

Textura, composición y contenido de materia orgánica de los sedimentos recientes de un lago tropical de México

Alberto Pérez-Rojas, Roberto Torres-Orozco B.,
Erick Morales-Gutiérrez y Esther Pérez-Méndez

Departamento de Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. Apdo. Postal 55-535, C.P. 09340, México D.F.

Pérez-Rojas, A., R. Torres-Orozco B., E. Morales-Gutiérrez y E. Pérez-Méndez, 2000. Textura, composición y contenido de materia orgánica de los sedimentos de un lago tropical de México. *Hidrobiológica* 10 (1): 41-50.

RESUMEN

Laguna Escondida es un lago pequeño y relativamente profundo ($A = 18.26$ ha; $z_m = 32.5$ m), inmerso en la selva tropical lluviosa de la región de Los Tuxtlas, en el estado mexicano de Veracruz. Se estudiaron los sedimentos superficiales del lago, atendiendo a su textura, origen, composición y contenido de materia orgánica. El análisis textural permitió reconocer nueve grupos que van desde las gravas arenosas, en la desembocadura del afluente principal y en la margen centro-oriental del lago, hasta las arcillas limosas, en las áreas más profundas. La energía del afluente principal se disipa a medida que la corriente penetra en el lago y los materiales que acarrea se depositan en una pluma sedimentaria formada por partículas de tamaño progresivamente menor. La mayor parte del fondo está cubierto por detritos vegetales alóctonos en distintos estados de descomposición, los cuales provienen, en su mayoría, de la densa cubierta forestal que rodea el lago. En la composición de los sedimentos destacan los minerales alogénicos de origen volcánico (silicatos y ferromagnesianos) y cantidades inferiores al 5% de minerales endogénicos (espículas de esponja, ostrácodos y diatomeas) y autigénicos (óxidos de hierro y filipsita). La materia orgánica de origen alóctono (MO) es extremadamente abundante; su proporción varía entre 20 y 30 % en el centro del lago pero alcanza valores de hasta 80% en la orilla noroccidental. Las elevadas concentraciones de MO indican que la cadena de detritos es muy importante en el metabolismo del lago. La naturaleza y la distribución de los sedimentos sugieren que Laguna Escondida es un sistema mixto, desde un punto de vista trófico, por lo que podría ser tipificado como un lago mesotrófico polihúmico. Finalmente, se advierte que la tala de la selva circundante provocaría cambios drásticos en el metabolismo del lago.

Palabras clave: Sedimentos lacustres, materia orgánica, distrofia, limnología, México.

ABSTRACT

Laguna Escondida is a small deep lake ($A = 18.26$ ha; $z_m = 32.5$ m) surrounded by the tropical rain forest still remaining in the "Los Tuxtlas" region, in the Mexican state of Veracruz. The superficial sediments of the lake were studied in order to identify its texture, origin, composition and organic matter content. The texture analysis led us to recognize nine groups ranking from gravely-sands, at the inlet of the main affluent and at the center of the west shore, to clayey-silts in the deepest parts of the lake. The energy of this main affluent dissipates as the current penetrates into the lake and the materials carried by the river are deposited in a sedimentary plume of particles of decreasing size. Most of the lake's bottom is covered by allochthonous plant debris in several degrees of decomposition. These came mainly from the dense canopies of the forest surrounding the lake. Sediments are composed by allogenic minerals of volcanic origin (mainly silicates) and small quantities of endogenic (sponge spicules, diatom frustules and ostracods) and autigenic (iron oxides and philipsite) minerals, both in quantities of less than 5%. Allochthonous organic matter (OM) is extremely abundant; its proportion varies from 20 to 30 % at the center of the lake but it reaches 80% in the northwestern shores. High concentrations of OM indicates that the detrital food-chain plays an important role in lake's

metabolism. The nature and distribution of the sediments suggests that Laguna Escondida can be seen as a mixed system from a trophic perspective. Thus, it would be typified as a mesotrophic-polihumic lake. Finally, it is indicated that the cutting of the forest that occupies the lake surroundings will promote profound changes in the metabolism of this lake.

Key words: Lakes, sediments, organic matter, dystrophy, limnology, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Los procesos sedimentológicos que tienen lugar en los lagos han sido muy poco estudiados (Håkanson y Jansson, 1983). Para la mayoría de los limnólogos, el interés por los sedimentos lacustres radica en el hecho de que en su interior se resume la historia de la vida de un lago. Así surge la paleolimnología como una disciplina que pretende reconstruir las condiciones que prevalecieron en un lago en el pasado a partir del estudio de sus depósitos (Binford *et al.*, 1983). Algunos lagos mexicanos han sido investigados bajo esta perspectiva (Bradbury, 1989; Watts y Bradbury, 1982); sin embargo, salvo escasas excepciones (*v. gr.* Hutchinson *et al.*, 1956), el estudio de los sedimentos superficiales, que indudablemente puede brindar información sobre las condiciones limnológicas que imperan en el presente, prácticamente no ha sido abordado.

En 1993 se estudiaron los sedimentos recientes del Lago de Catemaco, en la región de Los Tuxtlas, Veracruz (Pérez-Rojas *et al.*, 1993). Los resultados mostraron que una característica relevante de los sedimentos de Catemaco era su elevada proporción de materia orgánica, la cual podría tener un importante papel en su estructura trófica. De aquí surgió el interés por conocer si este rasgo era compartido por otros lagos de la misma región, por lo que se decidió hacer un estudio semejante en Laguna Escondida, un lago más pequeño, ubicado 17 Km al norte de Catemaco. En virtud de lo anterior, este trabajo tiene por objetivos determinar el tamaño, las fuentes de procedencia, la composición y el contenido de materia orgánica de los sedimentos superficiales de Laguna Escondida.

