando el aporte alóctono en la forma de material de suelo erosionado de la cuenca de captación, fue particularmente significativo (Elder et al., 1976). Si éste es el caso, valores extremadamente bajos de hierro y manganeso, como los obtenidos para el estrato 1, pueden explicarse en términos de depósito durante fases de alto nivel del lago. Subsecuentes investigaciones de la geoquímica de estos sedimentos son necesarias para hacer más claras tales relaciones.

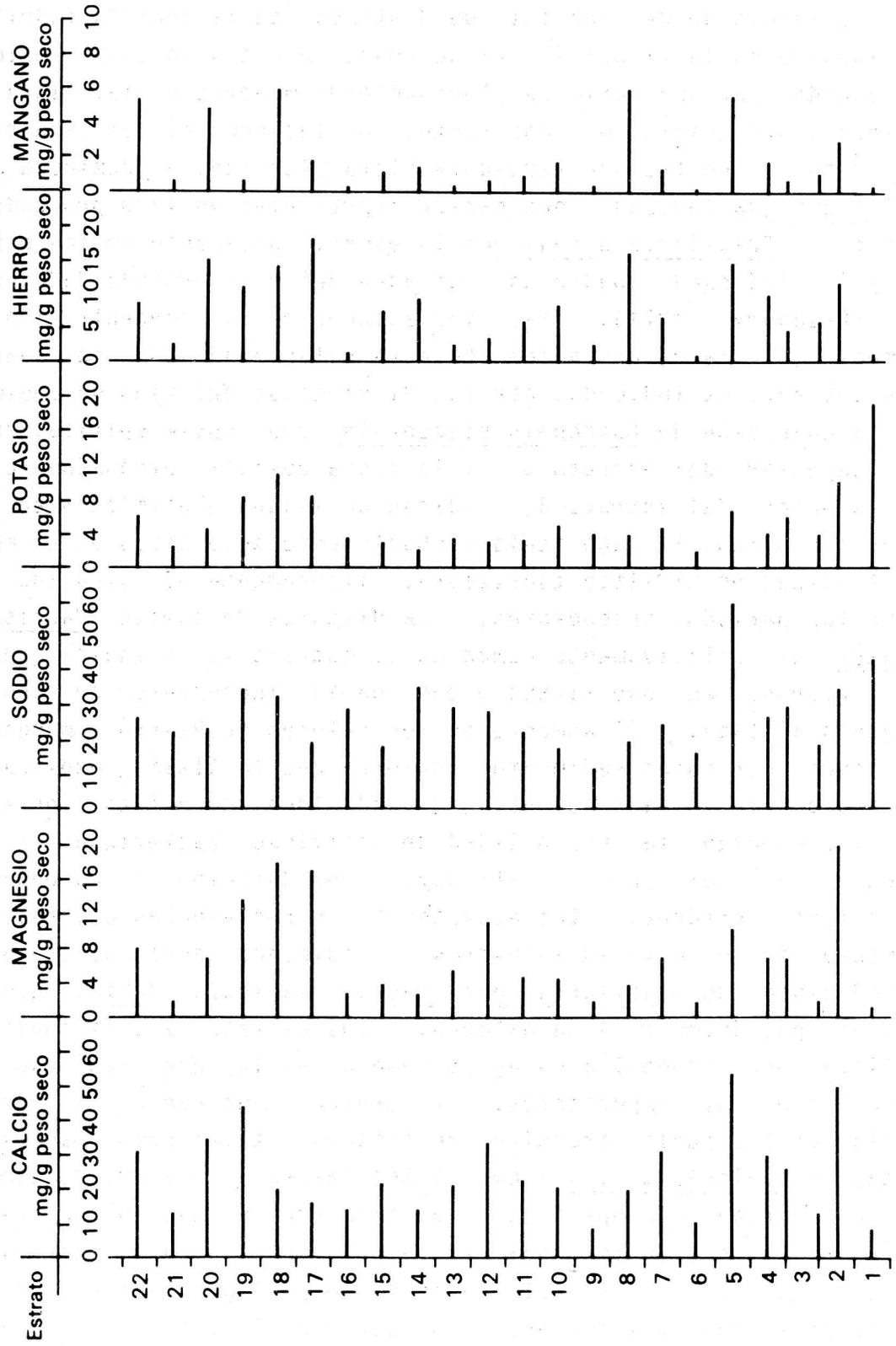


Figura . 6

El resultado del análisis de diatomeas de la sección Ladrillera se muestra en la Figura 7. La secuencia muestra un cambio principal seguido por una serie de fluctuaciones menores en la flora de diatomeas y probablemente, por tanto, en las condiciones lacustres. El estrato 1 muestra una verdadera flora planctónica dominada por Melosira ambigua (68.2%), que parece representar un lago profundo de agua dulce. Fragilaria pinnata es la especie dominante en los estratos 2 y 3, indicando condiciones de agua dulce de profundidad intermedia (Bradbury, 1971). Las variaciones en la concentración de diatomeas (Figura 8) probablemente está relacionada con las variaciones ambientales indicadas por las diferencias del tipo de sedimentos. La aparición de Cocconeis placentula, una especie epifita, en la parte superior del estrato 3, y la flora epifita predominante en aguas someras del estrato 4, indican un lejano abatimiento en los niveles