



LIMNOLOGÍA FÍSICA Y QUÍMICA

ENRIQUE H. BUCHER* Y ANA E. BUCHER

Centro de Zoología Aplicada. Universidad Nacional de Córdoba. C.C. 122, 5000 Córdoba.

* E-mail: buchereh@uolsinectis.com.ar.

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una síntesis de la información disponible sobre los componentes físicos y químicos de la laguna Mar Chiquita. Aunque por razones prácticas se tratan estos aspectos y los biológicos por separado, debe tenerse en cuenta que las características físicas y químicas del agua de la laguna Mar Chiquita y los ríos tributarios se deben no solamente a reacciones fisicoquímicas espontáneas, sino que, en gran medida, son el resultado de la actividad biológica de microorganismos, plantas y animales. Por lo tanto, el lector no debe olvidar que para entender la compleja dinámica de la laguna, se requiere que los procesos fisicoquímicos y los biológicos sean analizados y comprendidos en forma integrada con los temas desarrollados en los capítulos 7 y 8.

Los lagos salados son también conocidos como lagos atalásicos —del griego *a*, no y *thalassa*, mar—, es decir “no marino”. Aunque originalmente el término atalásico se refería a los cuerpos de agua no conectados con el mar, la tendencia actual es restringir esta denominación a aquellos con un grado de salinidad suficiente como para diferenciarlos de los lagos y las lagunas de agua dulce. Se considera que un cuerpo de agua es salino cuando su salinidad es superior a 3‰ (3 g/L).

El criterio más difundido para clasificar el grado de salinidad de las aguas es el propuesto por Hammer (1986), que incluye las siguientes categorías:

Hiposalina: 3-20 g/L

Mesosalina: 20-50 g/L (el agua de mar tiene ~35 g/L)

Hipersalina: 50-100 g/L

Hipersalina extrema: > 100 g/L

Tal como se describe más adelante, Mar Chiquita osciló históricamente desde una condición hipersalina extrema en los períodos de aguas bajas, hasta una condición mesosalina, a partir de la gran crecida que comienza en la década de 1980.

En general, la mayoría de los lagos salinos son receptores finales de sus cuencas de drenaje endorreico, es decir, sin salida al mar. Dado que el flujo de agua que ingresa contiene sales, pero no así el agua que se evapora, la sal se acumula en el lago. Los lagos salados suelen ser muy diversos en cuanto a profundidad, tamaño y forma, lo que, a su vez, produce variaciones marcadas en la salinidad del agua (Hammer 1986).

Los lagos salados son económicamente importantes como fuente de minerales (especialmente halita,

uranio, zeolita, litio y bórax, entre otros), de agua, de peces, de productos bioquímicos (glicerina, beta caroteno y proteínas de algas de los géneros *Dunaliella* y *Spirulina*) y de productos para acuicultura, especialmente quistes de *Artemia* (ver capítulo 9).

2. PROPIEDADES DEL AGUA SALADA

El agua dulce y el agua salada parecen muy similares, excepto por su sabor. Sin embargo, sus propiedades difieren en forma marcada y esas diferencias tienen gran significación ecológica. A continuación, se detallan las más importantes:

Densidad: la densidad del agua es función de la cantidad de sólidos disueltos y en suspensión, y de su temperatura. Por lo tanto, a igual temperatura, el agua que tiene más sales es más densa. La diferencia de densidad determina que en el agua salada algunas partículas floten, mientras que en el agua dulce se hundan, que los peces necesiten más energía para trasladarse, y que las embarcaciones gasten más combustible por kilómetro recorrido. Es bien conocido además que el agua muy salada permite que los bañistas no se hundan y puedan permanecer flotando sin esfuerzo. También es posible que las capas de agua más caliente, pero con más sal, queden por debajo de las capas frías –pero menos saladas y por lo tanto menos densas– lo que a primera vista parece muy inusual.

Tensión superficial: es el grado de atracción de las moléculas en la superficie del líquido. Esta fuerza les permite a los pequeños insectos “caminar” sobre el agua. La tensión superficial aumenta con la cantidad de sales disueltas.

Viscosidad: la viscosidad es la característica que afecta a la velocidad a la que fluye un líquido. Aumenta con la salinidad, lo que hace que la velocidad a la que se hundan las partículas –por ejemplo, el plancton– sea menor en el agua salada.

Calor específico: es la cantidad de calor que requiere un líquido para elevar su temperatura. El agua pura tiene mayor calor específico que cualquier otra solución acuosa salina. Cuando se le agrega sal, su calor específico disminuye. Por lo tanto, se necesitan menos calorías para calentar iguales volúmenes de agua salada que de agua dulce. Por tal razón, el agua de Mar Chiquita se calienta rápidamente con el sol y nunca es demasiado fría durante el día, aun en invierno. Contrariamente, al enfriarse, entrega menos calor por cada grado de temperatura. En consecuencia, el valor regulador sobre la temperatura del aire es menor en un lago salado que en uno de agua dulce de similar tamaño. Además, con mayor salinidad la temperatura de ebullición incrementa y la de congelación disminuye. Es decir, a la presión del nivel del mar, el agua salada hierve a más de 100 °C y se congela a menos de 0 °C.

Densidad óptica: desde el punto de vista óptico, el agua salada es más densa que el agua dulce. Por ello, la penetración de la luz solar alcanza menos profundidad, lo cual tiene mucha influencia sobre los organismos fotosintéticos. Asimismo, su ángulo de refracción aumenta, propiedad utilizada para medir la salinidad (ver más adelante). También se ha observado que cuando la salinidad alcanza valores muy altos la turbidez del agua tiende a disminuir, probablemente debido a una caída en la concentración del plancton, incapaz de soportar tan altos niveles de sal.

Solubilidad del oxígeno: a medida que aumenta la salinidad, la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye. Es decir, en aguas saladas, el oxígeno alcanza saturación a concentraciones mucho más bajas que en agua dulce. Por lo tanto, es frecuente observar que en los lagos salados se generan situaciones de anoxia –falta de oxígeno– a niveles relativamente poco profundos. Dado que las altas temperaturas del agua disminuyen aún más la capacidad de retención de oxígeno, en lagos salados es más probable que en verano se produzcan episodios de mortalidad masiva de peces por anoxia.

Evaporación: la cantidad de agua que se evapora a una determinada temperatura y presión es menor a medida que la salinidad aumenta, por cuanto la sal tiende a “retener” agua (es higroscópica, razón por la cual el salero de la cocina tiende a humedecerse). Este fenómeno se hace más intenso a medida que la salinidad aumenta. Por ello, al estimar la evaporación de los lagos salados resulta necesario hacer las correcciones correspondientes (ver capítulo 4).

Presión osmótica: el agua salada tiene mayor presión osmótica que el agua dulce. Por lo tanto, los seres vivos tienden a perder agua de sus cuerpos cuando la salinidad de su medio interno se hace inferior a la del agua que los rodea, lo que puede producir la muerte por desecamiento. Los seres vivos desarrollan una serie de mecanismos fisiológicos para adaptarse a salinidades crecientes, aunque existen límites. Por ejemplo, los peces raramente sobreviven con niveles de sal superiores a los 60 g/L. Cuando se alcanzan niveles de hipersalinidad extrema (>100 g/L), son muy pocos los organismos que pueden sobrevivir tales condiciones. Por ello, son conocidos como “extremófilos”.

Medición de la salinidad: el contenido de sales en agua es expresada, generalmente, en gramos por litro (g/L) o partes por mil (‰). Sin embargo, esta medida presenta algunos problemas. Usualmente, se estima el total de sólidos disueltos, que representa el total de material disuelto en el agua. Este parámetro se calcula mediante la evaporación del agua hasta lograr peso constante a una temperatura específica, generalmente 105 °C. Otra alternativa para determinar la salinidad del agua es medir su conductividad. Este parámetro depende de la capacidad del agua para conducir electricidad, lo que a su vez depende de la concentración de sustancias ionizadas. La conductividad es muy fácil de medir en campo. Sin embargo, este parámetro depende de la composición de las sales y no mide los compuestos no ionizados (coloidea, partículas, etc.), por lo que los valores obtenidos son más bajos que aquellos correspondientes al total de sólidos disueltos, aunque su correlación es bastante buena (Hammer 1986). Otro método para medir salini-

dad es el refractómetro, instrumento que mide los cambios en la refracción de la luz asociados a la salinidad. Finalmente, también puede estimarse la salinidad midiendo la densidad del agua, aunque este método es menos preciso.

