

Correlación litológica del subsuelo del lago de Texcoco

Lithological correlation of Texcoco lake subsoil

Arturo Carranza-Edwards

Unidad Académica de Procesos Oceánicos y Costeros, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad Universitaria, CDMX, 04510. México
e-mail: dr.arturo.carranza@gmail.com

Recibido: 04 de mayo de 2017.**Aceptado:** 24 de octubre de 2017.Carranza-Edwards A. 2018. Correlación litológica del subsuelo del lago de Texcoco. *Hidrobiológica* 28 (1): 93-101.**RESUMEN**

Antecedentes. Originalmente, en la cuenca de México existía un sólo lago conocido como lago de Texcoco, el cual fue separado por un albaradón construido por los aztecas para evitar que aguas saladas se mezclaran con aguas dulces de Tenochtitlán. **Objetivos.** El objetivo de este trabajo es definir si la ausencia de la capa productora de salmueras en la zona meridional del lago de Texcoco es causada por fallas o por cambios de facies; para ello se realizó un estudio de correlación litológica mediante núcleos con recuperación continua de sedimentos. **Métodos.** Se obtuvieron cinco núcleos con una máquina rotatoria para definir la litología en una sección transversal N-S a lo largo del lago de Texcoco mediante la descripción litológica detallada. **Resultados.** La capa dura no mostraba fallas, sino afectación por facies. La presencia de cenizas volcánicas fue útil para la correlación litológica. Los sedimentos son corrosivos por su salinidad. Se observan lodos verdosos reductores y lodos rojizos oxidantes con intercalaciones de ostrácodos. La variación de los sedimentos del subsuelo lo hace un medio no homogéneo con profundidades desde 37 m hasta 60 m. Los lodos del lago producen efectos amplificadores por ondas sísmicas. **Conclusiones.** Los sedimentos lacustres del subsuelo del lago de Texcoco son medios heterogéneos y el subsuelo es altamente corrosivo debido a su salinidad. Se definió con éxito la primera capa dura y se encontró una segunda capa dura debajo de la primera. Hay diversas facies litológicas con intercalaciones de cenizas volcánicas.

Palabras clave: acuíferos salinos, cenizas volcánicas, corrosión, fracturas, gas metano, subsidencia**ABSTRACT**

Background. Originally, there was a single lake in the Mexico Basin known as Texcoco Lake, which was separated by an levee constructed by the Aztecs to prevent salt water from the north from mixing with fresh water of Tenochtitlan. **Goals.** The objective of this work was to determine if the absence of the brine productive layer in the southern zone of Lake Texcoco is caused by faults or changes in facies. A study of lithological correlation was carried out using cores with continuous recovery of sediments. **Methods.** Five cores were made with a rotary machine in order to define the lithology in an N-S cross section along the Lake of Texcoco, by means of a detailed lithological description. **Results.** We determined that the brine productive hard layer was not affected by faults, but rather changed in the meridional lake zone due to muddy facies. The presence of volcanic ash, sometimes pumitic, was useful for the lithological correlation. Sediments are corrosive due to their salinity concentrations. Reducing greenish muds and oxidant red muds were found with frequent ostracods intercalations. There is a non-homogeneous medium with depths from 37 m to 60 m. The muds may amplify seismic waves. **Conclusions.** Lacustrine sediments in the subsoil of Texcoco Lake are a heterogeneous media and the subsoil is highly corrosive due to its salinity levels. The first hard layer was successfully defined and a second hard layer was found under the first hard layer. There are diverse lithological facies with interbedded volcanic ashes.

Keywords: corrosion, fractures, methane gas, saline aquifers, subsidence, volcanic ashes

INTRODUCCIÓN

La historia del lago de Texcoco se puede relacionar con el florecimiento del imperio Azteca, así como con su aniquilamiento por los soldados de Hernán Cortés. Como lo relata Díaz del Castillo (2012), traducido por Luis Rutiaga, Netzahualcōyotl tuvo la idea de que se construyese un dique que separara las aguas saladas del lago de Texcoco del resto de las aguas dulces de la cuenca de México (Armillas, 1971). Este dique o albarradón se podría considerar un preludio al Antropoceno, que, de acuerdo con Crutzen & Stoermer (2000), es el periodo geológico más reciente y se origina por los grandes cambios geológicos derivados de la actividad humana.

Después de la batalla de la Noche Triste (para los españoles o Noche Alegre para los Aztecas) del 1.º de julio de 1520 (Sahagún, 1580), Hernán Cortés partió hacia Tlaxcala, donde por su solicitud los tlaxcaltecas le construyeron trece bergantines (Díaz del Castillo, 2012), que después de contruidos fueron desmantelados para ser transportados hacia las orillas orientales del lago de Texcoco, donde se volvieron a armar. Dichos bergantines tenían calados menores a un metro, mangas de aproximadamente dos metros y medio y esloras del orden de 13

metros. En ellos se colocaron cañones y fusileros con los cuales pudieron destrozarse parte del albarradón y así conquistar al Imperio azteca. De esta manera, los islotes vecinos de Tenochtitlán fueron dominados durante la Conquista. Posiblemente, estos islotes eran vestigios del desarrollo de deltas traslapados cuya composición textural era de fangos y arenas (Alfonso, 2001), los cuales son fáciles de erosionar.

En la margen occidental del lago de Texcoco existían varios islotes que pudieron ser antiguos deltas lacustres derivados de los ríos principales (Fig. 1; Niederberger-Betton, 1987) de las sierras del oeste de la cuenca de México. Estos deltas pudieron avanzar hasta la posición de los islotes durante la última gran sequía representada por los depósitos de arenas y arenas limosas que se ubican a 13 m de profundidad del núcleo 1 (Fig. 4). Con base en datos de las dos mayores glaciaciones recientes, aparentemente la primera capa dura tendría una edad de 23 000 años y la segunda, de 41 000, así que corresponden con las últimas grandes glaciaciones, según Abe-Ouchi *et al.* (2013). En el núcleo 4, en el camino Peñón- Texcoco, se encontraron tres horizontes de ceniza pumítica (entre 25 y 30 m de profundidad) que tal vez correspondan con la gran erupción pliniana del Popocatepetl descrita por Macías (2007).