lacustres. El lago tenía probablemente sólo cerca de un metro de profundidad en el sitio Ladrillera, ligeramente más alcalino que durante los periodos precedentes. La diatomea de suelos Hantzschia amphioxys es relativamente común en el estrato 4, e indica que el sitio afloraba en ese tiempo o que había incremento de aportes terrígenos al lago. El aumento en los valores de hierro y manganeso registrados por estos sedimentos sugieren que la última explicación es más probable. La existencia de condiciones de oxigenación en el sitio incrementan la posibilidad de actividad bacteriana en los sedimentos y, por tanto, contribuyó a una datación de carbono 14 aparentemente errónea. Los estratos 5 y 6 representan una fase de incremento de los niveles lacustres, culminando en el estrato 6 con el predominio de Fragilaria leptostauron variedad dubia, que es típica de agua dulce rica en oxígeno. Los estratos 7 a 11 contienen una flora que predomina en aguas someras en la que las especies epifitas son muy importantes. La presencia de suelo y especies aerófilas en los suelos orgánicos de pantano, tales como Hantzschia amphioxys y Navicula mutica (Lowe, 1974) (estratos 8 y 10) es consistente con periodos de muy bajo nivel lacustre con más aporte terrígeno, como lo indican los análisis de sedimentos. En la parte superior de esta serie de estratos parece que el lago llegó a ser más profundo y de aguas más dulces. Los estratos 12 y 13, en los cuales