3. LIMNOLOGÍA DE MAR CHIQUITA

La información limnológica disponible sobre Mar Chiquita es limitada, ya que recién a principios del siglo XX se comienza a explorar la laguna con criterio científico. En 1890, Juan B. Grumbkow viaja a la región para realizar observaciones geodésicas de la laguna. Este ingeniero hace algunas evaluaciones generales sobre las características, la temperatura del agua, su fauna y su flora (Grumbkow 1890). En noviembre de 1911 y julio de 1912, el gobierno de Córdoba encarga el estudio de las aguas minerales de Mar Chiquita al Dr. Hermann Frank, quien publica un informe con abundante información de base, que constituye el primer análisis científico de la química del agua de Mar Chiquita (Frank 1915). Más tarde, Joaquín Frenguelli y Francisco de Aparicio visitan Mar Chiquita en la Semana Santa de 1930. Como resultado de ese viaje, publican un trabajo sobre la geología, la paleontología y la antropología, con datos sobre la fauna malacológica observada en las playas (Frenguelli & De Aparicio 1932).

El primer análisis limnológico-biológico de la laguna es llevado a cabo por Hans Seckt, miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba (Seckt 1945). Seckt realiza observaciones sumamente interesantes durante una corta visita a la región, entre las cuales merece destacarse sus comentarios sobre las bacterias vinculadas al ciclado del azufre. Posteriormente De Billerberck (1979) analiza las observaciones microbiológicas de Seckt y actualiza la nomenclatura científica de las especies mencionadas en el trabajo. Guiñazú (1949) desarrolla una tesis doctoral sobre el crustáceo *Artemia salina* (hoy denominada *Artemia franciscana*), especie dominante del plancton en períodos de aguas bajas (ver capítulo 9). Bertoldi de Pomar (1953) realiza una síntesis de la información

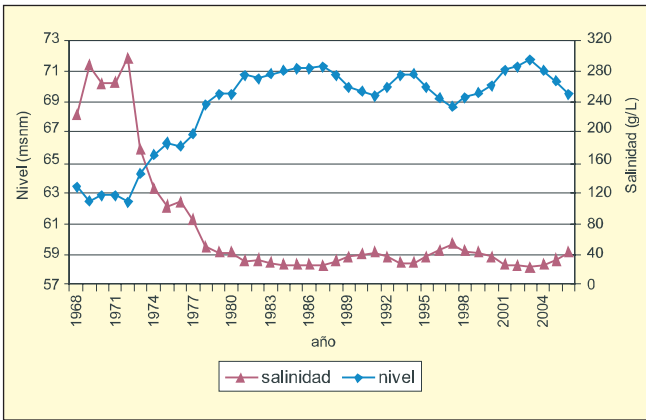


Figura 1. Variaciones en el nivel de la laguna Mar Chiquita, expresada en metros sobre el nivel del mar y salinidad (gramos por litro) en el período 1968-2005. Los valores corresponden al mes de julio de cada año.

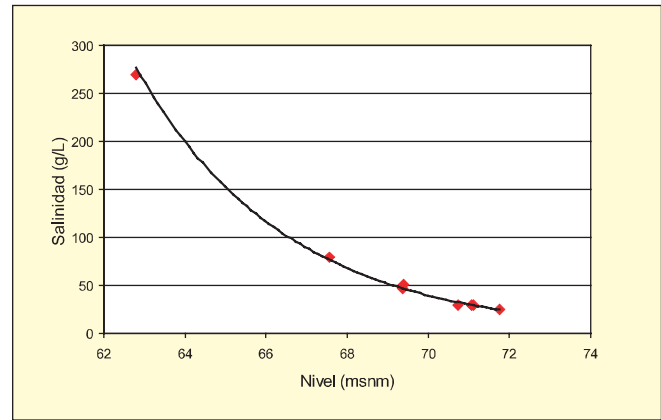


Figura 2. Relación salinidad/nivel de Mar Chiquita, basada en mediciones realizadas en el período 1968-2005. La salinidad puede ser estimada a partir del nivel y viceversa, mediante las fórmulas indicadas en el texto.

disponible sobre la geología y el origen de Mar Chiquita, donde se incluyen datos sobre la salinidad. Héctor Salvetti, destacado investigador residente en Miramar, realizó un gran número de observaciones sobre la salinidad y otros aspectos de la limnología de la laguna y sus propiedades curativas. Sus trabajos han sido publicados por el Museo Aníbal Montes, que él mismo fundara.

Hacia fines de la década de 1970 se realizan varios trabajos de investigación sobre Mar Chiquita promovidos por la Comisión de Apoyo al Desarrollo del Noreste, coordinada por Juan Giro Tapper. Estos trabajos fueron publicados en CADNE (1979). En 1978, Durigneux (1978) da a conocer un análisis detallado de la composición química de las aguas y de los sedimentos de la laguna. Más recientemente, Martínez (1991) desarrolla una tesis muy amplia y detallada sobre la geoquímica de la laguna. Parte de sus resultados fueron publicados en revistas científicas (Martínez *et al.* 1994; Martínez 1995).

3.1. VARIACIONES DE NIVEL Y SALINIDAD

Los factores clave que controlan todo el sistema de Mar Chiquita son, en primer término, la salinidad y, en segundo término, el nivel del agua (y por ende el

volumen), ambos directamente relacionados. Las variaciones de estos parámetros determinan importantes cambios en la física, la química y los procesos biológicos de la laguna.

El análisis de los cambios registrados en la laguna puede separarse en tres etapas, yendo desde el presente al pasado: a) registros continuos de mediciones precisas, desde 1968; b) inferencias basadas en mediciones de salinidad, datos históricos y documentales (cartografía, información oral de pobladores locales, etc. que alcanzan hasta aproximadamente 1890 (ver capítulo 20), y c) información paleolimnológica (ver capítulo 3).

3.1.1. PERÍODO CON MEDICIONES INSTRUMENTALES (1968 EN ADELANTE)

La información disponible a partir de 1968 se indica en la Figura 1. En ella se evidencia el marcado aumento de nivel (y caída en la salinidad) que se produce a fines de la década de 1970, el cual se mantiene con algunas variaciones hasta la actualidad.

3.1.2. PERÍODO DE INFERENCIAS HISTÓRICAS (1890-1968)

En este período es posible inferir los niveles de la laguna a partir de varias fuentes de información, inclu-

yendo estimaciones basadas en datos de salinidad, información histórica, y datos paleolimnológicos (ver capítulo 3).

Para estimar el nivel a partir de mediciones de salinidad con anterioridad a 1968 se elaboró una curva de relación nivel/salinidad desde 1968 (Fig. 2). Por medio de esta curva es posible determinar la relación matemática existente entre ambos parámetros. Dicha relación nos permite a su vez estimar la salinidad que corresponde a un nivel de agua dado y viceversa.

Las ecuaciones que permiten estas estimaciones son las siguientes:

$$\text{Nivel (g/L)} = -3,5984 * \text{Ln}(\text{salinidad en g/L}) + 82,991$$

$$(R^2 = 0,9945)$$

$$\text{Salinidad (g/L)} = e^{(-02764 * \text{nivel (msnm)})} * 10000000000$$

$$(R^2 = 0,9945)$$

Aunque esta relación puede estar sujeta a pequeños errores en el tiempo debido a la acumulación de sedimentos en el fondo de la laguna (ver capítulo 3), en el corto plazo las estimaciones que resultan de estas ecuaciones son muy precisas, tal como lo indica el alto valor del coeficiente de determinación (R^2). Mediante estas fórmulas es posible estimar en forma cuantitativa el nivel de la laguna con anterioridad a 1968, basándonos en las esporádicas mediciones de salinidad que se dispone (Tabla 1). En la Figura 3 se muestran los niveles estimados anteriores a 1968 basados en los datos de salinidad de la Tabla 1, juntamente con los niveles medidos a partir de 1968 con fines comparativos.

A partir de las estimaciones de nivel por salinidad y otras evidencias disponibles, podemos realizar una síntesis de la situación de la laguna con anterioridad a 1968, dividiéndola en los siguientes períodos:

Período anterior a 1890: durante la época colonial y casi todo el siglo XIX la información disponible es muy escasa. Existen varios mapas de la región, inclu-

Tabla 1. Mediciones de salinidad de Mar Chiquita disponibles en el periodo 1890-1960

Año	Mes	Salinidad g/L	Fuente
1890	Julio	60	Grumbkow (1890)
1906	Julio	223	Frank (1915)
1911	Noviembre	360	Frank (1915)
1912	Julio	291	Frank (1915)
1914	Enero	310	Frank (1915)
1915	Enero	84	Frank (1915)
1915	Julio	89	Frank (1915)
1922		186,8	CADNE (1979)
1923	Octubre	138,6	CADNE (1979)
1924	Junio	132,5	CADNE (1979)
1924	Octubre	180,7	CADNE (1979)
1925	Julio	176,1	CADNE (1979)
1930	Abril	258	Frenguelli & De Aparicio (1932)
1938		288	Vazquez <i>et al.</i> (1979)
1953		251	Bertoldi de Pomar (1953)