ÁREA DE ESTUDIO

Laguna Escondida se localiza en las estribaciones del volcán de San Martín, casi al centro de la región de Los Tuxtlas, en las vecindades de la intersección de las coordenadas 18° 35' N y 95° 05' W, a una altitud de 130 metros sobre el nivel del mar. Es un lago pequeño (A= 18.26 ha; l= 960 m), de forma elongada y un tanto sinuosa y una profundidad máxima de 32.5 m. La vegetación circundante es de selva alta perennifolia. El lago se ubica en las inmediaciones del límite norte de los terrenos de la Estación

de Biología Tropical "Los Tuxtlas", de la UNAM, en una zona en donde ya es notable el impacto de las actividades humanas. Se trata de un cuerpo de agua permanente que es alimentado durante todo el año por el Río Cold, que desemboca en su parte meridional, y drena por el norte a través de un cauce que termina en el mar, cerca de Montepío. Sus principales rasgos limnológicos fueron descritos por Torres-Orozco y colaboradores (1994, 1996).

La región de Los Tuxtlas representa el límite septentrional de la distribución de la selva tropical perennifolia en el continente americano y el último relicto de este tipo de vegetación en el estado de Veracruz (Dirzo y Miranda, 1992). El clima de la zona corresponde a un cálido-húmedo, con lluvias en verano y principalmente en otoño, y una temperatura media anual de 27°C. La precipitación media anual es del orden de los 4,900 mm y aunque llueve todo el año es posible distinguir una época de "lluvias" de junio a febrero y otra de "secas" de marzo a mayo (Soto, 1979). El mes más seco es generalmente mayo y los más húmedos van de agosto a noviembre. Debido a su cercanía con la costa del Golfo de México, esta zona es afectada directamente por los "nortes" durante los meses de invierno, los cuales aportan cerca del 15% del total de la precipitación anual y producen descensos de temperatura de hasta 0°C (Estrada *et al.*, 1985).

Geológicamente, la región de Los Tuxtlas se caracteriza por una accidentada topografía volcánica-acumulativa, derivada de la intensa actividad eruptiva acaecida durante la mayor parte de las Épocas Plio-Pleistocénica y Reciente, en la que dominan los depósitos de tefra y derrames lávicos, sólo interrumpidos esporádicamente por ventanas de sedimentos marinos del Terciario. Los suelos que cubren la mayor parte de las lavas más jóvenes se derivan de materiales volcánicos sometidos a una rápida intemperización, son ricos en nutrientes inorgánicos y poseen densos horizontes humíferos (Pérez-Rojas *et al.*, 1992).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sedimentos se colectaron en marzo de 1997, empleando una draga tipo Ekmann de tres litros de capacidad en 46 estaciones distribuidas en todo el lago (Fig.

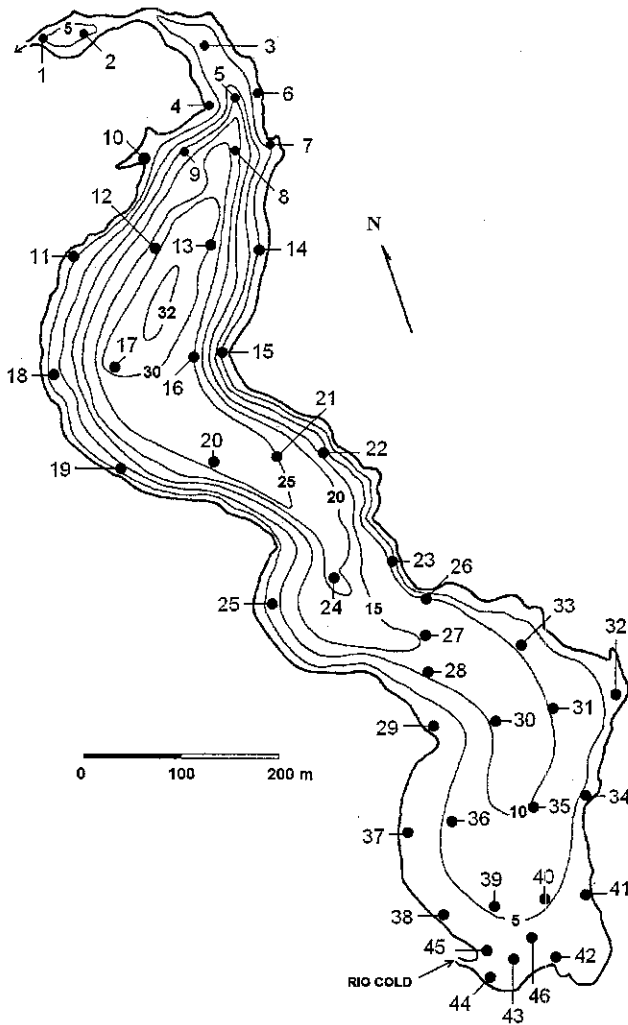


Figura 1. Batimetría y localización de las estaciones de recolección de sedimentos en Laguna Escondida, Veracruz, México.

1). En cada estación se midió la profundidad y se tomó nota de la apariencia del sedimento al momento de su recolección. Las muestras se depositaron en bolsas de plástico oscuras y se conservaron en refrigeración hasta su procesamiento en el laboratorio.

El análisis granulométrico se realizó mediante las técnicas tradicionales de tamizado y pipeteo propuestas por Folk (1969). Los datos obtenidos constituyeron la base para elaborar mapas de distribución de los sedimentos atendiendo a su valor granulométrico (Davis, 1986; Håkanson y Jansson, 1983).

La composición se determinó mediante microscopía petrográfica y estereoscópica (Kerr, 1977). Los minerales se identificaron atendiendo a sus propiedades ópticas, mediante la observación de frotis en portaobjetos (Rothwell,

1989). Las proporciones de los constituyentes del sedimento se evaluaron empleando las tablas de comparación visual de porcentajes de Terry y Chilingar (1955).