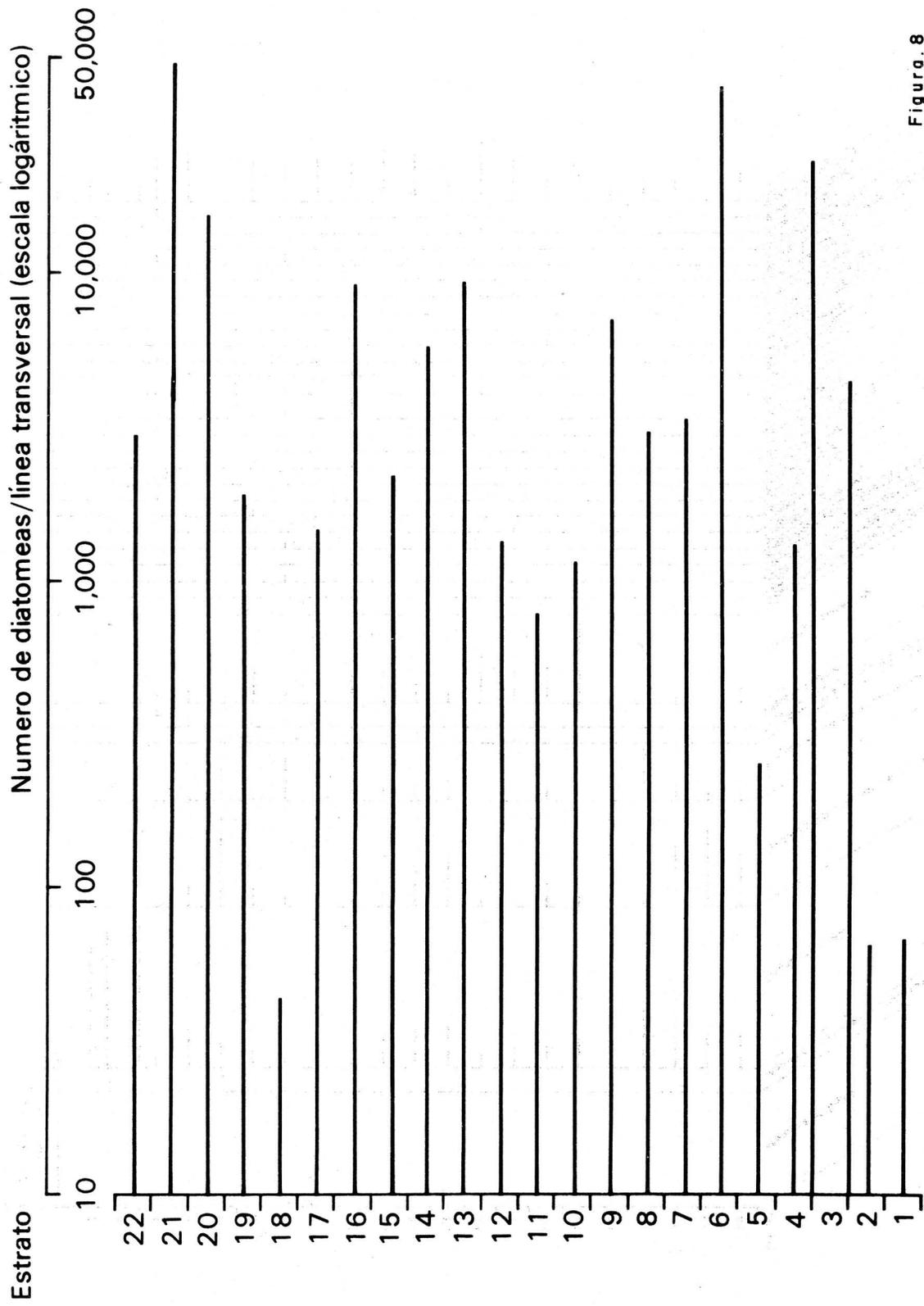


Figura. 8

las especies Fragilaria son de nuevo predominantes, marcan probablemente otra fase de aguas más profundas similar a la indicada por los estratos 5 y 6. Las dataciones de carbono 14 obtenidas entre los estratos 4 a 14 indican que este periodo de condiciones oscilantes, principalmente de aguas someras, ocurrió hace de 30 000 a 25 000 años. Sobre estos niveles el lago parece hacerse somero y más alcalino. Cocconeis placentula predomina cada vez más, alcanzando un máximo (50%) en el estrato 17. En este tiempo el lago parece volver a ser de agua dulce otra vez, ya que las especies Fragilaria, especialmente F. pinnata y F. lepstos tauron, variedad dubia, dominan la parte superior de la sección (estratos 18 a 22). La flora del estrato 22, a pesar de estar aún dominada por especies Fragilaria, indica un ligero abatimiento en el nivel lacustre e incremento en alcalinidad. El retorno de Cocconeis placentula en número considerable (9.7%) sugiere que la vegetación del borde estaba más cerca. La evidencia de campo sugiere que los estratos suprayacentes son depósitos coluviales, indicando la persistencia de esta fase de abatimiento de los niveles lacustres.