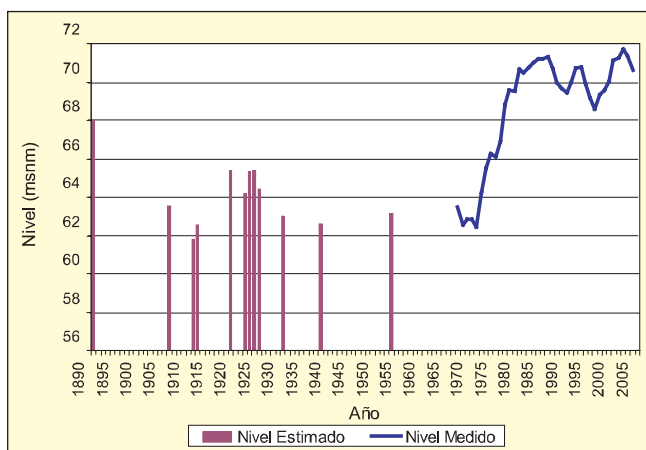


Figura 3. Valores del nivel (cota) de la laguna Mar Chiquita, estimados a partir de datos de salinidad (Tabla 1) y valores medidos a partir de 1968.

yendo los producidos por los cartógrafos españoles y sobre todo los jesuitas (ver capítulo 20). Estos mapas no tienen la precisión suficiente para hacer estimaciones medianamente confiables de área y nivel, dadas las dificultades logísticas de acceso y la falta de recursos cartográficos. Asimismo, en muchos casos los cartógrafos copiaban los mapas de otros autores (ver capítulo 20).

Periodo 1890-1910: el mapa publicado en 1890 por la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba (Brackebusch 1891) es el primer documento elaborado con instrumental topográfico moderno. En dicho mapa, Mar Chiquita tiene un tamaño relativamente reducido (1.096 km²), lo que sugiere un nivel bajo. Sin embargo, el valor de salinidad registrado en 1890 por el topógrafo Grumbkow (Grumbkow 1890) es el más bajo de todos los disponibles hasta 1960, lo que sugiere un nivel alto de la laguna. Del relato de Grumbkow no queda claro si la medición fue hecha en la Laguna del Plata o en la laguna Mar Chiquita. El autor indica una profundidad media de la laguna de entre 3 y 4 metros. Este valor implica una diferencia alrededor de 4 y 5 metros con el máximo posterior a 1980, lo que parece coherente si se examina la Figura 3. De hecho, el total anual de precipitación en el año anterior (1889) en la ciudad de Córdoba alcanzó un valor excepcionalmente alto (1.006 mm), lo que podría haber implicado aportes sustanciales del río Primero a la laguna Mar Chiquita. Al respecto, debe tenerse en cuenta que cuando la laguna tenía bajos niveles (y por lo tanto volumen reducido) el aporte de los ríos tributarios después de lluvias intensas podía resultar en incrementos marcados de nivel de corta duración. Al respecto hay que recordar que en esa época los ríos tributarios no tenían diques en su curso (excepto el San Roque para el río Primero), por lo que las crecidas de los tributarios llegaban directamente a la laguna sin ser retenidas o demoradas por estas obras de ingeniería.

Una década más tarde, y de acuerdo con el mapa catastral argentino de 1901 (De Chapeaurouge 1901), el área ocupada por la laguna Mar Chiquita era de 1.006 km², tamaño algo menor al del mapa de Brackebusch. Esta cifra coincide con el valor estimado para 1906, alrededor de 4 m más bajo que el de 1890.

Periodo 1911-1930: los niveles (estimados por salinidad) habrían oscilado entre 66 y 67 m, con un pico en 1915. En 1911, Frank (1912) reporta el tenor de sal mas alto registrado en Mar Chiquita

(360 g/L). Asimismo, describe la acumulación de sal de Grauber (sulfato de sodio), a la cual los locales le llamaban “sal de invierno”, indicativo de altos niveles de salinidad. En ese momento el nivel de la laguna podría haber estado algo debajo de los 62 msnm. A partir de 1915, el nivel parece haber aumentado. El mapa de Mar Chiquita incluido en el informe de Kanter (1935) (elaborado un poco antes de 1925, fecha de la publicación del trabajo original en Alemania) indica una superficie de 1.600 km², mayor que en periodos anteriores. En mayo de 1928 se registra una crecida excepcional del río Segundo (Ninci 1929).

Periodo 1931-1950: el mapa de Mar Chiquita publicado por el Instituto Geográfico Militar en 1932 indica una superficie de la laguna de 1.908 km², algo mayor al mapa de Kanter ya mencionado. En todo el período se conocen sólo dos mediciones de sal en la laguna, las cuales indican un nivel de alrededor de 63 msnm (Fig. 3). Este período tuvo bajas precipitaciones en casi todo el país, alcanzando un mínimo histórico en gran la sequía de 1937. Entre 1942 y 1945 el nivel de la laguna estuvo muy bajo. Los hoteles tenían puentes o pasarelas para llegar hasta el agua alejada de la playa, con una longitud de 300 a 400 m (Fig. 4, ver capítulo 20). En invierno las playas aparecían cubiertas con la sal de Grauber, indicador de alta salinidad. En el año 1947 Soldano (1947) menciona que los ríos Primero, Segundo y Dulce ya no llegaban hasta sus desembocaduras en la laguna, excepto en casos excepcionales. Esta situación de sequía y aguas bajas continuó hasta aproximadamente 1955 (datos de Juan Melanesio y del reportaje a Dante Marchetti en Franco 1996).

Periodo 1951-1970: a comienzos del período hay una medición de sal que indica un nivel de Mar Chiquita de alrededor de 63 m (Fig. 3). En el período 1959-1961 se produce una crecida significativa de la laguna, al punto que en agosto de 1959 amenaza inundar Miramar (ver imagen en el Museo Fotográfico de Miramar). Entre 1965 y 1967 continúa una tendencia al aumento de nivel y también de la napa freática. A

partir de 1968, momento en que comienzan las mediciones instrumentales en la laguna, se produce un fuerte descenso del nivel que continúa hasta 1972, muy probablemente asociado al llenado del dique Río Hondo en Santiago del Estero. Durante ese período el río Dulce no aporta agua a Mar Chiquita. El agua se aleja de las playas de Miramar al punto que, al igual que en el período anterior, se requiere la construcción de largas pasarelas para que los bañistas alcancen la playa (ver capítulo 20). Hacia 1975 comienza el crecimiento marcado y sostenido de la laguna que la lleva a una superficie por encima de los 6.000 km² (ver capítulo 4).

3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

La principal característica del agua de Mar Chiquita es el fuerte predominio de los aniones cloruros y sulfatos, y de los cationes sodio, calcio y magnesio, tal como se evidencia en los valores porcentuales promedio que se indican a continuación (Durigneux 1978):

Cloruro de sodio (halita) - $NaCl$	78%
Sulfato de sodio (mirabilita o sal de Glauber) - Na_2SO_4	17%
Sulfato de calcio (yeso) - $CaSO_4$	2,3%
Sulfato de magnesio - $MgSO_4$	2,0%

La composición química del agua de Mar Chiquita difiere de la del agua de mar fundamentalmente por su contenido de azufre mucho más elevado (Tabla 2). Esta combinación de sales es una de las más comunes entre los lagos salados del mundo, particularmente en Argentina, y resulta de la composición de las rocas que atraviesan los ríos tributarios (Hammer 1986).

Las propiedades físicas y químicas características del agua de la laguna varían según su tenor salino, el cual, a su vez, depende de su volumen. En la Tabla 3 se indican los valores medios de los principales parámetros para cuatro niveles distintos de salinidad. A medida que la concentración de sales aumenta, las ca-



Figura 4. Hotel Playa, Miramar (fotografía tomada entre 1949 y 1951). Se aprecia la marcada bajante que deja al descubierto un barranco muy significativo. El hotel fue destruido por la gran inundación que comienza a fines de la década de 1970. (Foto Museo Fotográfico de Miramar).

Tabla 2. Composición porcentual de los principales iones en Mar Chiquita y comparación con el agua de mar y con el Gran Lago Salado de los Estados Unidos (valores de Mar Chiquita con una concentración salina de 35 g/L, similar a la del agua de mar).

Elemento	Mar Chiquita ¹	Agua de mar	Gran Lago Salado (EE.UU.)
	%	%	%
Sodio (Na^+)	35,2	32,4	32,8
Calcio (Ca^{++})	1,0	1,2	0,2
Magnesio (Mg^{++})	0,6	3,9	3,3
Cloro (Cl^-)	47,4	58,6	54,5
Azufre (S)	14,9	2,7	7,2
Carbono (C)	1,0	0,1	0,8

¹ Datos de Martínez (1991).

Tabla 3. Características químicas de las aguas de Mar Chiquita a distintos niveles de salinidad (valores medios).