El contenido de materia orgánica (MO) se determinó mediante la técnica de pérdida de peso por ignición a 550°C (Dean, 1974). Se eligió esta técnica porque, además de que brinda una estimación adecuada de la cantidad de MO en los sedimentos (Håkanson y Jansson, 1983), permite evaluar todo el material contenido en la muestra original; sin embargo, es necesario tener presente que cuando una muestra tiene cantidades significativas de arcillas, los resultados obtenidos pueden ser sobrestimados hasta en un 5%, debido al agua intersticial contenida en éstas.

RESULTADOS

Textura

Las diferencias en el tamaño de los sedimentos permitieron reconocer nueve grupos texturales en el diagrama ternario de Shepard (1954): a) gravas arenosas, b) gravas arena lodosas, c) arenas gravosas, d) arenas arcillosas, e) lodos arenosos, f) limos arenosos, g) arcillas arenosas, h) arcillas limosas e, i) arcillas (Fig. 2).

Las gravas (GA, AG y GAL, en la Fig. 2) se distribuyen en la desembocadura del afluente principal y en la porción media de la ribera oriental, en profundidades generalmente menores de 5 m. La mayor parte de las riberas del seno septentrional están formadas por arenas arcillosas (Aa), las cuales también se presentan asociadas a la pluma de sedimentación del afluente principal. En los fondos alejados de la costa se observan tres tipos texturales. En las partes norte y centro del lago, en profundidades intermedias, se presentan arcillas arenosas (aA) y en las áreas más profundas, arcillas limosas (al). Los lodos arenosos (LA) constituyen el grupo dominante en el seno sur y se extienden en una lengüeta hacia la margen centro-occidental (Fig. 2).

Cuando se intentó agrupar a los sedimentos con base en sus parámetros estadísticos (tendencia central, clasificación y grado de simetría) se notó que los resultados obtenidos no coincidían con los tamaños de partícula observados en las muestras. Esto aparentemente se debió a que en muchas muestras los sedimentos estaban muy mal clasificados y presentaban dos modas (o más) en su distribución por tamaños. De acuerdo con lo anterior, en una muestra que, por ejemplo, presentara una moda en los lodos y otra en las gravas, la tendencia central indicaría que se trata de sedimentos arenosos aún cuando este grupo de partículas estuviese

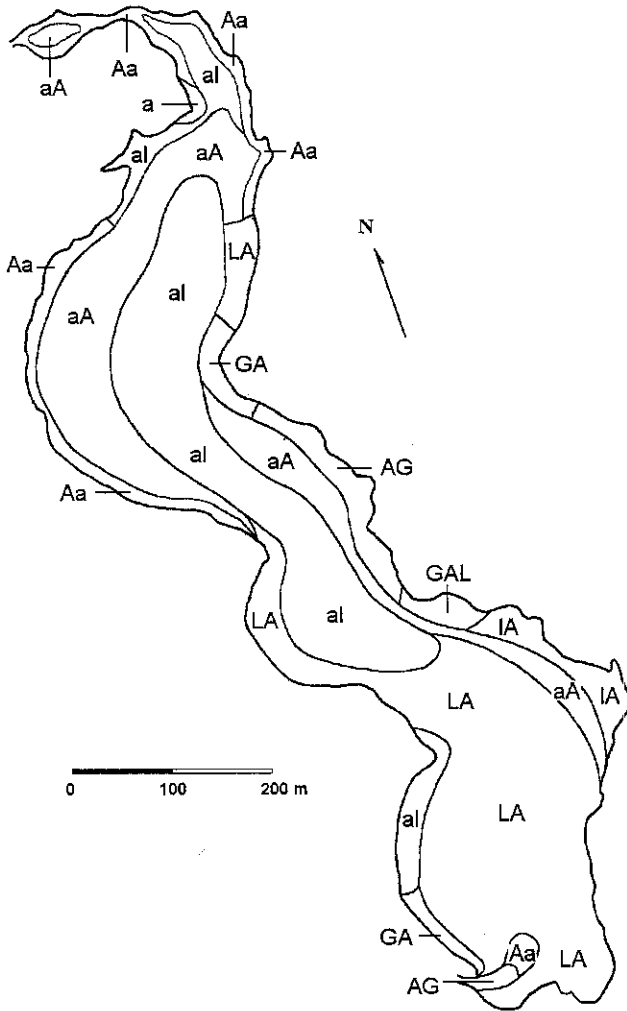


Figura 2. Distribución de los grupos texturales que conforman los sedimentos superficiales de Laguna Escondida. Abreviaturas: GA) gravas arenosas, GAL) gravas arena lodosas, AG) arenas gravosas, Aa) arenas arcillosas, LA) lodos arenosos, IA) limos arenosos, aA) arcillas arenosas, al) arcillas limosas y, a) arcillas.

prácticamente ausente. Por ello, se decidió no emplear este método para la clasificación de los grupos texturales.

Origen y medio de transporte

Se reconocieron dos fuentes genéticas de los sedimentos: terrígena y orgánica. Los sedimentos terrígenos provienen de la intemperización y erosión de la roca madre y son transportados por distintos medios hasta su depositación final en el lecho del lago. En este grupo se distinguen cuatro asociaciones sedimentarias:

I. Sedimentos de grano grueso de procedencia fluvial, forman un pequeño delta en la desembocadura del Río Cold;

II. Sedimentos de tamaño medio (arena), aportados por esta misma corriente, están depositados en la parte frontal del delta hasta profundidades de 6 m;

III. Sedimentos de grano fino, marcan la máxima dispersión de la pluma de sedimentación fluvial, se presentan desde los 6 hasta los 25 m de profundidad y delimitan el cambio de facies con la fuente orgánica;

IV. Sedimentos de tamaño grueso de procedencia coluvial y aluvial, se localizan en la margen centro-oriental del lago, en profundidades menores a los 5 m. Un acantilado rocoso de unos 15 m de altura aporta estos materiales por caída directa y lavado de las zonas aledañas (Fig. 3).