Los resultados del análisis de las diatomeas de la sección Zacapu 1 se presentan en la Figura 9. En la base de esta sección predomina Cyclotella meneghiniana asociada con especies subsidiarias como Amphora ovalis y Navicula halophila, lo que indica que el lago es relativamente superficial y alcalino. El agua fue progresivamente más dulce, hasta culminar con la aparición, a los 30 cm, de Melosira ambigua, Stephanodiscus astrae, variedad intermedia y Stephanodiscus niagarae que son, verdaderamente, especies planctónicas, señalando una fase de agua dulce profunda. La capa de cieno arcilloso a 40 cm indica una fase temporal de niveles más bajos del lago, con mayor alcalinidad asociada con un episodio de acumulación coluvial. Las frústulas de las diatomeas dentro de los depósitos están más bien fragmentadas, lo que puede indicar materiales retrabajados de capas más antiguas. La especie dominante entre los 60 y 70 cm es la Cyclotella stelligera, ésto denota que el lago se vuelve progresivamente más dulce, especialmente a los 65 cm donde el plancton S. niagarae de agua dulce también abunda. Sigue un breve período de

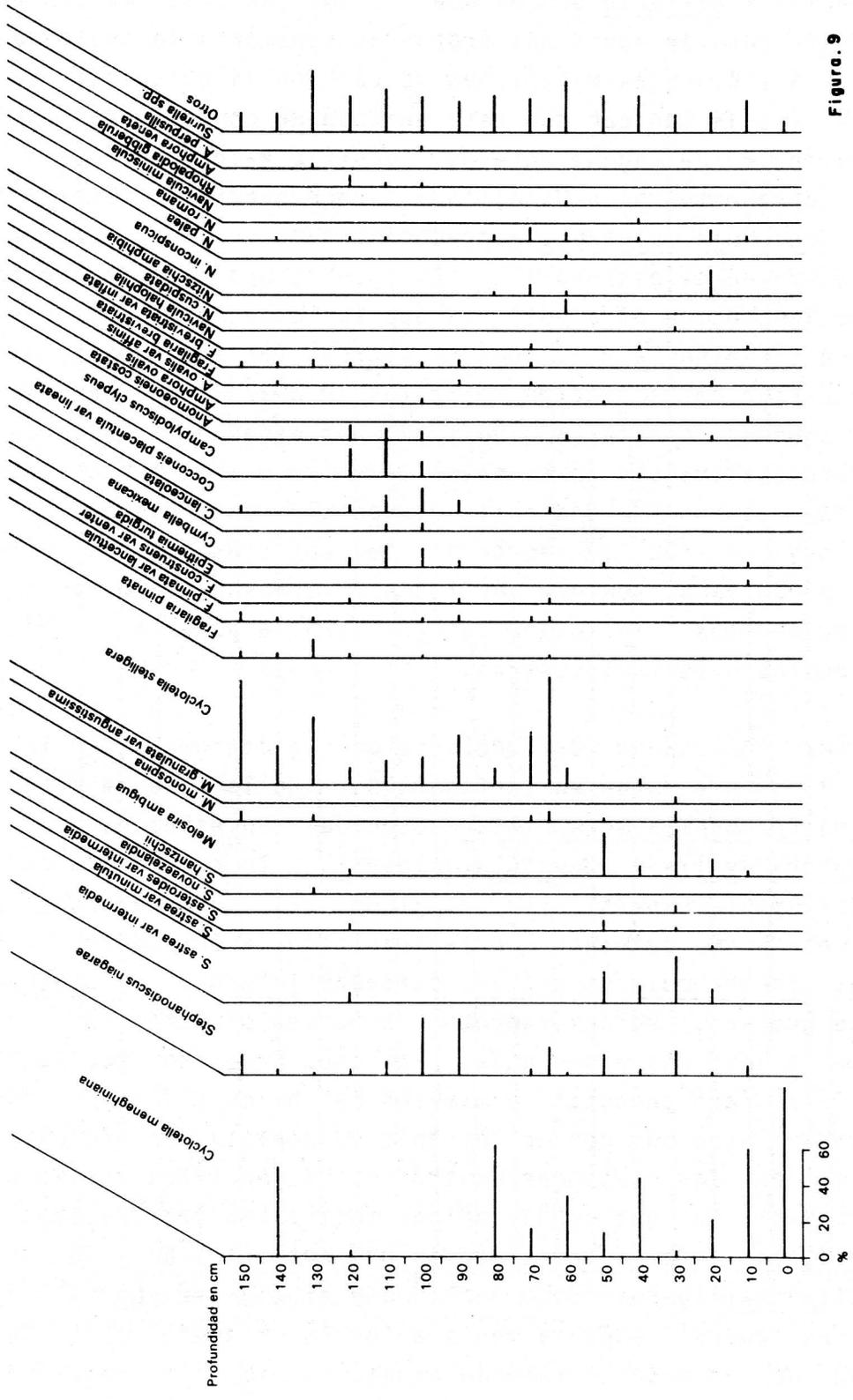


Figura. 9

declinación de los niveles del lago manifestado por la ausencia de especies planctónicas y un aumento de salinidad y alcalinidad. El suelo orgánico de pantano, rico en arcilla, a los 80 cm, indica también niveles bajos del lago y ha sido datada a  $7\ 330 \pm 70$  14 C años a.P. (SRR 2256). Entre 90 y 130 cm, en la flora predomina de nuevo C. stelligera y Stephanodiscus niagarae, aun cuando la creciente importancia de Campylodiscus clypeus hacia los 110 y 120 cm, que sugiere condiciones más salinas, indica que el lago tuvo, por lo menos, leves fluctuaciones en profundidad. La presencia de más especies epifitas cerca de la cima del perfil, especialmente entre 90 y 120 cm, indica que hubo una vegetación marginal más abundante en el sitio, durante la fase de depósito, en agua dulce. El dominio de Cyclotella meneghiniana hacia los 140 cm marca una fase de condiciones de poca profundidad y alcalinidad, aun cuando la flora a 150 cm indica que se trata de un intervalo relativamente corto previo al regreso a condiciones de agua dulce.

El análisis de las diatomeas sugiere que, en general, los sedimentos expuestos en la Sección Zacapu 1 se depositaron en aguas más profundas que las de la sección Ladrillera, lo que se confirma por los valores más bajos de pérdida de ignición de estos sedimentos. La escasez de especies epifitas en la flora diatomea puede indicar que hay menos aporte de materia orgánica y poca vegetación marginal alrededor del lago durante esta secuencia.