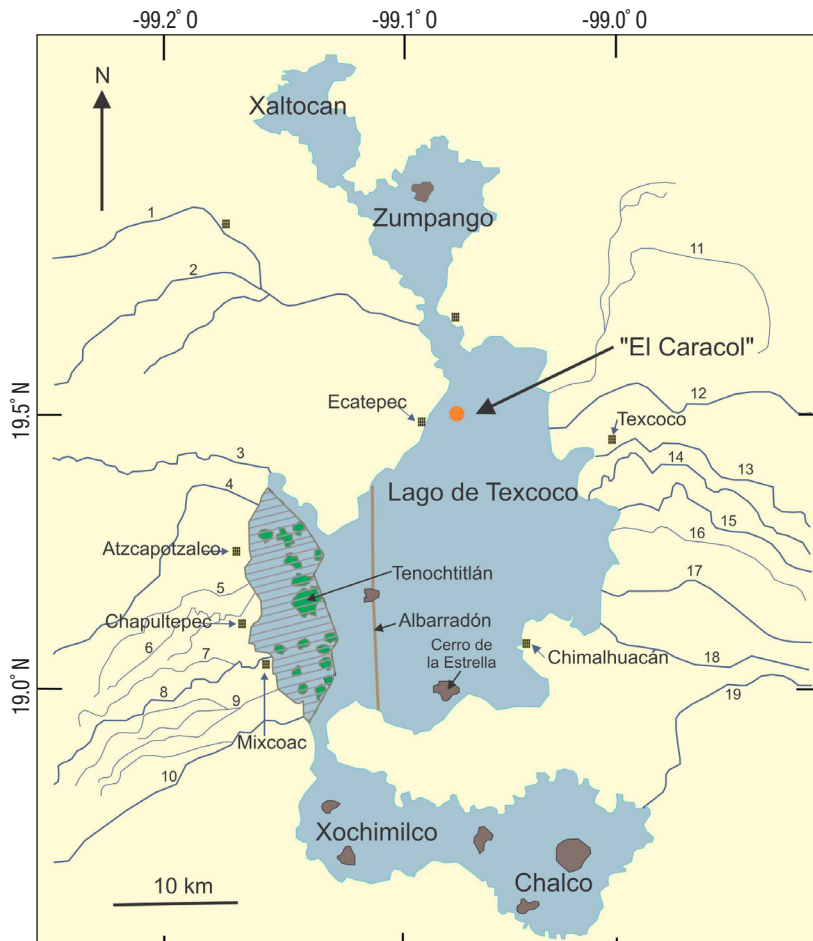


Figura 1. Reconstrucción del lago de Texcoco a la llegada de los españoles, donde se muestra el dique de Netzahualcōyotl (modificado de Armillas, 1971). Durante su último nivel más bajo por condiciones glaciales, los islotes pudieron ser parte de un traslape de diversos deltas (zona marcada con líneas horizontales) generados probablemente por los aportes de ríos procedentes de las sierras del occidente. Los ríos que desembocaban en el lago eran: 1) Tepotzotlán; 2) Cuautitlán; 3) Tlalnepantla; 4) río de los Remedios; 5) San Joaquín; 6) Morales; 7) Tacubaya; 8) La Piedad; 9) Mixcoac; 10) Magdalena; 11) San Juan Teotihuacán; 12) Papalotla; 13) Xalapango; 14) Magdalena; 15) Texcoco; 16) Chapingo; 17) Santa Mónica; 18) Coatepec, y 19) San Francisco. Los islotes y ríos son modificados de Niederberger-Betton (1987).

Al ascender el nivel del lago de Texcoco, posteriormente, durante el último interglaciario (Bradbury, 1971; Caballero, 1997), es que estos posibles deltas pudieron ser erosionados desde sus flancos y dejar como reducto solamente sus partes frontales, las cuales constituirían los islotes que iban desde Azcapotzalco hasta más al sur de Tenochtitlán, hacia Iztapalapa. Algunos de los islotes del oeste de la cuenca de México quedaron rodeados por pantanos, cuyas bolsas de gas metano producido por estos ambientes pueden tener efectos adversos en las construcciones.

La cuenca de México, desde el reinado de Moctezuma Ilhuicamina (1440-1469), ha sido afectada por grandes inundaciones. Para aliviar a la región de las grandes inundaciones se construyeron el canal de Huehuetoca, el tajo de Nochistongo, el Gran Canal y, más recientemente, hacia finales de la década de años sesenta del siglo XX, los colectores profundos. Las aguas de desecho de la cuenca de México se vierten hasta el golfo de México a través del río Pánuco.

Con la finalidad de resolver el problema de la salinidad de suelos en la margen occidental del lago de Texcoco, durante los años cuarenta el ingeniero Hermión Larios Torres (Álvarez Jr., 1954) ideó la construcción de un evaporador solar, que en un principio recibía aguas de lavados de suelos alcalino-salinos con la intención de rescatarlos como suelos agrícolas, lo cual se logró con éxito.

Posteriormente a este evaporador, conocido como El Caracol por su forma de espiral (Fig. 2), se enviaban a su vaso exterior salmueras

(álcalis y cloruros de sodio) procedentes de pozos del lago. Las salmueras circulaban desde el vaso exterior del Caracol y de ahí hacia su vaso central; esto incrementaba por evaporación solar (Álvarez Jr., 1954) las concentraciones de salmueras. Desde el vaso central se enviaban las salmueras más concentradas hacia la planta de Sosa Texcoco S. A. para su posterior enriquecimiento y empleo en la producción de ceniza de sosa (*soda ash*) y cloruro de sodio.