Los sedimentos orgánicos están constituidos por detritos vegetales de origen alóctono. Proceden en su mayoría de los densos bosques que rodean al lago e

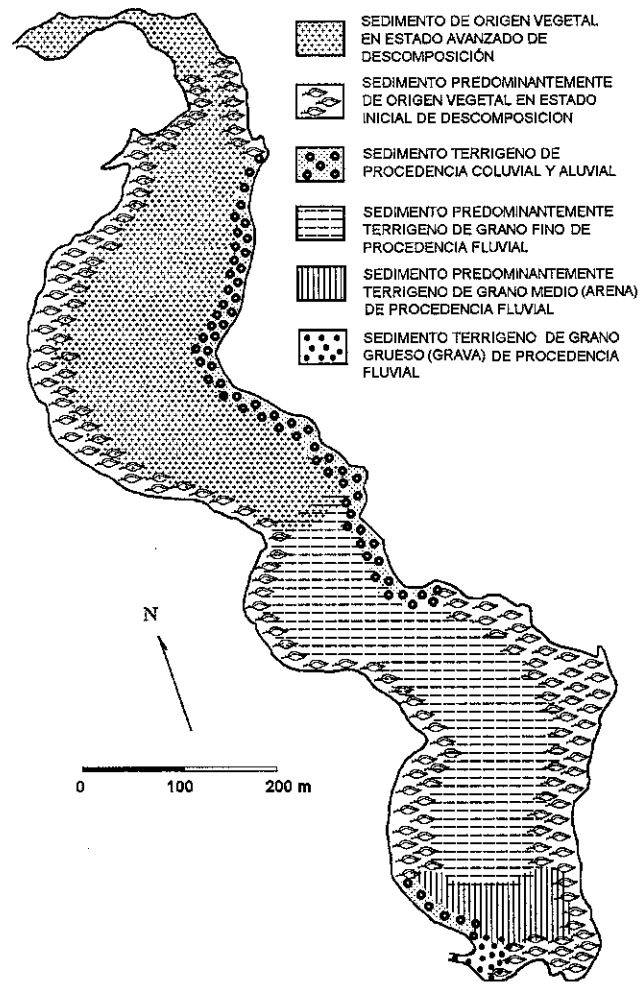


Figura 3. Distribución de los sedimentos superficiales de Laguna Escondida en función de su origen, fuente de procedencia y grado de descomposición.

ingresan a éste a través del afluente principal, por escurrimiento superficial y por caída directa. Se presentan en dos estados aparentes de descomposición:

1. Materia orgánica bruta, en donde todavía es posible reconocer la anatomía de los restos vegetales (restos de hojas, ramas y fibras); está circunscrita a las riberas lacustres, hasta los 10 m de profundidad.
2. Humus, en donde la materia vegetal se observa casi completamente degradada, como una pasta coloidal de color pardo oscuro; cubre prácticamente todo el fondo lacustre desde el centro del lago hasta el norte (Fig. 3).

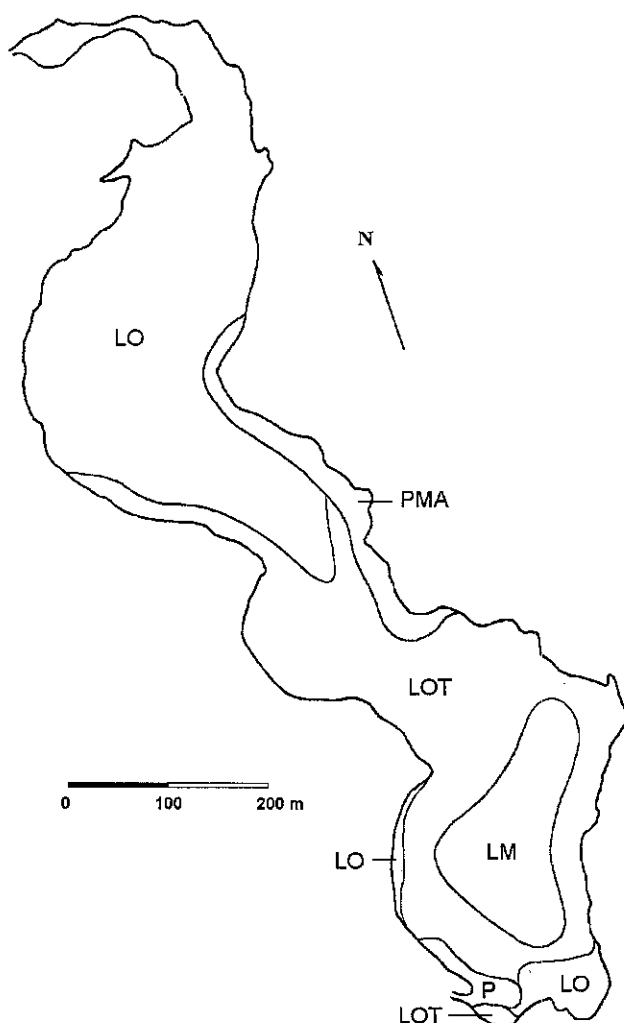


Figura 4. Distribución de los sedimentos superficiales de Laguna Escondida de acuerdo con su composición. Abreviaturas: P) Piroclastos, PMA) piroclastos con minerales autígenicos, LO) Lodo orgánico, LOT) lodo orgánico con terrígenos, LM) lodo mixto.

Composición

Según Håkanson y Jansson (1983), los minerales de los sedimentos lacustres pueden ser separados en tres clases dependiendo de su fuente de procedencia. Los minerales alogénicos se forman en el exterior del lago e ingresan a éste a través de corrientes superficiales, por escurrimiento de suelos, erosión de la línea de costa y actividades antropogénicas. Los minerales endogénicos se derivan de los cambios físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en la columna de agua y que promueven la formación de precipitados o flóculos que se sedimentan en el fondo. Finalmente, los minerales autígenicos se originan en el interior de los sedimentos, mediante cambios diagenéticos.