	Salinidad				
	Alta	Media	Baja	Muy baja	
Año	1970 ¹	1977 ²	1989 ³	1986 ³	2002 ⁴
Densidad	-	1056	1022	-	-
Sólidos disueltos (g/L)	283	79	35	28	27
pH	9,45	8,0	8,53	8,3	8,0
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	4,7	9,5	-
Sodio (g/L)	107,73	28,20	12,52	9,96	-
Potasio (g/L)	1,56	0,28	0,14	0,13	-
Calcio (g/L)	1,02	0,53	0,35	0,28	-
Magnesio (g/L)	0,72	0,36	0,25	0,17	-
Cloruros (g/L)	143,69	36,85	16,65	13,41	10,26
Sulfatos (g/L)	27,91	11,89	5,10	4,23	5,83
Carbonatos (g/L)	0,126	0,149	0,227	0,293	-
Amonio (mg/L)	-	-	<0,17	-	0,20
Nitratos (mg/L)	-	-	<0,20	-	0,15
Fosfatos (mg/L)	-	-	-	-	0,05
Fluoruros (mg/L)	-	-	0,4	0,4	1,15
Hierro (mg/L)	-	< 1,0	-	-	0,05
Sílice (mg/L)	-	-	4,4	-	-
Litio (mg/L)	-	9,8	4,8	0,4	-

Fuentes: ¹ Dirección Provincial de Hidráulica de Córdoba; ² Durigneux (1978); ³ Martínez (1995); ⁴ A. Abril (datos no publicados)

racterísticas físicas del agua difieren de las del agua dulce en forma cada vez más marcada.

pH: los registros de pH de las aguas de Mar Chiquita oscilan en un rango de valores medianamente alcalinos (entre 8 y 9,45) (Tabla 3). No se registraron variaciones con la profundidad (Martínez 1991). Estos rangos son frecuentes en lagos salinos, en los que el pH tiende a ser básico, pudiendo alcanzar valores de alrededor de 11 en lagos muy alcalinos, como el lago Chad, en África (Hammer 1986).

Temperatura: no se cuenta con datos sistemáticos de la temperatura del agua en Mar Chiquita. Las primeras mediciones fueron realizadas entre febrero y marzo de 1890 por Grumbkow (1890), quien encontró valores entre 23 y 24 °C. Los datos más completos provienen de Martínez (1991), quien realizó numero-

sas mediciones a distintas profundidades. En noviembre de 1986, los valores oscilaron entre 21,2 y 25,0 °C, con una media de 22,9 °C para 19 puntos de muestreo; mientras que en enero de 1989, la media fue de 27,8 °C para 35 puntos de muestreo, con un rango de 23,7–32,3 °C. En invierno (julio) Sagretti y Bistoni (2001) registraron una mínima de 7 °C.

Martínez (1991) encontró una leve tendencia a la disminución de la temperatura del lago con la profundidad. En noviembre de 1986, la temperatura del agua en superficie era significativamente más alta que la registrada en el fondo, con una diferencia de entre 0,4 °C y 3,7 °C, dependiendo de los puntos de muestreo. En todos los casos en que la diferencia superó los 3 °C, la profundidad del sitio era mayor a 6 metros. Estos valores se obtuvieron durante el día en un mes cálido, cuando el calentamiento solar es intenso.

Es muy improbable que se desarrolle una estratificación térmica marcada en lagos salinos poco profundos y ubicados en regiones con mucho viento, como es el caso de Mar Chiquita, ya que usualmente se produce una mezcla completa de las aguas (condición denominada *polimixis*). Sin embargo, y como se observó en Mar Chiquita, es posible que con ausencia de viento por períodos suficientemente prolongados se produzca alguna estratificación temporaria en las partes más profundas de la laguna (condición denominada *meromixis*).

En los lagos salados también puede darse el curioso fenómeno de *estratificación inversa*, por el cual el agua cálida queda por debajo de capas más frías. Esta situación se da cuando la capa más caliente es más salina que la capa superior más fría. Este fenómeno se presenta siempre que el nivel de salinidad sea suficiente para aumentar la densidad hasta sobrepasar el fenómeno opuesto de disminución de densidad debido a una mayor temperatura. En otras palabras, el agua menos salina y menos densa, pero más fría (por ejemplo, proveniente de ríos que vuelcan en la laguna), se ubica sobre capas más calientes, más salinas y más densas.

El fenómeno de la estratificación inversa fue muy bien descrito en Mar Chiquita por Seckt (1945), quien detectó “*corrientes cálidas debajo de la superficie del agua, perceptibles especialmente en días fríos*”. Seckt atribuyó erróneamente este fenómeno a la presencia de fuentes de aguas termales submarinas en Mar Chiquita. La estratificación térmica inversa también fue observada por nosotros en la Laguna del Plata en febrero de 2006, asociada a la entrada de agua dulce proveniente del río Primero.

Turbidez y penetración de la luz: la transparencia del agua es un factor importante, por cuanto determina la penetración de la luz y, por ende, de la posibilidad de que los organismos puedan realizar fotosíntesis. La transparencia se ve disminuida por la turbidez del agua, la que a su vez depende de las partículas orgánicas e inorgánicas en suspensión. La turbidez

tiende a aumentar con la concentración de sal y, en consecuencia, con la densidad del agua, lo que hace que las partículas permanezcan en suspensión y no precipiten al fondo con la misma facilidad que en el agua dulce. Además, la salinidad acentúa la atenuación de la entrada de luz con la profundidad. En el área de contacto entre el agua dulce volcada por los ríos tributarios y el agua salada, pueden darse complejos procesos de floculación de arcillas y otras partículas en suspensión, los que resultan en cambios importantes en la turbidez.

Existe muy poca información relativa a la transparencia en Mar Chiquita. En 1945, Seckt (1945) observó que, en algunos días, el agua era transparente y se podía ver el fondo hasta por lo menos 1,50 m. En otras ocasiones, o aún en el mismo día, la transparencia llegaba apenas a menos de 0,5 m, con extremos de sólo 26 cm. En 1989, se observó que en el centro de la laguna los valores del disco de Secchi –disco de colores blanco y negro que se sumerge para determinar la penetración de la luz en el agua– oscilaron entre 0,80 m y 1,50 m, mientras que en las áreas costeras, el rango fue de 0,30 – 0,15 cm. (G. Reati, comunicación personal). En julio de 2005, los valores oscilaron entre 0,35 y 0,5 m a 10 km al norte de Miramar. Es posible que las variaciones observadas se deban, entre otras razones, a la cantidad de sedimentos aportados por los ríos tributarios (particularmente arcillas, materia orgánica y microorganismos).

Color del agua: el color de las aguas puede variar considerablemente en Mar Chiquita, como en muchos lagos salados. El color dominante es un verde amarillento, que a veces puede virar a un verde más intenso durante períodos de alta productividad biológica. Ocasionalmente, puede haber áreas con fuertes tonalidades rojas. Esto puede ser debido a una abundancia excepcional de bacterias fotótrofas del azufre (llamadas también halobacterias por su capacidad de vivir en agua salada), a algunas algas cianofíceas y también a altas concentraciones del crustáceo *Artemia franciscana*, que se alimenta de dichas algas (ver capítulo 7).

Oxígeno disuelto: la concentración de oxígeno disuelto en agua es considerada uno de los parámetros más importantes en limnología, ya que condiciona procesos biológicos fundamentales. En general se espera que en lagos superficiales y abiertos como Mar Chiquita, el oxígeno se encuentre cercano al punto de saturación a cualquier profundidad, debido a la acción del viento. Sin embargo, el efecto de la salinidad hace que, en algunos lagos salados poco profundos, el oxígeno pueda alcanzar supersaturación –valores por encima del nivel de saturación– cerca de la superficie y caer rápidamente con la profundidad (ver Cuadro 1) (Hammer 1986).

En Mar Chiquita es probable que ocasionalmente el oxígeno sea muy escaso cerca del fondo y en los sedimentos, particularmente en días cálidos y sin viento. En enero de 1989, Martínez (1991) encontró que, con una salinidad del agua de 35 g/L, el oxígeno estaba a sobresaturación hasta 2 m de profundidad (6,85-6,45 mg/L), mientras que era significativamente menor en el fondo (media = 4,8 mg/L, mínima 0,10 mg/L). La mayor diferencia observada entre el máximo y el mínimo alcanzó a los 7,70 mg/L para un mismo sitio. En cambio, en noviembre de 1986, con una salinidad menor (28 g/L), el mismo autor encontró valores de sobresaturación que oscilaban entre 7,4 y 11,0 mg/L, muy por encima del valor de saturación estimado en 6,7 mg/L. El autor atribuyó este fenómeno a los intensos vientos registrados en el momento de la medición.

Espuma: es frecuente observar espuma en el agua de Mar Chiquita, que puede aparecer tanto en forma de acumulaciones en la playa como en largas líneas que se extienden en el sentido del viento dominante, claramente visibles desde el aire (Fig. 5). La presencia de líneas de espuma en Mar Chiquita fue mencionada por primera vez por Seckt (1945), quien describe “líneas de dimensiones gigantescas y de 5-8 cm de ancho, las cuales se desplazan lentamente”. En este material espumoso, el investigador observó cantidades enormes de larvas rojizas del crustáceo *Artemia*. Es probable que, tal como ocurre en el Gran Lago Salado, también ha-

ya habido nauplios de *Artemia* (formas de resistencia), los que flotan fácilmente (ver capítulo 9).