Entre los estudios previos realizados en los sedimentos lacustres de la cuenca de México destacan los importantes trabajos de Zeevaert (1953) y Marsal y Masari (1959), quienes fueron pioneros en investigar las características mecánicas de los sedimentos lacustres (arenas, limos y arcillas) en el subsuelo de la Ciudad de México al suroeste del lago de Texcoco. En cuanto a trabajos más recientes, vale citar el de Carreón Freyre et al. (2011), en donde también se mencionan depósitos lacustres y horizontes de cenizas volcánicas, además de grandes fracturas en la zona de Iztapalapa.

En el presente trabajo resultaría imposible considerar todo lo escrito sobre la cuenca de México, dentro de la cual se ubicaba el lago de Texcoco. Ello solo requeriría *per se* una investigación bibliográfica casi ilimitada. Es por eso que aquí sólo se mencionan algunos de los trabajos que podrían relacionarse con los sedimentos lacustres del lago de Texcoco o lagos vecinos. Entre los estudios paleolimnológicos y de épocas glaciales realizados en la cuenca de México se pueden citar los de investigaciones de pequeños microfósiles (diatomeas) de Bradbury (1971) y Bradbury (1989), entre otros, así como el trabajo de ostrácodos

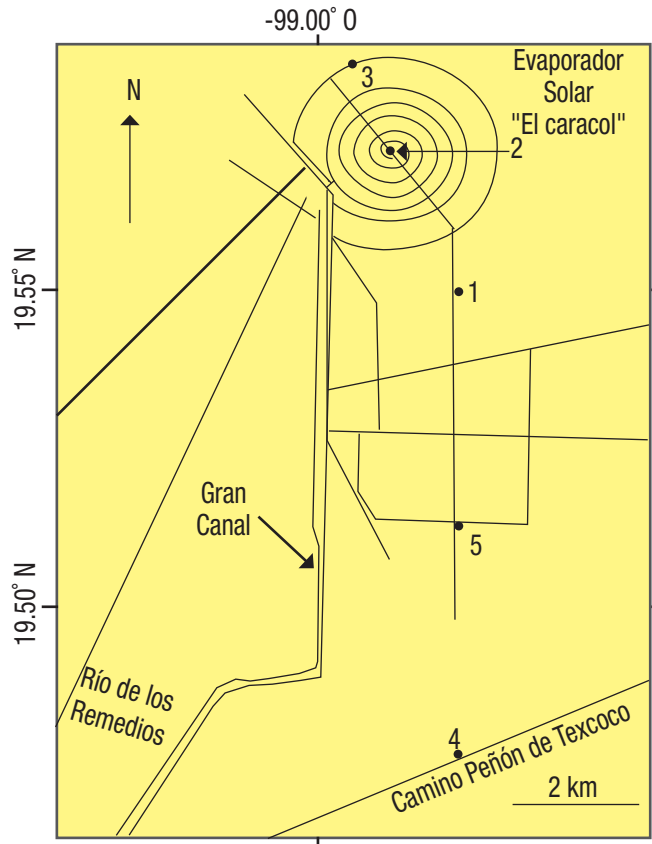


Figura 2. Localización del área de estudio en el lago de Texcoco, México y de los pozos perforados para investigar las concentraciones de salmueras, así como las columnas sedimentarias del acuífero salino. Las líneas se corresponden con caminos, con excepción del Gran Canal, el cual en su borde oriental contaba con una brecha de terracería.

de Alcalá Herrera *et al.* (1998), donde a partir de un núcleo recolectado en el centro del lago de Texcoco, con 80 cm de longitud, les permitió determinar una edad de 150 años.

Torres-Rodríguez *et al.* (2015) estudiaron un núcleo en Chalco que les permite definir las últimas épocas de sequías glaciales, hecho de gran importancia dada la falta de registros continuos. Estos investigadores definen, a través de fechados, diversas etapas de sedimentación, y encuentran que a la base del núcleo estudiado (72 m) le corresponde una edad de aproximadamente 85 000 años. En ese núcleo encuentran un intervalo con máximos eventos de fuegos entre unos 30 000 y 60 000 años que se asocian con épocas de sequías.

En el lago Tecocomulco, localizado cerca del parteaguas del extremo noreste de la cuenca de México, Roy *et al.* (2009) encontraron épocas de sequías en un núcleo corto, con calcita abundante, en los horizontes de aproximadamente 70 cm y 175 cm de profundidad, cuyas edades serían de 16 300 y 25 700 años de edad, respectivamente, lo que refleja condiciones de aridez.

Hacia finales de la década de los sesenta, la empresa Sosa Texcoco, S. A. ocupaba el primer lugar en América Latina en la producción de sosa. En esos años, el Departamento de Salmueras asumió el encargo de definir si la desaparición de la capa acuífera más rica en salmueras se debía a alguna falla tectónica que posiblemente cortase el lago de Texcoco hacia el centro de éste. Al considerar la posibilidad de que se debiera a facies sedimentológicas que hicieran que el acuífero pasara a ser un acuitardo, se utilizó una máquina rotaria para cavar cinco pozos con el objetivo central de hacer una correlación litológica muy detallada que se presenta al final de este trabajo y puede ser ampliada de manera exponencial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio consistió en una sección sedimentológica transversal que corta de norte a sur el ex lago de Texcoco. En la Figura 2 y la Tabla 1 se presenta la ubicación de los pozos estudiados.

En el año 1968, el Departamento de Salmueras de la empresa Sosa Texcoco, S. A. hizo cinco pozos para exploración utilizando una perforadora de percusión conocida también como perforadora de pulseta. Éstos se hicieron con la intención de saber si la capa productora de salmueras existía en la mitad meridional del ex lago de Texcoco. El pozo perforado en el camino Peñón- Texcoco no pudo terminarse por causas de fuerza mayor, además de que ese tipo de muestreo no sirvió para recolección continua de los sedimentos.

Tabla 1. Número de horizontes y ubicación de pozos.