## CONCLUSIONES

En términos generales, se interpreta la sección Ladrillera como muestra de un cambio importante del nivel del lago anterior a 30 000 años a.P., seguido por una serie de fluctuaciones menores durante las cuales hubo variaciones en la importancia relativa de las fuentes terrestres y de material acuático, así como en la abundancia de vegetación y la química lacustre del lugar. La edad de la parte superior de esta sección es incierta, específicamente la de los depósitos coluviales (estratos 22 y 24). La presencia de la tumba

puede sugerir una edad relativamente reciente, implicando un hiato en la sedimentación en el lugar, posiblemente después del depósito del estrato 21. La sección Zacapu 1 revela un patrón más dramático de fluctuaciones debido a que en esta elevación, ligeramente más alta, sólo se reflejan cambios importantes del nivel del lago. Parece que han sido tres períodos de nivel alto del lago, separados por fases de aguas someras muy alcalinas. La segunda de estas fases más secas ha sido datada en  $7\ 300 \pm 70$   $^{14}\text{C}$  años a.P., indicando que la sección Zacapu 1 registra un comportamiento lacustre hasta principios del holoceno. Infortunadamente, la sección Ladrillera y la sección Zacapu 1 no parecen indicar una secuencia continua de sedimentación. Los resultados reportados aquí sobre la cuenca del Zacapu pueden, sin embargo, ser ajustados en el marco cronológico del actual cambio climático del centro de México. El período de niveles bajos y oscilantes del lago, registrado hace de 30 000 a 25 000 años en la sección Ladrillera ocurrió al mismo tiempo que una persistencia de bajo nivel del lago Texcoco en la cuenca de México (Bradbury, 1971). Aquí una datación  $^{14}\text{C}$  de  $27\ 200 \pm 200$  años a.P. marca parte de un largo episodio en que la flora diatomea de agua salada predominaba en el lago, indicando condiciones de agua somera y ligeramente salina. En el holoceno, el episodio de sequía datado en la sección Zacapu 1 en  $7\ 330 \pm 70$   $^{14}\text{C}$  años a.P. tuvo lugar al mismo tiempo, en forma semejante, en la cuenca de México (Limbrej, 1976) y en el lago Valencia, Venezuela (Bradbury et al., 1981). Estudios de diatomeas de la cuenca alta Lerma, estado de México, indican que hubo un segundo período de condiciones someras y salinas, datado en  $5\ 960 \pm 60$   $^{14}\text{C}$  años a.P. (SRR 2254) que tuvo lugar al mismo tiempo que un cambio en el de Chalco, en la cuenca de México, a condiciones de pantano somero y alcalino (dominaron Cocconeis placentula y Nitzschia amphibia) (Bradbury, 1971). Sería interesante meditar si este episodio está correlacionado con las condiciones someras y alcalinas indicadas por las diatomeas cerca de la cima de la sección Zacapu 1.