La formación de espuma es una característica de los lagos salados que los diferencia de los de agua dulce. Es muy notable, por ejemplo, en el Gran Lago Salado (Wallace Gwynn 2004). En Mar Chiquita la formación de espuma se debe a causas naturales, al menos en la situación actual de la laguna, donde no hay fuentes de contaminación significativas. La explicación de este fenómeno es compleja y aún no ha sido totalmente dilucidada (Craig *et al.* 1993).

Desde el punto de vista de la Física, la formación de espuma está relacionada con la tensión superficial de los líquidos. El agua dulce tiene una tensión superficial alta, lo que permite, por ejemplo, que algunos insectos puedan caminar sobre su superficie. Cuando las olas forman burbujas en los lagos de agua dulce, éstas suben rápidamente y explotan de inmediato, debido a que la alta tensión superficial impide que la burbuja se englobe y se estire por encima de la superficie del agua. Cuando esta tensión superficial disminuye (por ejemplo, al agregar surfactantes como el jabón o los detergentes), las burbujas se elevan a la superficie pero no desaparecen por explosión, ya que los surfactantes permiten su “estiramiento”. La burbuja puede durar en esas condiciones por largo tiempo, lo que a veces determina la acumulación de grandes masas espumosas (Fig. 5).

Dado que el agua salada tiene aún más tensión superficial que el agua dulce, la diferencia en salinidad no explica la formación de espuma en lagos salados. Al contrario, debería ser menor. Entonces, ¿por qué se forma tanta espuma en Mar Chiquita? Las teorías actuales indican que al aumentar la salinidad del agua (sobre todo cuando se superan el tenor del agua de mar), la mayor tensión superficial hace que las burbujas pequeñas no puedan coalescer (unirse) en otras mayores y subir a la superficie, donde explotan. Por lo tanto, estas burbujas pequeñas pueden permanecer y acumularse en grandes masas (Craig 2004).



Figura 5. Formación de espuma en Mar Chiquita: a) costa batida por las olas; b) coloración amarillenta que a veces toma la espuma costera; c) contacto entre el agua entrante del río Primero y el agua salada (Laguna del Plata); d) contacto entre agua entrante del río Dulce y el agua de Mar Chiquita; e) líneas de viento en el centro de la laguna (ver capítulo 6).

Al mismo tiempo, también pueden producirse surfactantes naturales en el agua salada. La mayor fuente de surfactantes en lagos salados es el abundante fitoplancton que vive en el agua (algas), ya que algunas especies exudan surfactantes como parte de su proceso metabólico natural. Estas sustancias son liberadas cuando las algas mueren y se descomponen (Wallace Gwynn 2004).

Usualmente, la espuma se produce en Mar Chiquita bajo las siguientes situaciones (Fig. 5): a) donde el

oleaje bate contra la costa; b) en las líneas de contacto entre masas de agua de características diferentes –sobre todo, salinidad– como, por ejemplo, el agua dulce que penetra por los ríos tributarios y el agua salada de Mar Chiquita y c) a lo largo de las líneas de viento (*windrows* en inglés, conocidas técnicamente como espirales de Langmuir), que consisten en largas líneas de espuma paralelas a la dirección del viento (ver capítulo 6). En todos estos casos, se producen complejas turbulencias y movimientos horizontales y verticales del agua generadores de burbujas (Imboden 1990).

4. PRINCIPALES COMPONENTES QUÍMICOS DE MAR CHIQUITA

Algunos elementos de las aguas de Mar Chiquita son esenciales para la actividad biológica (biogénicos). Otros tienen posible importancia comercial. Se los puede separar en: a) aquellos cuya principal fuente son las rocas erosionadas por los tributarios de la laguna, b) los que provienen fundamentalmente de la atmósfera y c) la materia orgánica presente en el agua.

4.1. ELEMENTOS BIOGÉNICOS PROVENIENTES DE LA TIERRA

La mayoría de estos compuestos se originan en las rocas de las regiones, atravesadas por los ríos tributarios. Sin embargo, el carbono, el nitrógeno y el oxígeno se encuentran fundamentalmente en el aire, desde donde son ciclados.

Sodio: el sexto elemento más abundante de la litosfera. Metal alcalino muy soluble y reactivo, un componente importante de los seres vivos.

Calcio: elemento dominante en muchos cuerpos de agua continentales. Componente fundamental de los tejidos vivos, particularmente huesos y tejidos de protección (conchilla de caracoles).

Potasio: muy relacionado con el sodio, componente fundamental del contenido celular y extracelular de los seres vivos.

Azufre: es un componente de la materia orgánica (proteínas, factores de crecimiento, etc.). En Mar Chiquita, el azufre está presente en grandes cantidades. Es usado por ciertas bacterias para la fijación de energía química (fotosíntesis) y para la respiración en condiciones anóxicas (falta de oxígeno). Este proceso produce sulfuro de hidrógeno, que da el olor típico a huevos podridos perceptible en la laguna (ver capítulos 7 y 8). En Mar Chiquita, las condiciones de anoxia se dan fundamentalmente en los sedimentos, en cuyas aguas intersticiales se encontró un contenido medio de sulfuros de 10,5 mg/L y uno máximo de 2,6 mg/L (Martínez 1991).

Fósforo: componente esencial para la vida, ya que forma parte de los ácidos nucleicos y de las membranas celulares e interviene en la transferencia y la conservación de la energía. En ecosistemas acuáticos, es el factor limitante más importante para el desarrollo del fitoplancton. Asimismo, su exceso lleva a procesos de eutrofización (crecimiento masivo de algas) (ver capítulo 21). Usualmente el fósforo alcanza valores altos en lagos endorreicos (Hammer 1986). Los pocos valores disponibles para Mar Chiquita indican que el fósforo no es escaso (Tablas 3 y 4).

Sílice: uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. El contenido de sílice soluble en el agua resulta de un intercambio entre el sílice en solución y la síntesis de frústulos (cápsulas) de las algas diatomeas, las cuales suelen predominar en el fitoplancton de los lagos salados, como Mar Chiquita (Miretzky & Fernández Cirelli 2004) (ver capítulo 7). La concentración de sílice en Mar Chiquita está por debajo de 10 mg/L, y dentro del rango de valores encontrados en lagos salinos de Norte América (Hammer 1986; Martínez 1991).

Hierro: el hierro forma parte de las proteínas que participan en el transporte de oxígeno, incluyendo la hemoglobina y los citocromos. Al igual que el azufre, está vinculado a la obtención de energía por los microorganismos (ver capítulo 8). El hierro alcanza concentraciones menores a 1,0 mg/L en la mayoría de los lagos donde fue medido (Hammer 1986). El agua de Mar Chiquita se encuentra dentro de este rango (Tablas 3 y 4).

4.2. ELEMENTOS PROVENIENTES DE LA ATMÓSFERA

Carbono: es el componente fundamental de la materia viva. Permite el intercambio y acumulación de energía en los seres vivos. El carbono en Mar Chiquita proviene básicamente de la materia orgánica formada por la fotosíntesis de las plantas verdes, tanto generada en la misma laguna —algas y macrófitas— como aportada por los ríos tributarios.

En menor medida, puede haber aportes provenientes de reacciones químicas entre los carbonatos y el calcio del agua, y el dióxido de carbono de la atmósfera. El carbono puede acumularse en los sedimentos de la laguna como materia orgánica o volver a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, el cual es producido por la respiración de los seres vivos, la combustión de materia orgánica (incendios de pastizales) o como metano producido por procesos bacterianos de descomposición de materia orgánica (ver capítulo 7).

Nitrógeno: componente fundamental de las proteínas. Tanto en ambientes acuáticos como terrestres, tiende a ser un factor limitante para el desarrollo de la vida. Al igual que el carbono, el nitrógeno de Mar

Chiquita proviene básicamente de la atmósfera, incorporado por vía de fijación bacteriana, deposición atmosférica, descargas eléctricas o por la materia orgánica aportada por los ríos tributarios. Asimismo, la actividad humana puede aportar mayores cantidades a través de fertilizantes, desechos cloacales y quema de combustibles derivados del petróleo, los cuales liberan nitrógeno en distintas combinaciones químicas. Dentro de la laguna, el nitrógeno pasa por un ciclo complejo a través de los seres vivos y, finalmente, puede acumularse en los sedimentos o retornar a la atmósfera (ver capítulos 6 y 7).