Los sedimentos alogénicos inorgánicos de Laguna Escondida están constituidos por clastos y arenas de rocas volcánicas alcalinas parcialmente hidratados y oxidados, arcillas y vidrio volcánico; en la fracción arenosa se observan silicatos (piroxenos, feldespatos, cuarzo y plagioclasas) y óxidos de hierro (magnetita), además de escoria y vidrio volcánico. El promedio de minerales alogénicos en el total de las muestras ascendió a 30.46%, aunque mostró una amplia variación ($\pm 28.22\%$). Los sedimentos alogénicos orgánicos están constituidos por detritos vegetales en distintos estados de descomposición; son los sedimentos dominantes en el lago y su valor promedio asciende a 60.8% (± 29.6).

Los sedimentos endogénicos son importantes guías para conocer las condiciones químicas y biológicas de la columna de agua (Håkanson y Jansson, 1983). En el lago están representados por frústulas de diatomeas, espículas de esponja y valvas de ostrácodos, en porcentajes inferiores al 5% en la fracción arenosa. Sedimentos autígenicos, tales como la magnetita y la filipsita(?) —un aluminosilicato derivado de una intensa alteración de los fragmentos de vidrio basáltico que se depositan en el fondo del lago (Rothwell, 1989)—, también se encuentran en muy bajas proporciones ($4.4 \pm 6.0\%$, en promedio).

Se reconocieron los siguientes tipos composicionales (Fig. 4):

1. Lodo orgánico (LO). Está constituido casi exclusivamente por detritos vegetales y humus ($86.18 \pm 4.84\%$); no obstante, es el más rico en minerales endógenos de origen biogénico ($5.59 \pm 3.59\%$). Se distribuye en todo el seno norte del lago (salvo en las orillas de la parte central) y en las riberas suroccidental y meridional.
2. Lodo orgánico con terrígenos (LOT). Está formado básicamente por restos de plantas ($54.92 \pm 7.91\%$), con una

importante proporción de minerales alogénicos ($37.15 \pm 7.42\%$). Ocupa el seno sur del lago y, hacia el centro de esta área, envuelve al siguiente tipo.

3. Lodo mixto (LM). Es una mezcla de los dos tipos anteriores; en su composición dominan los minerales alogénicos ($57.5 \pm 2.89\%$) pero también tiene una elevada proporción de materia orgánica ($35.0 \pm 10.8\%$).
4. Piroclastos con minerales autigénicos (PMA). Está formado por gravas y arenas de rocas volcánicas ($70.75 \pm 2.99\%$) y una importante proporción de óxido de hierro y filipsita ($21.25 \pm 6.29\%$). Se distribuye en la ribera centro-oriental.
5. Piroclastos (P). Constituido casi exclusivamente por fragmentos de roca volcánica ($91.67 \pm 2.89\%$), es el más

pobre en materia vegetal ($8.0 \pm 5.42\%$). Ocupa la desembocadura del Río Cold y la ribera occidental adyacente.

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) constituye un porcentaje muy elevado de los sedimentos superficiales de Laguna Escondida. En términos generales, su distribución coincide con el trazo de las isobatas (Fig. 5). En las áreas profundas, su proporción fluctúa entre 20 y 30%. Los valores más altos se observan a lo largo de la margen noroccidental, hasta los 20 m de profundidad. En la parte norte del lago la cantidad de MO aumenta hasta un 80%, pues el estrechamiento de la cubeta reduce la velocidad de drene y favorece

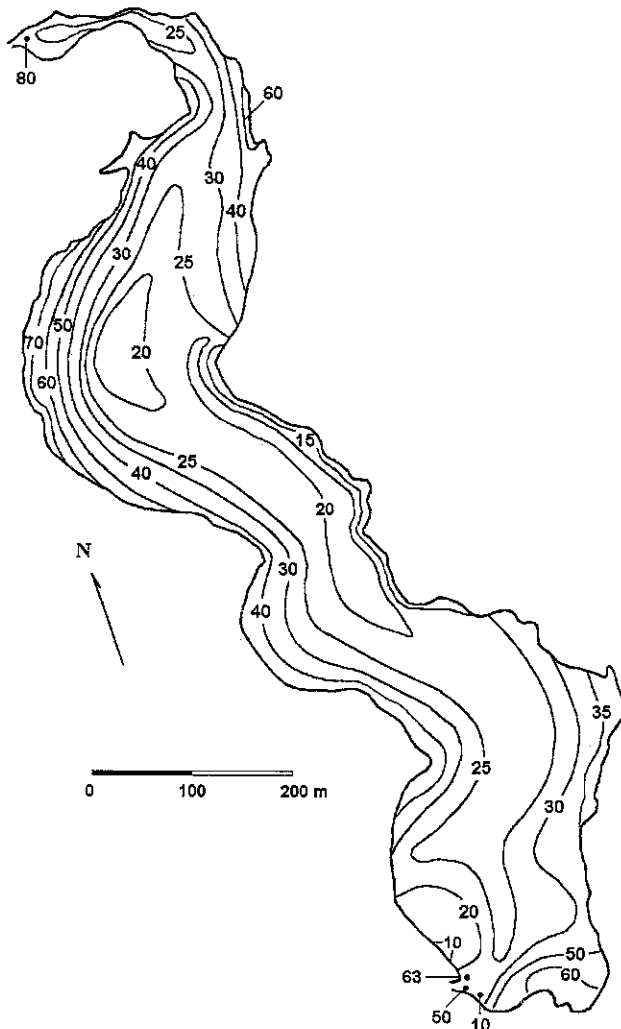


Figura 5. Distribución de las concentraciones porcentuales de materia orgánica en los sedimentos superficiales de Laguna Escondida.