Pozo	Profundidad (m)	Horizontes por pozo	Geo-referenciación	
			Lat. Norte	Lon. Oeste
1	30.0	47	19.557608°	-98.992280°
2	26.0	38	19.570708°	-99.002443°
3	37.0	59	19.583870°	-99.006954°
4	60.0	67	19.473150°	-98.994561°
5	49.3	47	19.513734°	-98.993747°

Las concentraciones de salmueras de la figura 3 se expresan mediante la siguiente ecuación (Orozco, 1944):

$$\text{Salmueras (\%)} = \frac{\text{Alc. Tot.}}{\text{Humedad} + \text{Alc. Tot.} + \text{Cloruros}} \times 100$$

Aunque los pozos no permitieron establecer una correlación sedimentológica detallada por tratarse de colectas de núcleos con sacabocados de la máquina de pulseta, sí se utilizaron para determinar el contenido de salmueras y el porcentaje de humedad de los sedimentos (Fig. 3). Los análisis correspondientes se efectuaron en el laboratorio de química de Sosa Texcoco. Se encontraron máximos de salmueras alcalinas cercanos a 9%. Las concentraciones de álcalis (expresados como carbonatos de sodio) y las de cloruros de sodio se evaluaron por titulación en el mismo laboratorio siguiendo la metodología propuesta por Orozco (1944).

La humedad se determinó por calcinación, y se llegaron a obtener valores cercanos a 80%, lo que da una idea de la saturación de líquidos, en particular, en los sedimentos más finos.

En el año 1971, el Departamento de Salmueras de Sosa Texcoco hizo cinco pozos con recuperación continua para elaborar una correlación sedimentológica detallada que permitiera definir los alcances de la capa dura que se explotaba por salmueras, así como para conocer los espesores de los horizontes asociados. Se utilizó una perforadora rotaria con barril de recuperación de 2" de diámetro; con ella se hicieron pozos adyacentes en las cinco localidades perforadas con máquina de percusión (Fig. 2). En esa labor se obtuvo una recuperación continua cercana al 100% (con excepción de un pequeño intervalo en el pozo 4 y otro en el pozo 5).

La metodología para la descripción sedimentológica se hizo con base en observaciones visuales megascópicas y con lupa. Es decir, se determinó el color de los sedimentos y los constituyentes terrígenos y biogénicos a simple vista o con lupa. Se determinaron características texturales tales como plasticidad, humedad y granulometría, con lo que se infería la presencia de arcillas, limos y arenas, según criterios de Shepard (1954) e Ingram (1965) y se establecieron los diferentes horizontes (Tabla 1) que permitieron definir el adelgazamiento de la capa dura mediante correlación litológica.

RESULTADOS

Con la obtención de las muestras de sedimentos se encontró la existencia de numerosas capas de arcillas (Fig. 4) de colores diversos, con un predominio de colores verdes, pardos y pardos rojizos, que alternan ocasionalmente con cenizas de colores negros y blancos. Esos paquetes arcillosos son impermeables y sobreyacen y subyacen capas permeables de sedimentos compuestos por arenas, limos y arenas limosas con frecuentes restos y huecos de raíces. Estos materiales que forman las capas duras están fracturados en ocasiones. En la Tabla 1 se observa que el número de estratos (considerando los cambios litológicos) es proporcionalmente menor en los pozos que se ubican hacia la parte más profunda del lago, en tanto que hacia las porciones someras, el número de intervalos por pozo (Tabla 1) se incrementa considerablemente, lo que refleja un medio más heterogéneo hacia las orillas del lago, donde las variaciones litológicas son mayores. Este medio lacustre no se puede considerar, para fines prácticos, como un medio homogéneo.