Durante los últimos 5 000 años y especialmente desde hace casi 3 500 años a.P., se hace cada vez más difícil distinguir los efectos del clima y del hombre. El registro de polen de Pátzcuaro muestra

polen de Zea (maíz) y un aumento de quenopodios desde 3 500 a.P. que se tomaron como una indicación clara de una tala de bosques y uso agrícola de las pendientes en la cuenca. La tala de bosques y erosión acelerada del suelo se registraron a  $2\ 300 \pm 60$   $^{14}\text{C}$  a.P. (SRR 1862) en un depósito coluvial rico en carbón en la cuenca del Pátzcuaro (Street-Perrott et al, 1982). Los depósitos coluviales en la parte superior de la sección Ladrillera pueden significar una fase similar de erosión acelerada del suelo, aun cuando no se conoce la edad de estos sedimentos.

Este trabajo preliminar en Zacapu indica que hay una fuerte señal climática marcada por fluctuaciones del nivel del lago dentro de la cuenca. Las secciones pueden también proporcionar un registro del impacto humano en el ambiente. Se requiere más trabajo, sin embargo, para aclarar la relación que existe entre estos dos factores, y determinar la importancia del cambio climático para el registro arqueológico de esta región.

Este estudio indica el tipo de información que puede ser obtenido por medio de la aplicación de técnicas sedimentológicas y biológicas en el análisis de sedimentos lacustres. Los resultados obtenidos por medio de cada técnica varían en exactitud. En general, sin embargo, proporcionan resultados que se complementan, y puede obtenerse una visión relativamente coherente de los cambios ambientales. El valor interpretativo de estas técnicas es restringido en parte por el contexto geológico de las secciones y por las limitaciones del conocimiento actual de la importancia ecológica de ciertas especies de diatomeas. Un enfoque multidisciplinario como el del presente trabajo impide, sin embargo, prevenir la adopción de una explicación simplista en un medio complejo.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue generosamente apoyado por subsidios del NERC, el Gilchrist Educational Trust y el British Museum Godman Fund (for SEM), el British Geomorphological Research Group Research Fund y la Royal Geographical Society (for SPH). Quisiéramos agradecer también a Alberto López Santoyo y Silvana Levi de López su apoyo constante y su generosa hospitalidad; el interés y comentarios del Dr. J.P. Bradbury (USGS, Denver), R.B. Brown (Tucson) y Dr. F.A. Street-Perrott (Oxford) así como A. J. Fowler por llevar a cabo el análisis de lípidos y dataciones  $^{14}\text{C}$  de los sedimentos, y por sus valiosos comentarios.

## BIBLIOGRAFIA

Barbour, C.D., (1973) "A biogeographical history of Chirostoma" (Pices: Anthe inidae a species flock from the Mexican Plateau), Copeia, 533-556.

Bassett, J., Denney, R.C., Jeffery, G.H. and Mendham, J., (1978), Vogel's Textbook of Quantitative Inorganic Analysis, Longman, London, 925 pp.