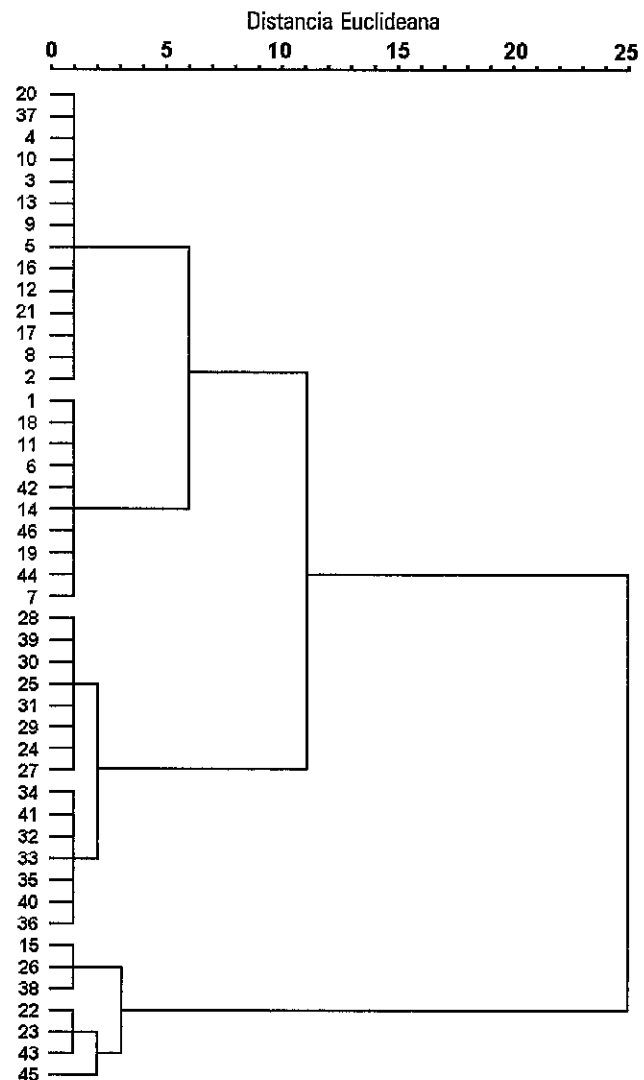


Figura 6. Dendrograma de los grupos de estaciones reconocidos mediante el análisis jerárquico de agrupamientos (método de Ward), empleando todos los parámetros evaluados en este estudio.

el depósito de partículas finas y detritos vegetales. Los porcentajes más bajos (10-15%) están asociados con las gravas y arenas mal clasificadas que se localizan en la ribera centro-oriental y en la desembocadura del afluente principal. Esta distribución obedece a la elevada pendiente del fondo y al flujo de la corriente, respectivamente.

Con excepción de las áreas del fondo cubiertas por gravas arenosas, en donde la materia orgánica está prácticamente ausente, las proporciones de MO en los sedimentos se incrementan desde las arcillas limosas a las arenas lodosas.

Análisis de Agrupamientos

Con todos los parámetros sedimentológicos evaluados en este estudio se realizó un análisis jerárquico de agrupamientos (cluster) por el método de Ward. El dendrograma obtenido se muestra en la figura 6 y en la tabla 1 se presentan los valores de los distintos parámetros característicos de cada grupo.

Los grupos reconocidos fueron los siguientes:

Grupo 1. Incluye las áreas profundas de la parte norte del lago; es el más rico en arcillas y posee concentraciones intermedias de materia orgánica.

Grupo 2. Corresponde a las zonas someras de casi toda la porción norte y a las márgenes de la ribera sur; en estos sedimentos dominan las arenas y se presentan los más elevados porcentajes de MO.

Grupo 3. Ocupa las riberas de la porción centro-sur y se extiende hacia el oriente en profundidades moderadas; los sedimentos son ricos en limos y minerales endogénicos, con proporciones intermedias de MO.

Grupo 4. Está constituido por una mezcla de partículas de distintos tamaños (arena-limo-arcilla, con una escasa proporción de gravas) y ocupa las profundidades bajas y moderadas de la porción sur del lago.

Grupos 5 y 6. Son muy semejantes entre sí, se distribuyen en las zonas poco profundas de la ribera centro-oriental y en la desembocadura del Río Cold; de todos los sedimentos, éstos son los más ricos en gravas y minerales

Tabla 1. Valores promedio y desviación estándar (entre paréntesis) de los parámetros sedimentológicos que definen los grupos reconocidos en el análisis de agrupamiento de los sedimentos superficiales de Laguna Escondida.

Estaciones	Prof. (m)	Tamaño de Partícula (%)				Materia Orgánica (%)	Composición mineralógica (%)			
		Grava	Arena	Limo	Arcilla		Alogé- nicos	Endogé- nicos	Autigé- nicos	MO Alogénica
Grupo 1										
2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 37	18.39 (11.58)	0	20.91 (9.73)	20.55 (6.66)	58.54 (9.23)	25.63 (8.50)	3.71 (2.3)	5.5 (2.59)	2.64 (1.65)	88.14 (2.32)
Grupo 2										
1, 6, 7, 11, 14, 18, 19, 42, 44, 46	6.87 (2.88)	0	45.82 (8.74)	18.78 (9.93)	35.4 (9.82)	58.02 (14.0)	13.3 (9.94)	5.1 (4.86)	1.9 (2.28)	79.7 (8.55)
Grupo 3										
24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 39	12.35 (5.45)	0	17.82 (7.63)	40.94 (8.67)	41.25 (11.58)	28.41 (9.71)	39.13 (8.54)	5.63 (5.04)	3.5 (3.3)	52.38 (7.52)
Grupo 4										
32, 33, 34, 35, 36, 40, 41	6.57 (3.57)	2.48 (4.36)	37.85 (5.81)	30.37 (11.33)	29.3 (10.82)	27.92 (4.18)	49.29 (9.76)	3.57 (7.48)	4.29 (3.45)	42.86 (12.2)
Grupo 5										
15, 26, 38	3.3 (0.82)	62.73 (9.96)	21.58 (12.7)	8.44 (5.87)	7.25 (9.99)	12.21 (1.74)	78.33 (14.43)	1.67 (2.89)	16.67 (15.28)	3.33 (5.77)
Grupo 6										
22, 23, 43, 45	6.1 (6.99)	20.86 (14.34)	57.31 (6.08)	11.04 (6.43)	10.79 (12.92)	28.29 (24.01)	80.75 (11.06)	0	10.0 (9.13)	9.25 (2.99)

alogénicos y autigénicos, y los más pobres en materia orgánica.