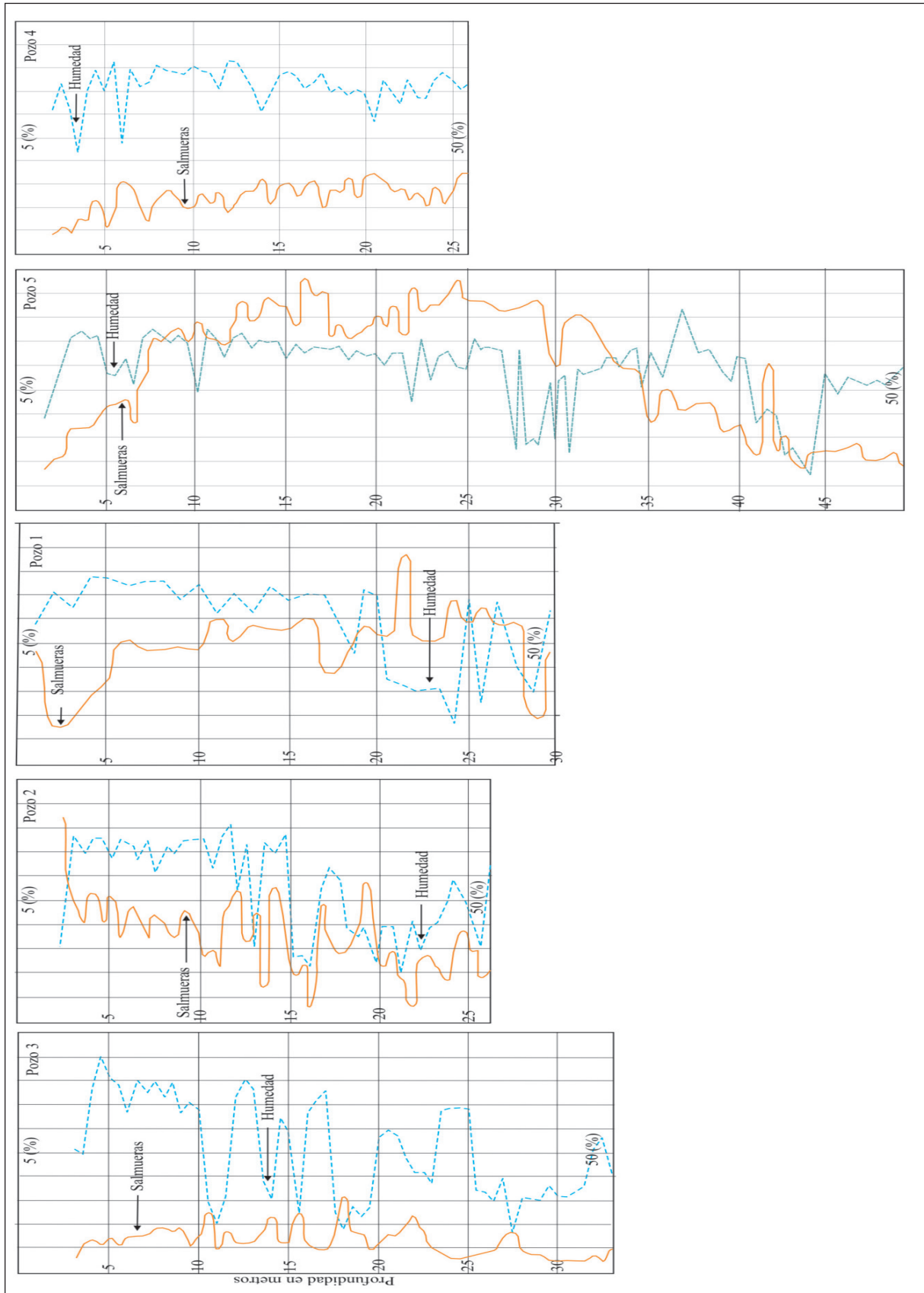


Figura 3. Concentraciones de salmueras (carbonatos, bicarbonatos y cloruros de sodio) y de humedad analizadas en el Laboratorio de Química de Sosa Texcoco, S. A. para el Departamento de Salmueras de la misma empresa. Las muestras de sedimentos se colectaron usando una perforadora de percusión. Aunque las concentraciones por cloruros eran algo menores que las de álcalis, no se graficó ninguna por razones de espacio.

En la primera capa dura, en el centro del Lago, los valores más altos de isocloruros (cloruro de sodio) sumados a los isocarbonatos (carbonato de sodio) son de aproximadamente 15%; mientras que para la segunda capa dura los valores más altos de isocloruros sumados a los isocarbonatos en el centro del Lago son casi de 13% (Zacaula-Sampieri, 1977).

Por otro lado, la presencia de bolsas de metano o gas de los pantanos hace también que el ambiente lacustre resulte riesgoso. Cuando una bomba de un pozo de producción de Sosa Texcoco era llevada a reparación, en ocasiones se escuchaba burbujeo en el pozo, el cual reaccionaba con flamaos bajo la acción de cerillos encendidos.

Los pozos hechos con perforadora de percusión presentan los máximos valores de salmueras alcalinas en el pozo 1 y en el pozo 5 (Fig. 3). En este último se observan valores mayores a 8% (entre 13 y 34 m de profundidad) lo que sugiere que hacia la mitad del lago de Texcoco (pozo 5) debió existir la mayor profundidad durante las máximas épocas de desecación, en donde se concentraban las salmueras más ricas en álcalis y cloruros. Estas sales superan por mucho la concentración de la salinidad del agua de mar.

Un ejemplo conocido mundialmente por la afectación de la acción corrosiva de las sales del agua de mar, es el caso del río Turia de Valencia, cuyo curso fue desviado al sur de la ciudad después de una severa inundación en el año 1957 (Carmona-González y Ruiz-Pérez, 2000). En el antiguo cauce del río se construyó una obra de arquitectura que se conoce como el Palacio de las Artes Reina Sofía, el cual sufre corrosión en las partes más altas de la estructura. El problema de corrosión parece deberse a que en el subsuelo del lecho del río la pleamar aún reconoce el cauce abandonado y, por tanto, la cuña salina de origen marino produciría el efecto nocivo que sufre la estructura del Palacio de las Artes Reina Sofía (Carranza-Edwards & Rosales-Hoz, 2013).

Respecto al grado de saturación de humedad, se observa en la Figura 3 que los valores mayores, de acuerdo con los pozos de producción de Sosa Texcoco, correspondían con materiales arcillosos saturados en salmueras, en tanto que las capas areno-limosas o limo-arenosas presentaban valores de humedad mucho menores (variables entre 20 y 30%). Así, las capas permeables (arenas y arenas limosas con huecos de raíces) eran las productoras de salmuera para la empresa Sosa Texcoco, por tratarse de acuíferos alcalino-salinis semiconfinados y con mayor permeabilidad.

Keller (1996) menciona el caso del efecto de canalizaciones hechas para regadío de campos de algodón en el lago Mar Aral de la ex Unión Soviética. La gran desecación de ese lago fue irreversible a pesar del cierre de los canales. La causa fue que los materiales arcillosos formaron enormes fracturas al desecarse, y si esos cuerpos arcillosos estaban subyacentes por cuerpos permeables, entonces la fuga de líquidos no se pudo detener.

Un caso similar, a menor escala, se presentó en el evaporador solar El Caracol, cuando a causa de una huelga se le dejó de surtir con salmueras y terminó por secarse completamente. A raíz de ello, se presentaron grandes fracturas, sobre todo en los grandes vasos externos

del sur y, desde entonces, de un 100% de salmueras que llegaban a El Caracol, cerca del 30% se perdía hacia capas inferiores.

En la Figura 4 se presenta una síntesis de la correlación de los horizontes determinados en los pozos con recuperación continua. Diversos horizontes de sedimentos permitieron establecer que la capa productora de salmueras desaparecía hacia el centro del lago de Texcoco no por una falla, sino debido a facies sedimentarias que cambian de sedimentos areno limosos y limo arenosos al norte para terminar en facies arcillosas en la porción sur del lago. A mayor profundidad, se encontró un segundo acuífero salino desde el norte hasta el sur del lago.