Battarbee, R.W., (1979) "Diatoms in lake sediments" In: Berglund, B.W. (Ed.) Palaeohydrological Changes in the Temperate Zone in the last 15,000 Years. Lund, Sweden.

Bouyoucos, G.J., (1928) "The hydrometer method for making a very detailed mechanical analysis of soils", Soil Science, 26, 233-238.

Bouyoucos, G.J. (1936) "Directions for making mechanical analyses of Soils by the hydrometers method", Soil Science, 42, 225-228.

Bradbury, J.P., (1971) "Paleolimnology of Lake Texcoco", Mexico, Limnology and Oceanography, 16, 180-200.

Bradbury, J.P., (1975) "Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota", Geological Society of America Special Paper, 171, 74 pp.

Bradbury, J.P., Leyden, B., Salgado Labouriau, M.L., Lewis Jnr, W.M., Schubert, C., Binford, M.W., Frey, D.G. and Whitehead, D.R., (1981) "Late Quaternary climatic changes in northern South America", Science, 214, 1299-1305.

Demant, A., (1980) L'Axe Neo-volcanique Trans Mexicain étude volcanologique et pétrographique signification géodynamique. Thèse, Université d'Aix Marseille, Faculté de St Jérôme.

Elder, J.F., Osborn, K.E. and Goldman, C.R. (1976) "Iron transport in a Lake Tahoe tributary and its potential influence upon phytoplankton growth", Water Research, 19, 783-788.

Folk, R.L., (1965) Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's, Austin, Texas, 159 pp.

Gasse, F., Talling, J.F. and Kilham, P. (1983) "Diatom assemblages in East Africa: classification, distribution and ecology". Révue du Hydrobiologie tropicale, ORSTOM, 16 (1), 3-34.

Germain, H., (1981), Flore des Diatomées eaux douces et saumâtres. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris.

Halley, E. (1715) "On the cause of the saltness of the ocean and of the several lakes that wmit no rivers, with a proposal, by help thereof, to discover the age of the world". Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 29, 296-300.

Hustedt, F., (1930) Die Süßwasser Flora Mitteleuropas. Heft 10. Baccillariophyta (Diatomease). Jena. 466 pp.

Limbrey, S., (1976) "Tlapacoya: Problems of interpretation of lake margin sites at an early occupation site in the basin of Mexico" In: Davidson, D.A. & Shackley, M.L. (Eds.), Geoarchaeology. Duckworth, London, 213-226.

Lowe, R.L., (1974) Environmental Requirements and Pollution Tolerance of Freshwater Diatoms. EPA-K67974-74-005, Environmental Monitoring Series, National Environmental Research Center, Cincinnati, 340 pp.

Patrick, R. and Reimer, C.W. (1966) The Diatoms of the United States, Vol. 1, Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, No. 13, 688 pp.

Patrick, R. and Reimer, C.W., (1975) The Diatoms of the United States, Vol. 2, Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, No. 13, 213 pp.

Solohub, J.T. and Klovan, J.E., (1970) "Evaluation of grain-size parameters in lacustrine environments", Journal of Sedimentary Petrology, 40, 81-101.

Street-Perrott, F.A. and Harrison, S.P. (in press) "Lake-level fluctuations". In: Hecht, A.D., (Ed.), Quantitative Paleoclimate Analysis and Modelling.

Street-Perrott F.A., Perrott, R.A. and Harkness, D.D., (1982) "Holocene environments and Man in central Mexico", Abstracts, 44th International Congress of Americanists, Manchester, 121.

Van Loon, J.C., (1980) Analytical Atomic Absorption Spectroscopy: Selected Methods. Academic Press, New York, 337 pp.

Waitz, P., (1943) "Reseña geológica de la cuenca de Lerma", Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 58, 123-138.

Watts, W.A. and Bradbury, J.P., (1982) "Paleoecological studies at Lake Pátzcuaro on the West-Central Mexican Plateau and at Chalco in the Basin of Mexico", Quaternary Research, 17, 56-70.