DISCUSIÓN

En general, la distribución de los grupos texturales de los sedimentos de Laguna Escondida corresponde con la de un ambiente de circulación constante pero restringida. La energía de la corriente del Río Cold se disipa al ingresar al lago y los materiales que acarrea se depositan en una pluma sedimentaria en la que el tamaño de las partículas disminuye progresivamente hacia el interior del lago, de tal suerte que los sedimentos más finos, las arcillas limosas, se presentan en las áreas más profundas de la parte norte de la cubeta.

Es preciso aclarar que una fracción importante de los sedimentos arenosos que se presentan en las márgenes del lago está formada por restos vegetales. En el análisis textural estos fragmentos se clasifican como arenas en virtud de su tamaño, independientemente de su composición.

El análisis composicional de los sedimentos mostró que los minerales alogénicos son más abundantes desde la desembocadura del Río Cold hasta la mitad del lago; a partir de este punto dominan los materiales alogénicos orgánicos, que se extienden hasta su extremo norte. La composición de los sedimentos terrígenos refleja fielmente la litología regional, de naturaleza volcánica.

Hansen (1961) propuso que la diferencia entre las fracciones mineralogénica (básicamente sílice) e inorgánica biogénica de los sedimentos lacustres puede ser empleada como un indicador del estado trófico de los lagos, pues mientras que en los lagos oligotróficos el componente mineralogénico es alto y el inorgánico biogénico bajo, en los ambientes eutróficos ocurre lo contrario. De acuerdo con lo anterior, los sedimentos de Laguna Escondida serían indicadores de condiciones oligotróficas, pues presentan un contenido alto, aunque variable, de minerales volcánicos ($x = 30.46\% \pm 28.22$) y muy bajas proporciones de silicatos biogénicos ($x = 1.6\% \pm 3.9$). Las frústulas de diatomeas, que son los silicatos biogénicos por excelencia, solamente se encontraron en once de las 46 muestras analizadas y sólo en cinco de éstas, todas ellas procedentes de la parte sur del lago, su proporción rebasó el 5%. No obstante, nuestras observaciones indican que la condición trófica del lago corresponde por lo menos a la mesotrofia pues la transparencia es baja, el fitoplancton no es escaso y, al menos eventualmente, sus tasas de producción son elevadas.

La presencia de MO alóctona en cantidades extremadamente altas constituye el rasgo más notable de los sedimentos de Laguna Escondida y el de mayores implicaciones ecológicas. Este es un lago monomíctico cálido que circula entre enero y marzo. Poco tiempo después de que se establece la estratificación de la columna de agua, un epilimnio sobresaturado de oxígeno contrasta con un hipolimnio anóxico que se extiende desde los 12 m de profundidad hasta el fondo (Torres-Orozco *et al.*, 1996). La ausencia de oxígeno hipolimnético abate la actividad degradadora de las bacterias aeróbicas y la descomposición mediada por bacterias anaeróbicas —que al reducir sulfatos y bicarbonatos producen sulfuro de hidrógeno y metano— se hace más importante (Wetzel, 1975). Sin embargo, ya que el ingreso de detritos es constante y la degradación anaeróbica es menos eficiente que la aeróbica, la materia orgánica en distintos estados de descomposición se acumula progresivamente en los sedimentos. Cuando el lago vuelve a circular y las aguas profundas se oxigenan se reanuda la actividad de los descomponedores aeróbicos, pero la reserva de oxígeno se agota rápidamente y el ciclo se repite. La dificultad para degradar por completo un suministro tan abundante de detritos vegetales favorece la acumulación de materia húmica en los sedimentos del lago, sobre todo en su mitad septentrional y en la ribera sur, en donde la selva adyacente se encuentra mucho mejor conservada.

Las más altas concentraciones de MO en los sedimentos de Laguna Escondida se detectaron en las áreas someras litorales. Esta distribución contrasta con la del lago de Catemaco, más común, en donde su proporción aumenta con la profundidad a medida que disminuye el tamaño de las partículas (Pérez-Rojas *et al.*, 1994). La abundancia de MO en las áreas profundas es similar a la observada en Catemaco, pero en la zona litoral los porcentajes son mucho mayores. Esto se debe, básicamente, a que en Laguna Escondida existe un aporte muy importante de materia orgánica que cae directamente al agua desde la vegetación circundante. Es muy probable que antes de que la deforestación eliminara casi por completo la selva que rodeaba al Lago de Catemaco sus sedimentos fueran muy semejantes a los de Laguna Escondida.

Las elevadas proporciones de materia orgánica en los sedimentos indican que la cadena de detritos es muy importante en el metabolismo de Laguna Escondida. La distribución de los sedimentos terrígenos y orgánicos (tanto alóctonos como autigénicos) sugiere que el lago podría ser un sistema "mixto" desde un punto de vista trófico. En las aguas abiertas aparentemente domina la cadena de pastoreo, pero hacia los litorales la cadena de detritos

adquiere una importancia cada vez mayor. Esto es sobre todo notable en la parte norte del lago y en las áreas someras de su margen noroccidental, en donde las condiciones ambientales son muy semejantes a las de un sistema distrófico, con un ingente subsidio de materia orgánica alóctona.

Håkanson y Jansson (1983) sostienen que un lago puede ser al mismo tiempo eutrófico (con una elevada bioproducción) y polihúmico (con un alto contenido de sustancias húmicas). De acuerdo con esto, Laguna Escondida podría ser tipificada como un lago mesotrófico polihúmico.