El acuífero de la capa dura más somera presenta su mayor concentración de salmueras más al norte del sitio donde se presenta la mayor concentración de la capa dura inferior. Esto parece indicar que al rellenarse la cuenca del lago de Texcoco, se hizo desde el sur hacia el norte, tal vez como un efecto del taponamiento de la sierra Chichinautzin, que se inició hace 700 000 años y separó finalmente la cuenca de México del valle de Cuernavaca (Mooser, 1963; Mooser *et al.*, 1974; Vázquez-Sánchez & Jaimes-Palomera, 1989). Es posible que durante el Pleistoceno tardío debió cerrarse la cuenca de México (Mooser, 1963), lo cual se podría precisar con fechados de la base de la segunda capa dura, más profunda.

Parece ser que los primeros depósitos lacustres de la cuenca de México pudieron marcar el cierre final del represamiento natural de la sierra Chichinautzin, que separaba la cuenca de México del Valle de Cuernavaca, al formarse depósitos lacustres del Pleistoceno y el Holoceno (Vázquez-Sánchez & Jaimes-Palomera, 1989).

En la síntesis de la descripción sedimentológica de los cinco núcleos de recuperación continua (Fig. 4) destaca la presencia de los acuíferos (o capas duras), por una dureza mayor que la de las arcillas, para su perforación con máquina de pulseta. La capa dura más profunda se descubrió gracias al muestreo de la sección de la Figura 4. Esas capas constituyen acuíferos cuya permeabilidad se debe a la presencia de arenas limosas o limos arenosos con porosidad móldica por raíces y en ocasiones por fracturas. Las mismas capas podrían asociarse con eventos de desecación máxima por periodos interglaciares, cuando el clima es frío y seco, en tanto que durante el Holoceno el nivel del lago asciende debido a un clima cálido y húmedo. Al ascender el lago, los ríos se frenan, y al depositar su carga, el perfil de equilibrio del río no sufre incrementos en su pendiente, esto hace que la capacidad de carga sea mayor que su competencia (Keller, 1996).

Al aumentar la capacidad de carga, se asocian mayores aportes de sedimentos más finos que cuando se trata de ríos de mayor competencia, los que se caracterizan por aportar sedimentos más gruesos, como debió suceder durante parte del Pleistoceno. Cabe suponer que los ríos del occidente (sierra de las Cruces) pudieron formar deltas fangosos y arenosos que al inundarse durante el Holoceno dejaron por erosión diversos islotes (Fig. 1) que fueron poblados por los aztecas.

En las secuencias sedimentológicas se observaron ocasionalmente horizontes delgados con altas concentraciones de cuarzo, el cual puede proceder de fuentes riolíticas cercanas al volcán Tláloc, que se encuentra a unos 60 km al SO del área del lago Tecocomulco en el NE de la cuenca de México (Roy *et al.*, 2009).