En la mayoría de los lagos, el tenor de nitratos en el agua varía entre no detectable hasta menos de 1,0 mg/L. Los pocos valores disponibles para Mar

Tabla 4. Características químicas de los sedimentos de la laguna Mar Chiquita

Parámetro	Año		
	1978 ¹	1994 ²	2002 ³
pH	6,95 – 7,55	-	7,48 – 8,41
pH	6,95 – 7,55	-	7,48 – 8,41
Sílice (%)	-	36,2 – 63,4	-
Aluminio (%)	-	9,11 – 13,2	-
Hierro (%)	0,91 – 2,37	1,59 – 5,65	3,4 – 5,38
Manganeso (%)	0,03 – 0,71	0,05 – 0,15	-
Magnesio (%)	0,73 – 1,79	1,62 – 6,78	-
Calcio (%)	2,43 – 8,75	2,26 – 12,7	-
Sodio (%)	3,07 – 6,92	0,34 – 1,73	-
Potasio (%)	0,08 – 1,02	1,52 – 2,67	-
Titanio (%)	-	0,61 – 1,00	-
Fósforo (%)	-	0,22 – 0,39	0,02 – 0,38
Carbono (%)	-	0,06 – 8,43	-
Azufre (%)	-	0,14 – 8,28	-
Litio (%)	0,06 – 0,18	-	-
Cloruros (%)	1,66 – 4,66	-	-
Sulfatos (%)	0,62 – 3,01	-	-
Carbonato de calcio (%)	2,61 – 4,14	-	-
Sulfuro (%)	0,004 – 0,076	-	-
Materia orgánica (%)	4,1 – 18,0 *	5,69 – 22,9	0,46 – 16,32
Ácidos fúlvicos (%)	-	-	0,26
Ácidos húmicos (%)	-	-	0,55
Nitrógeno total (%)	-	-	0,18 – 0,60

* calculada como pérdida por calcinación (LOI)

¹ (Durignoux 1978), ² (Martínez *et al.* 1994), ³ A. Abril, datos no publicados

Chiquita se encuentran dentro de ese rango (Tabla 3). Debe tenerse en cuenta, no obstante, que la contaminación de origen antrópico puede incrementar los nitratos y nitritos en el agua hasta alcanzar niveles perjudiciales. Las principales fuentes contaminantes son los desechos humanos (líquidos cloacales) y el uso excesivo de fertilizantes en zonas circundantes (ver capítulo 21).

Asimismo, el amonio presente en la laguna es muy bajo –se trata de un compuesto inestable en el ambiente acuático que se transforma rápidamente– y, en muchas ocasiones, está en el límite de los valores detectables. En el 24% de las 19 muestras tomadas en 1989 (Martínez 1995) se obtuvo resultados positivos con valores que oscilaron entre 0,19 y 1,67 mg/L.

4.3. MATERIA ORGÁNICA

Es importante tener en cuenta que el agua de los lagos salados contiene una cantidad significativa de compuestos provenientes de restos de organismos vivos. En general, la materia orgánica es arrastrada a los lagos por los ríos, pero también se genera en el lugar, a partir de los productores primarios. Generalmente, se la clasifica en materia orgánica disuelta y particulada. La materia orgánica disuelta incluye compuestos orgánicos de bajo peso molecular en solución, mientras que la materia orgánica particulada consiste en moléculas mayores no solubles, en suspensión. Las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos), provenientes de la degradación de detritos vegetales en el suelo y arrastradas por los ríos, constituyen el principal componente de la materia orgánica disuelta y suele dar un color marrón amarillento a las aguas, bien visible en la desembocadura de los ríos (Tabla 3). Este componente tiene gran importancia en los procesos biogeoquímicos que se dan en lagos (Steinberg 2005). La materia orgánica se acumula en los sedimentos (particularmente en el fango que se forma en períodos de aguas bajas), donde quedan inmovilizados muchos nutrientes (Tabla 4).

4.4. COMPONENTES MINERALES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA

Los lagos salados son fuentes importantes de sales. En algunos casos estas sales se explotan comercialmente, como por ejemplo en el Gran Lago Salado (Wallace Gwynn 2002). Dada la abundancia de cloruro de sodio y de sulfato de sodio en Mar Chiquita, el Dr. Hermann Frank informaba en 1912 con optimismo: “Córdoba podría ser el centro de una industria química importantísima, que puede hacer independiente del extranjero en la mayor parte de los productos químicos a toda la República” (Frank 1912). Esta propuesta nunca se concretó, debido a la disponibilidad de otros yacimientos de sales más accesibles, particularmente las Salinas Grandes en Córdoba y las Salinas del Bebedero en San Luis.

Otro elemento potencialmente importante en los lagos salados es el litio, de amplia utilización en la industria química. Este elemento se obtiene principalmente de rocas pegmatitas. Sin embargo, en la década de 1960 se descubrió que también podía obtenerse en lagos salados de regiones áridas. En los Estados Unidos se lo obtiene en el lago Searles Lake, en California, y en otros salares del estado de Nevada. La concentración de litio en Mar Chiquita y en el río Dulce fue evaluada por Durigneux (1978). Los resultados sugirieron que no era lo suficientemente significativa como para justificar su explotación.

El bromo y el boro son otros elementos de importancia económica, muy abundantes en algunos lagos salados del mundo, incluyendo lagos de la Puna de Argentina y Bolivia. El único análisis disponible para Mar Chiquita (Frank 1912) indica valores muy bajos.

5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SEDIMENTOS

Aunque la información disponible es fragmentaria, resulta claro que el fondo de la laguna Mar Chiquita no es homogéneo, ya que varía dentro de un amplio rango en cuanto a textura (arenosa, limosa, arcillosa) y consistencia (desde arcilla compacta tipo “tosca”

hasta muy blanda, como el fango negro). Los componentes minerales inorgánicos fueron estudiados en detalle por Martínez (1991) y Martínez *et al.* (1994). En cambio, la información disponible sobre la materia orgánica es muy limitada (Durigneux 1978) (ver capítulo 7). Desde el punto de vista de su origen y composición mineral, los sedimentos de la laguna pueden agruparse en tres tipos básicos: a) los sedimentos lacunares típicos (endogénicos), b) los aportes de los ríos tributarios (detríticos) y c) los originados en suelos inundados recientemente (pedogénicos) (Martínez *et al.* 1994).

5.1. SEDIMENTOS LACUNARES O ENDOGÉNICOS

Predominan en el centro de la laguna, en aquellos lugares donde el fondo estuvo permanentemente bajo agua desde su origen. Se caracterizan por el dominio de arcillas con contenidos relativamente bajos de óxido de sílice y óxido de aluminio, y relativamente altos de óxido de calcio y carbonatos. Un fuerte indicador de que el material estuvo frecuentemente bajo condiciones anóxicas es la abundancia de minerales generados por procesos biogeoquímicos desarrollados *in situ*, particularmente cristales de yeso (sulfato de calcio) en la fracción arena, y calcita (carbonato de calcio) en la fracción arcilla (ver capítulo 3).

5.2. SEDIMENTOS DETRÍTICOS

Proviene del material aportado por los ríos que desaguan en la laguna. Se observan claramente sobre la costa norte, donde predominan depósitos limosos y limo-arenosos correspondientes al abanico aluvial del río Dulce, de muy amplia extensión. También son significativos en el delta de los ríos Primero y Segundo, así como en otros sectores de la costa sur de la laguna, donde se encuentran los sedimentos asociados a antiguas desembocaduras de los ríos Primero y Segundo (Kröhling & Iriondo 1999). En términos históricos, los aportes detríticos fueron mínimos en épocas de aguas bajas y máximos en períodos lluviosos de aguas altas, como el presente (ver capítulo 3).

La mineralogía del material aportado se relaciona con aquella de las cabeceras de los ríos tributarios, en general constituida por cuarzo, vidrios, feldespatos, micas, turmalina y anfíboles. Los sedimentos más gruesos tienden a depositarse en el ingreso de los ríos a la laguna, donde se desarrollan deltas, siendo mayores en el río Dulce y mucho más reducidos en los ríos Primero y Segundo. El resto del material en suspensión corresponde a las partículas de menor tamaño (fracción pelítica y limosa), las cuales constituyen la mayor parte de los sedimentos entrantes, debido a las características de los suelos recorridos por los tributarios y a la muy baja pendiente de la llanura que atraviesan. Además del aporte de minerales, no debe ignorarse el aporte de materia orgánica de estos cursos, el cual tiene gran influencia en la dinámica de la laguna (ver capítulos 7 y 8).

5.3. SEDIMENTOS ALOGÉNICOS

También llamados sedimentos pedogénicos (Martínez *et al.* 1994), dado que provienen de suelos de sitios que fueron inundados por la gran creciente de la laguna que comenzó en la década de 1970. Incluyen suelos generados en salares, bosques, pastizales, etc. La estructura y la composición química original de estos suelos determinan, en gran medida, las características de los sedimentos resultantes. Se caracterizan por un predominio de limos, contenidos relativamente altos de óxido de sílice y óxido de aluminio, bajos niveles de óxido de calcio y carbonatos, y ausencia de cristales de yeso y de calcita (Martínez *et al.* 1994) (ver capítulo 3).