Una evidencia adicional de la importancia del sistema detrital en la estructura trófica del lago es la abundancia de volvocáceas en el fitoplancton (Torres-Orozco y Estrada, 1997), pues estos organismos son heterótrofos facultativos y pueden sobrevivir a base de materia orgánica disuelta (Hutchinson, 1967). Incluso en varias ocasiones hemos observado espectaculares blooms de *Volvox*, cuyo origen parece estar asociado con eventos aislados de alta precipitación que se presentan durante la canícula (en mayo). El mecanismo disparador de estos florecimientos es sin duda un súbito incremento en la concentración de materia orgánica disuelta, la cual, según señala Wetzel (1975), es por lo general 10 veces mayor que la existente en forma particulada.

La región de Los Tuxtlas ha sufrido durante los últimos 30 años un acelerado proceso de deterioro ambiental (Dirzo y Miranda, 1992). La tala de la vegetación natural en un área como ésta, de gran pluviosidad, ha incrementado la erosión de las tierras y acelerado las tasas de azolvamiento de los lagos que allí se presentan (Torres-Orozco *et al.*, 1997). La deforestación de la cuenca y de las riberas lacustres de Laguna Escondida podría generar profundos cambios en su metabolismo. En su estado prístino, es muy probable que la cadena de detritos tuviese una primacía casi absoluta sobre la cadena de pastoreo; sin embargo, a medida que se vaya reduciendo el aporte de materia orgánica alóctona, la estructura trófica del sistema se modificará y la cadena de pastoreo se hará cada vez más importante.

LITERATURA CITADA

- BINFORD, W. M., E. S. DEEVEY y T. L. CRISMAN, 1983. Paleolimnology: An historical perspective on lacustrine ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 14: 255-286.
- BRADBURY, J. P., 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de Mexico. *Quaternary Science Reviews*, 8: 75-100.
- DAVIS, J. C., 1986. *Statistics and data analysis in geology*. Wiley, Nueva York. 646 p.
- DEAN, W. E. JR., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44 (1): 242-248.
- DIRZO R. y A. MIRANDA, 1992. El límite boreal de la selva tropical húmeda en el continente Americano: contracción de la vegetación y solución de una controversia. *Interciencia*, 16: 240-247.
- ESTRADA, A., R. COATES-ESTRADA y M. MARTÍNEZ-RAMOS, 1985. La Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas: un recurso para el estudio y conservación de las selvas del trópico húmedo. En: Gómez-Pompa, A. y S. del Amo R. (Eds.). *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. INIREB-Alhambra Mexicana. Vol. 2: 379-393.
- FOLK, R. L., 1969. *Petrología de las rocas sedimentarias*. Instituto de Geología, UNAM, México. 405 p.
- HÅKANSON, L. y M. JANSSON, 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag, Berlín. 316 p.
- HANSEN, K., 1961. Lake types and lake sediments. *Ver. Internat. Verein. Limnol.*, 14: 285-290.
- HUTCHINSON, G.E., R. PATRICK y E. S. DEEVEY, 1956. Sediments of lake Pátzcuaro, Michoacán, México. *Bulletin of the American Geological Society*, 67: 1491-1504.
- HUTCHINSON, G.E., 1967. A treatise on limnology, Volume II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. Wiley, Nueva York. 1115 p.
- JONES, P. M. y G. M. FLEEMING, 1965. *Identification of mineral grains*. Elsevier, Nueva York. 102 p.
- KERR, P. F., 1977. *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill, Nueva York. 349 p.
- MULLER, G., 1967. *Sedimentary Petrology. Methods in Sedimentary Petrology*. Hafner Publishing Co. 283 p.
- PÁEZ-OSUNA, F. y P. H. FERNÁNDEZ, 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 11 (1): 257-264.
- PÉREZ-ROJAS, A., R. TORRES-OROZCO B. y A. Z. MÁRQUEZ-GARCÍA, 1993. Los sedimentos recientes del lago de Catemaco, Ver., México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 20 (1): 67-76.

- ROTHWELL, R.G., 1989. *Minerals and mineraloids in marine sediments. An optical identification guide*. Elsevier, Nueva York. 279 p.
- SHEPARD, F. P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151-158.
- SOTO, M., 1979. Algunos aspectos climáticos de la región de Los Tuxtlas, Ver. En: A. Gómez-Pompa, C. Vázquez-Yanes, S. del Amo R. y A. Butanda (Eds). *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. CECSA, México. pp. 70-111.
- TERRY, R. D. y G. V. CHILINGAR, 1955. Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations" by M. S. Shvetsov. *Journal of Sedimentary Petrology*, 25: 229-234.
- TORRES-OROZCO B., R., C. JIMÉNEZ-SIERRA y A. PÉREZ-ROJAS, 1996. Some limnological features of three lakes from Mexican neotropics. *Hydrobiologia*, 341: 91-99.
- TORRES-OROZCO B., R., C. JIMÉNEZ-SIERRA, J. L. BUEN ABAD y A. PÉREZ-ROJAS, 1997. Limnología. En: E. González, R. Dirzo, y R. C. Vogt (Comps). *Historia Natural de Los Tuxtlas*. UNAM - CONABIO. pp. 33-41.
- TORRES-OROZCO B., R., y M. ESTRADA HERNÁNDEZ, 1997. Patrones de migración vertical en el plancton de un lago tropical. *Hidrobiológica* 7: 33-40.
- TORRES-OROZCO, B. R., C. JIMÉNEZ-SIERRA y J. L. BUEN ABAD E. 1994. Caracterización limnológica de dos cuerpos de agua tropicales de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 21(1-2): 107-117.
- WATTS, W.A. y J. P. BRADBURY, 1982. Paleocological studies at Lake Pátzcuaro on the west-central Mexican Plateau and at Chalco in the basin of Mexico. *Quaternary Research*, 17: 56-70.
- WETZEL, R., 1975. *Limnology*. W.B. Saunders, Filadelfia. 743 p.

Recibido: 3 de mayo de 1999.

Aceptado: 21 de octubre de 1999.