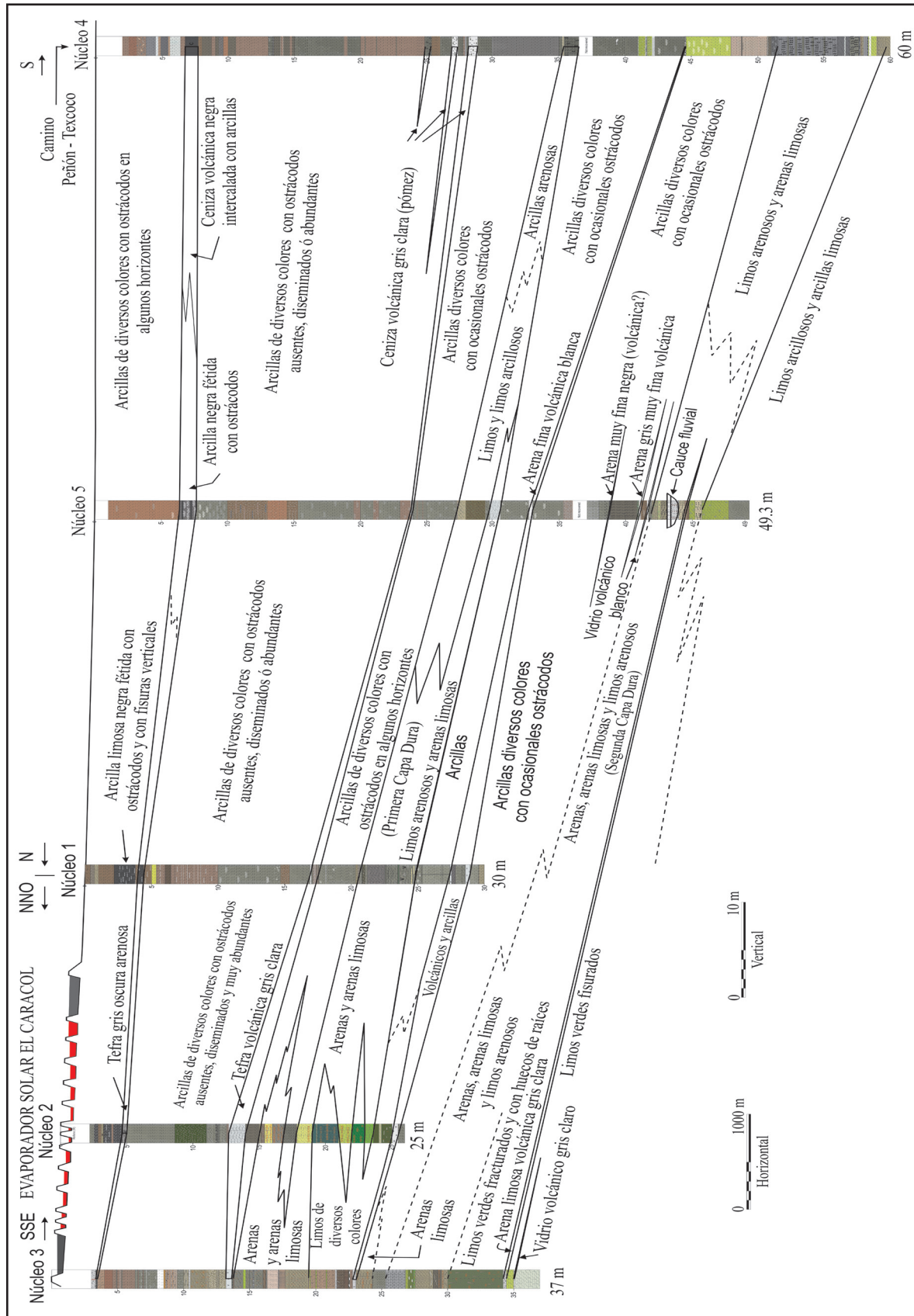


Figura 4. Correlación sedimentológica de muestras obtenidas con una máquina rotatoria con barril para recuperación continua de sedimentos. En este corte se aprecian además diversos horizontes de cenizas, tanto básicas como ácidas. Se observa el adelgazamiento del acuífero de salmueras conocido como capa dura y su cambio de facies limo arenosas con raíces o porosidad mólida dejada por raíces, a facies sedimentológicas de limos y limos arcillosos, con algunos sedimentos y arcillas arenosas hacia la posición meridional del pozo 4, perforado en el camino Peñón- Texcoco. Se observa que a mayor profundidad hay una segunda capa dura en los núcleos 3, 4 y 5, la cual también sirvió como capa productora de salmueras.

En ese sentido, se reconocen principalmente tres grandes tipos de unidades sedimentológicas: 1) horizontes volcánicos, los cuales se encuentran a diversas profundidades y con espesores variables, desde capas finas hasta cercanas a un metro; 2) paquetes de arcillas de diversos colores, en los cuales a simple vista se observan ostrácodos desde muy abundantes hasta prácticamente ausentes, y cuyos colores verdosos podrían indicar condiciones reductoras asociadas posiblemente con actividad orgánica, mientras que los pardos y rojizos pueden deberse a condiciones oxidantes, y 3) las capas más permeables, constituidas esencialmente por las capas duras de arenas, arenas limosas y limos arenosos.

Las mezclas de estos tipos de sedimentos arcillosos saturados en salmueras hacen que se trate de secuencias sedimentológicas vulnerables para eventos de terremotos, subsidencia y fracturamiento en el medio lacustre del ex lago de Texcoco. Un ejemplo de dicha vulnerabilidad sería la respuesta a eventos sísmicos, tal como lo analiza Díaz-Rodríguez (2006) para la Ciudad de México. El efecto de amplitud de ondas sísmicas (Singh & Castro, 1988) es mayor en función del mayor grado de saturación de humedad en los sedimentos. En el pozo 4 (36.50 a 37.55 m) y en el pozo 5 (36.00 a 37.10 m) hubo dos intervalos sin recuperación, muy posiblemente debido a la presencia de arcillas fluidas, según lo reporta Carranza-Edwards (1971).

A partir de este trabajo se puede concluir lo siguiente: 1) la capa dura somera (llamada primera capa dura) y productora de salmueras no está afectada por una falla geológica, sino que se adelgaza por facies de sedimentos más finos hacia el sur; 2) se descubre una segunda capa dura más profunda que también resulta productora de salmueras; 3) algunas de las cenizas volcánicas facilitaron la correlación entre los pozos, pues no todas son de amplia distribución y su presencia dependerá de la dirección de los vientos, como se ha observado en erupciones recientes que alteran la transportación aérea; 4) los sedimentos arcillosos son ricos en salmueras y su grado de humedad es alto, lo que los hace muy corrosivos; 5) la heterogeneidad y la salinidad de los sedimentos lacustres hace que este ambiente sea muy complejo, pues las capas duras son muy delgadas y se ubican dentro de cuerpos altamente compresibles y, por tanto, sujetos a subsidencia; 6) las secuencias sedimentológicas son más variables en las partes someras del lago que en las profundas, pues las últimas se encuentran menos sujetas a cambios. A pesar de ello, en la vertical, las secuencias profundas también son variables; 7) las grandes variaciones sedimentológicas, junto con las variaciones en contenido de salmueras y diversos grados de humedad, hacen que el subsuelo heterogéneo de este ambiente lacustre sea vulnerable por sales corrosivas, fracturas y subsidencia, y que sus variaciones en saturación de humedad horizontal y vertical le hacen un medio lacustre no homogéneo, y 8) las concentraciones altas de sedimentos lodosos en la porción central del lago hacen que los terrenos sean muy vulnerables a la amplificación de ondas sísmicas durante los grandes terremotos.

AGRADECIMIENTOS

A mis colegas de Sosa Texcoco, S. A. A la señorita Dafne Anaid Habib se agradece su colaboración en la captura del informe inédito original elaborado por el autor. A mis colegas, Miguel Ángel Alatorre y Julio Prieto Sagredo, por sus palabras de aliento para recuperar y difundir la

información detallada que aquí se presenta y que data de los años 1968 y 1971. En mi memoria conservo muy gratos recuerdos del personal de Sosa Texcoco, y muy particularmente agradezco al Ing. Hubert Durand Chastell y al Ing. Anselmo Carretero y Jiménez por su apoyo al otorgar los elementos necesarios para construir la correlación sedimentológica. A la señorita Josefina Acosta, por su apoyo con los análisis de salmueras y de humedad en las muestras obtenidas con la perforadora de percusión. Se agradece al Dr. Rafael A. López Martínez y al M. en C. Eduardo Morales de la Garza por la revisión del manuscrito, y al Biól. León Felipe, por su asesoría en el manejo de imágenes.