Pueden verse ejemplos de sedimentos alogénicos en áreas inundadas en la costa sur de la laguna. En otra escala de tiempo, también se aprecian en el sector sudoeste de la laguna sedimentos arenosos finos y medios, los cuales conservan la morfología de médanos correspondiente a diferentes ciclos áridos del cuaternario (Kröhling & Iriondo 1999) (ver capítulo 3).

En la Tabla 4 se indican valores promedio de las características químicas de los sedimentos de la laguna

en diferentes épocas. Al tratarse de medias, no reflejan las grandes diferencias que pueden darse según los distintos sustratos que se han mencionado.

5.4. EL FANGO DE MAR CHIQUITA

El fango de la laguna Mar Chiquita es una característica distintiva. Seckt (1945) describe al fango que cubre el fondo de la Mar Chiquita como “barro negro brillante”, que tiene una apariencia de alquitrán, con consistencia blanda y jabonosa. Señala, además, que en contacto con el aire se pone duro desde la superficie, perdiendo al mismo tiempo su color negro y tornándose poco a poco gris oscuro, luego gris azulado y, finalmente, gris claro. Nota un fuerte olor a ácido sulfhídrico en el fango fresco, indicador de la existencia de bacterias que metabolizan azufre (ver capítulos 7 y 8). De acuerdo con Durigneaux (1978), los fangos de Mar Chiquita se componen de arcilla plástica negra azulada, muy homogénea, capaz de pasar, en gran parte, por los filtros más finos y con marcado carácter coloidal. Tiene fuerte olor a sulfuro de hidrógeno (H_2S) (similar al olor de huevos podridos), pH neutro y una proporción elevada de hierro y materia orgánica (Tabla 4).

El fango de Mar Chiquita corresponde al tipo de sedimento conocido genéricamente como “sapropel” (sedimentos de lagos), rico en materia orgánica (puede alcanzar más del 20% del peso). Se origina en sedimentos sujetos a períodos prolongados de anoxia. En estas condiciones, la descomposición de la materia orgánica se hace más lenta, con predominio de la oxidación bacteriana anaeróbica que produce sulfuro de hidrógeno (ver capítulos 7 y 8). El azufre reducido tiende a combinarse con el hierro, dando sulfuro de hierro (tanto férrico como ferroso), responsable del fuerte color negro característico del fango húmedo, que pasa a gris cuando se seca.

La producción de fango es un fenómeno común en los lagos salados, donde se le suele atribuir propiedades curativas (ver cuadro). Se considera que este material puede haber intervenido en la formación del petróleo a lo largo de tiempos geológicos, tal como se ha obser-

vado en los asfaltos del Mar Muerto (Hammer 1986). Para su formación, se requiere: a) alta disponibilidad de materia orgánica, b) condiciones de anoxia favorecida por la alta salinidad y c) alta disponibilidad de azufre y de hierro. Todas estas condiciones se dan en Mar Chiquita, especialmente en la cercanía de las desembocaduras de los ríos tributarios, donde hay un gran aporte de materia orgánica. Esto coincide con el hecho de que Durigneaux (1978) encontró mayor desarrollo de fangos en muestras tomadas en las cercanías de Miramar y en la desembocadura del río Dulce.

Una característica importante del fango es su consistencia gelatinosa. Esta propiedad se relaciona con el hecho de que la mayoría de las bacterias asociadas a la formación de fangos en lagos salinos presentan adaptaciones particulares para resistir muy altos tenores de sal. Una de las más notables es la formación de cápsulas de sustancias gelatinosas que las envuelven, las que, a su vez, le dan una consistencia particular al fango. Seckt (1945) denomina a esta sustancia “zooglea” (de zoo, animal y glea, gelatina). En los productos comerciales actuales derivados del barro, suele utilizarse el término “glea” o “bioglea” para referirse a este componente (ver capítulo 7).

En épocas de aguas bajas, los fangos de Mar Chiquita alcanzaban un desarrollo muy importante, con una profundidad superior a un metro en algunos sitios. Al caer el tenor de sal por la crecida de las aguas (fines de la década de 1970), el barro desapareció en gran medida, probablemente debido a que la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua menos salina permitió la oxidación de sus componentes.

5.5. INTERACCIÓN AGUA-SEDIMENTOS EN LA CONCENTRACIÓN DE SALES

Un proceso dinámico muy importante en lagos salados como Mar Chiquita es la interacción entre la fracción de sales disueltas en el agua y la que se encuentra precipitada en los sedimentos. Dado que las diversas sales tienen diferente solubilidad, cada una de ellas

alcanza el punto de saturación a distintas concentraciones. Como consecuencia, se desarrollan complejas relaciones de equilibrio.

Por ejemplo, en Mar Chiquita se observa que la relación cloruro/sulfato del agua cambia en función de la salinidad total del agua. Cuando la salinidad aumenta, se alcanza un punto en el que el tenor de sulfatos no se incrementa más, mientras que los cloruros continúan elevándose. Esto se debe a que los sulfatos han alcanzado el punto de saturación, ya que son mucho menos solubles que los cloruros. A partir de este punto, el exceso de sulfatos precipita en forma de sales, particularmente yeso (sulfato de calcio), formándose cristales que se acumulan en el sedimento. Dicho de otra forma, mientras más alta es la salinidad, la proporción de sulfatos en relación con los cloruros disminuye. Por el contrario, cuando el volumen de agua aumenta, grandes cantidades de sulfatos precipitados en los sedimentos se redisuelven, lo que produce un aumento de la proporción de sulfatos en el agua. Por ejemplo, las mediciones realizadas en Mar Chiquita indicaron que la cantidad de cloruros disueltos en el agua era alrededor de tres veces mayor cuando la sa-

linidad del agua estaba entre 28 g/L y 79 g/L. Sin embargo, con salinidad de 280 g/L, los cloruros eran cinco veces más abundantes que los sulfatos (datos de Martínez 1991).

Asimismo, la solubilidad de los sulfatos disminuye cuando decrece la temperatura del agua, mientras que la solubilidad de los cloruros permanece casi constante. Esto explica que en períodos de alta salinidad (aguas bajas) y en días fríos de invierno, en Mar Chiquita era posible observar acumulaciones considerables de sulfato de sodio (sal de Grauber) sobre la playa, llamada “sal de invierno” por los pobladores. Este fenómeno fue descrito por el Dr. Hermann Frank, quien ilustró su informe de viaje realizado en el invierno de 1911 con una fotografía muy interesante de este fenómeno tomada en las playas de Miramar (Frank 1912).

Otras reacciones de interacción química entre sedimentos y agua de importancia incluyen la precipitación y dilución de carbonatos, fosfatos, y sulfuro de hierro, las cuales se analizan en detalle en el capítulo 8.

Propiedades terapéuticas del fango

A los fangos de los lagos salados (sobre todo del Mar Muerto) se les atribuyen propiedades terapéuticas. En general, se acepta que los sulfuros tienen poder desinfectante. Históricamente, los barros de los lagos salados del mundo fueron utilizados con fines curativos, particularmente para tratar la artritis y problemas de la piel. El fango negro del Mar Muerto es muy promocionado como máscara facial y como curativo de la piel desde tiempos remotos. Sus propiedades terapéuticas son mencionadas en la Biblia y fueron asociadas con personajes famosos, tales como el Rey Herodes y Cleopatra (Oren 2002). Es en el Mar Muerto donde más se desarrolló la investigación científica al respecto (Sukenik et al. 1990; Even-Paz 1996; Oumeish 1996). El fango de Mar Chiquita también es muy popular en balneoterapia, lo cual ha promovido un importante turismo de salud (Torres 1943; Salvetti 1992). La disponibilidad de fango está asociada a períodos de bajos niveles y alta salinidad del agua, condiciones que, como hemos visto, favorecen su formación.



Gentileza Museo Fotográfico de Miramar.

6. HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE MAR CHIQUITA

De acuerdo con el extenso muestreo realizado por Martínez (1991), la composición química de la laguna Mar Chiquita es, en general, muy homogénea, con excepción de las siguientes áreas: a) el delta del río Dulce, b) el delta del río Segundo, c) la laguna del Plata y d) el extremo noroeste de la laguna. Las imágenes satelitales (ver capítulos 1 y 6) revelan una heterogeneidad espacial notable en su coloración, lo cual está probablemente asociado a diferencias en la salinidad del agua, la materia en suspensión, la concentración de plancton, etc.

Laguna del Plata: este cuerpo de agua se caracteriza por recibir el agua dulce del río Primero y también por un relativo aislamiento del lago principal, con el cual se comunica sólo en períodos de aguas altas. En función de estos factores, las condiciones fisicoquímicas de la Laguna del Plata variaron en forma marcada a lo largo de la historia geológica de Mar Chiquita (ver capítulo 3). En 1986 tenía una salinidad algo menor a la del cuerpo principal de Mar Chiquita, así como concentraciones menores de sodio, potasio, magnesio y calcio, mientras que los valores de sulfato no diferían del agua del cuerpo principal, probablemente debido a los altos contenidos de estos compuestos en el agua que aporta el río Primero (Martínez 1991).