REFERENCIAS

- ABE-OUCHI, A., F.SAITO, K. KAWAMURA, M. E. RAYMO, O. JUN'ICHI, K. TAKAHASHI & H. BLATTER. 2013. Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume. *Nature* 500: 190-193. DOI:10.1038/nature12374
- ALCALÁ-HERRERA, J. A., B. GARCÍA-ROMERO, M. L. MACHAIN-CASTILLO, T. L. WADE & F. R. GÍO-ARGÁEZ. 1998. Isótopos estables de oxígeno y carbón en carbonatos y de carbón en la materia orgánica de una secuencia sedimentaria del Lago de Texcoco, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 48: 137-146.
- ÁLVAREZ, J. R. M. 1954. Semblanza de Hermión Larios Torres. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 17 (1): 57-60.
- ARMILLAS, P. 1971. Gardens on swamps. *Science* 174 (4010): 653-661.
- BRADBURY, J. P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico, evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* 16 (2): 180-200. DOI: 10.4319/lo.1971.16.2.0180
- BRADBURY, J. P. 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the cuenca de México. *Quaternary Science Reviews* 8: 75-100. DOI: 10.1016/0277-3791(89)90022-X
- CABALLERO-MIRANDA, M. 1997. Reconstrucción paleolimnológica del Lago de Chalco, México, durante el último máximo glaciar – El registro de diatomeas entre 34,000 y 15,000 años A.P. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 14 (1): 91-100.
- CARMONA-GONZÁLEZ, P. & J. M. RUIZ-PÉREZ. 2000. Las inundaciones de los ríos Júcar y Turia. *Serie Geográfica* (9): 49-69.
- CARRERÓN FREYRE, D., M. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, M. CERCA, R. GUTIÉRREZ CALDERÓN & C. A. JIMÉNEZ SÁNCHEZ. 2011. Caracterización geomecánica de los suelos de Iztapalapa, México, para evaluar el fracturamiento causado por deformación diferencial. 2011, PanAm CGS, Geotechnical Conference. Disponible en: <http://geoserver.ing.puc.cl/info/conferencias/PanAm2011/panam2011/pdfs/GEO11Paper986.pdf>
- CARRANZA-EDWARDS, A. 1971. *Descripciones litológicas de los pozos perforados en el Lago de Texcoco*. Informe Inédito. 7 p.
- CARRANZA-EDWARDS, A., & L. ROSALES-HOZ. 2013. Playas del Holoceno versus playas del Antropoceno. In: A. Yáñez-Arancibia (Ed.). *Cambio Climático, Dimensión Ecológica y Socioeconómica*. AGT Editor S.A. México DF. pp. 13-36.
- CRUTZEN, P. J. & E. F. STOERMER. 2000. The "Anthropocene". *Global Change Newsletter* 41: 17-18.

- DÍAZ DEL CASTILLO, B. 2012. *Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España*. Grupo Editorial Tomo, S.A. de C.V. (Traducción Luis Rutiaga de 2012). 734 p.
- DÍAZ-RODRÍGUEZ, J. A. 2006. Los suelos lacustres de la Ciudad de México. *Revista Internacional de Desastres naturales, Accidentes e Infraestructura Civil* 6 (2): 111-129.
- INGRAM, R. 1965. Facies maps based on the megascopic examination of modern sediments. *Journal Sedimentary Research* 35: 619-625.
- ALFONSO, J. G. 2001. México - Tenochtitlan en una Isla: Ome Call (1325) - El Calli (1521): Introducción al urbanismo de una Ciudad Precolombina. *Boletín Americanista* (Universitat de Barcelona): 95-144.
- KELLER, E. A. 1996. *Environmental Geology*. Prentice Hall, Inc. New Jersey 560 p.
- MACÍAS, J. L. 2007. Geology and eruptive history of some active volcanoes of México. In: Alaniz-Álvarez, S. A. & Á. F. Nieto-Samaniego (Eds.) *Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México: Geological Society of America Special Paper* 422, pp. 183-232. DOI:10.1130/2007.2422(06).
- MARSAL, R. J. & M. MASARI. 1959. *El subsuelo de la Ciudad de México*. Instituto de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México.
- MOOSER, F. 1963. La cuenca lacustre del valle de México. Mesas Redondas sobre Problemas del Valle de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales, A. C. pp. 2-16.
- MOOSER, F., A. E. NARIN & J. F. W. NEGENDANK. 1974. Paleomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks: VIII A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico. *Geologische Rundschau* 63: 451-483.
- NIEDERBERGER-BETTON, C. 1987. Paleopaysages et Archeologie Pre-Urbaine du Bassin de México, *Centre d'Estudes Mexicaines et Centroamericaines*, Tome I, Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos – CEMCA. 337 p.
- OROZCO, F. 1944. *Análisis Químico Cuantitativo*. Décima Octava Edición (1989). Editorial Porrúa, México, 448 p.
- ROY, P. D., M. CABALLERO, R. LOZANO, T. PI & O. MORTON. 2009. Late Pleistocene-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of Mexico, Mexico. *Geochemical Journal* 43: 49-64.
- SAHAGÚN, B. 1579. *Códice Florentino*. Bernardino de Sahagún (ap. III) 15: 1578-1580.
- SHEPARD, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios, *Journal of Sedimentary Petrology* 34 (3): 151-158.
- SINGH, S. K. & R. CASTRO. 1988. Some aspects of the source characteristics and ground motion amplification in and near Mexico City from acceleration data of the September, 1985: Michoacán Mexico earthquakes. *Bulletin Seismological Society of America* 78: 451-477. DOI: 10.1016/0267-7261(94)90012-4
- TORRES-RODRÍGUEZ, E., S. LOZANO-GARCÍA, P. ROY, B. ORTEGA, L. BERAMENDI-OROSCO, A. CORREA-METRIO & M. CABALLERO. 2015. Last glacial droughts and fire regimes in the central Mexican highlands. *Journal of Quaternary Science* 30 (1): 88-99. DOI:10.1002/jqs.2761
- VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, E. & R. JAIMES-PALOMERA 1989. Geología de la cuenca de México. *Geofísica Internacional* 28 (2):133-190.
- ZACAULA-SAMPIERI, M. A. 1977. Estudio geohidrológico de los acuíferos alcalinos del Lago de Texcoco, Edo. de México. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, 81 p.
- ZEEVAERT, L. 1953. Estratigrafía y problemas de ingeniería en los depósitos de arcilla lacustre de la Ciudad de México. Memoria del Congreso Científico Mexicano 5, México, D.F. pp. 58-70