Deltas de los ríos tributarios: el delta del río Dulce hace aportes muy importantes de agua dulce, sedimentos y materia en suspensión a la laguna. Lo mismo ocurre, aunque en menor medida, en la desembocadura del río Segundo y, ocasionalmente, en la cañada de Chipión, donde desemboca el arroyo del Saladillo, antiguo curso del río Segundo. Debido al material en suspensión, el agua aportada por los ríos tributarios suele tener una coloración diferente del resto de la laguna, perceptible en las imágenes satelitales (ver capítulos 1 y 6).

El material transportado se va depositando en forma selectiva a medida que el agua dulce se adentra en la laguna, lo que genera un gran abanico de transición, tanto en la salinidad del agua como en las caracterís-

ticas de los sedimentos. Al alejarnos de la boca del río, la salinidad del agua se incrementa y los sedimentos se van depositando en función del tamaño de sus partículas, desde las más gruesas hasta las más finas (arena, limo y arcilla, en ese orden). La deposición de sedimentos puede ser menos gradual que lo esperable, debido a que la mezcla del agua dulce y salada provoca la floculación del material en suspensión, a causa de cambios en las cargas eléctricas de las partículas. Este proceso no ha sido estudiado en Mar Chiquita, aunque es bien conocido en los estuarios marinos (Hammer 1986). Dada la menor densidad del agua dulce entrante, es posible que en ciertas circunstancias –particularmente con ausencia de vientos– el agua dulce “flote” sobre la masa de agua salada más densa, expandiéndose y creando una variación vertical temporaria de salinidad.

Además de sustancias inorgánicas, los ríos tributarios aportan una cantidad considerable de materia orgánica en forma de detritos animales y vegetales. En una medición realizada en el área de influencia del delta del río Dulce se encontró un alto contenido de amonio y un pH más bajo, lo que sugiere la presencia de materia orgánica aportada por el río (ver capítulo 7). El aporte de materia orgánica incluye también la entrada de peces que mueren al tomar contacto con el agua salada. Desde el aire, es muy frecuente observar garzas aprovechando este recurso, distribuidas en un amplio arco que rodea la desembocadura del río Dulce.

Porción noroeste de Mar Chiquita: el sector situado en el extremo noroeste de la laguna es un área con aguas someras, relativamente aislada del cuerpo principal. Este sector fue cubierto después de la expansión resultante del marcado incremento de nivel de la década de 1970, el cual cubrió una amplia playa salina (saladillo) ubicada en un antiguo cauce del río Dulce. La disolución de esta capa salina preexistente llevó al desarrollo de una salmuera, facilitada por la ausencia de aportes fluviales en el lugar y por la alta evaporación de las aguas muy someras (Martínez 1991). Es posible que esta masa más salada (y por

consiguiente más densa) pueda extenderse ocasionalmente hacia el este por el fondo de la laguna, lo que explicaría el hecho que Martínez (1991) detectara sitios donde la salinidad en la superficie era levemente inferior a la del fondo. Por ejemplo, en 1986, el agua de este sector alcanzaba una salinidad de entre 44 y 47 g/L, mientras que en el resto de la laguna no superaba los 36 g/L (Martínez 1991).

7. LAGUNAS DE LOS BAÑADOS DEL RÍO DULCE

En el área de los Bañados del río Dulce hay un número considerable de lagunas temporarias y permanentes, que constituyen un elemento conspicuo del paisaje. Estas lagunas constituyen un hábitat muy importante para muchas especies silvestres, además de proveer agua dulce para el ganado y la fauna.

Desde el punto de vista funcional, cabe mencionar al menos dos tipos de lagunas bien diferenciados. El primero corresponde a aquellas lagunas alimentadas por el río Dulce (por ejemplo, la Laguna de Los Porongos), las cuales tienen agua muy poco salada, vegetación costera emergente y peces (ver capítulo 10). Ecológicamente, son similares a las típicas lagunas de agua dulce.

El segundo grupo corresponde a aquellas lagunas aisladas que no reciben aportes del río Dulce, aunque algunas pueden ser alcanzadas por sus inundaciones anuales. Son alimentadas por las lluvias y el agua proveniente de sus pequeñas cuencas. Por lo general no tienen peces. Se encuentran fundamentalmente sobre los bordes este y oeste de los bañados, formando cadenas a lo largo de antiguos cauces (ver capítulo 1). El agua es mucho más salina que la del grupo anterior y en años poco lluviosos pueden secarse completamente, transformándose en salares de variada extensión. Suelen carecer de vegetación costera emergente, así como de peces. Entre las más conspicuas pueden mencionarse la laguna Beltrán, hacia el este, y la laguna Tres Quebrachos, hacia el oeste. Las represas y tajamares construidos por lo ganaderos locales constituyen un grupo particular de pequeños cuerpos

de agua, los cuales son importantes para la fauna local por cuanto también proveen hábitat adecuado y agua dulce a muchas especies.

En síntesis, el conjunto de lagunas naturales y represas artificiales que caracterizan a los bañados del valle del río Dulce constituyen un hábitat complejo y variable que permite la subsistencia de muchas especies de fauna silvestre, particularmente aves acuáticas (ver capítulos 14, 15 y 16).

8. AGUAS SUBTERRÁNEAS

La información disponible sobre las aguas subterráneas en el área de Mar Chiquita y los Bañados del río Dulce es limitada. Las principales contribuciones incluyen el estudio de base de Stappenbeck (1926), la síntesis del área de Vazquez *et al.* (1979) y, fundamentalmente, el estudio regional llevado a cabo por el Convenio Argentino Alemán de Agua Subterránea (CAAAS 1975). También se aporta información original en el estudio realizado por la Comisión de Apoyo al Desarrollo del Noreste de Córdoba (CADNE 1979).

El sistema de las aguas subterráneas de la región de Mar Chiquita se ubica dentro de la gran cuenca Chaco Pampeana, y más específicamente en la unidad Mar Chiquita (Vazquez *et al.* 1979). Las características de las aguas subterráneas de la unidad Mar Chiquita están condicionadas por su estructura y su composición geológica (Stappenbeck 1926).

En rasgos generales, el área de recarga principal de los acuíferos que alimentan Mar Chiquita se sitúa al pie de las sierras de Córdoba, en donde el agua de los cursos que se originan en ellas se infiltra en los gruesos detritos de alta permeabilidad del piedemonte (Fig. 6). El declive progresivo de los sedimentos desde las sierras hacia el este determina el movimiento del agua en esa dirección. Cuando estos acuíferos alcanzan el área de Mar Chiquita se encuentran con el dique natural formado por la falla Tostado-Selva-Melincué, visible en el terreno como un brusco resalto conocido como cuesta de Morteros, Borde de los Al-

tos, o Altos de Mar Chiquita. Este bloque elevado evita el escurrimiento de las aguas de la laguna hacia el este, tanto para el escurrimiento superficial como para las aguas subterráneas.

El endicamiento provocado por la falla Tostado-Selva-Melincué permite que se genere presión positiva en las napas confinadas de la formación Puelches (ver más adelante), aisladas capas de sedimentos impermeables. Esta presión permite la aparición de agua surgente en una amplia región alrededor de la laguna Mar Chiquita (Stappenbeck 1926) (Fig. 6).

Desde el punto de vista geológico, el agua subterránea en la región de Mar Chiquita está asociada a tres formaciones bien diferenciadas: formación Pampeana, formación Puelches y formación Paraná (Vazquez *et al.* 1979). A continuación se describe brevemente cada una de ellas, comenzando por las unidades más modernas ubicadas a menor profundidad (Fig. 6).

Formación Pampeana: (corresponde a los períodos geológicos Pleistoceno medio y Pleistoceno superior) también denominada informalmente como sedimentos Pampeanos. El sedimento está formado por limo arenoso de origen eólico (loess) y fluvial, con abundante plagioclasa, vidrio volcánico y carbonato de calcio. La formación pampeana puede variar entre aproximadamente 80 a 120 m de espesor. Sus aguas son en general salinas y están contaminadas con arsénico y flúor, lo que limita su uso. Sólo la infiltración de agua a lo largo de los sedimentos de los lechos de ríos y arroyos permite la recarga de agua subterránea dulce. La capa de arcilla muy poco permeable que se encuentra en la base de la formación Pampeana aísla las aguas de esta formación de las que se encuentran debajo en la formación Puelches.

Formación Puelches: corresponde a los períodos Plioceno-Pleistoceno. Se trata de un antiguo depósito deltaico en la desembocadura de un río (delta), por lo que el material sedimentario consiste en una serie de arenas finas y limos alternantes de origen en parte marino y en parte fluvial. La formación Puelches contie-

ne el acuífero más importante de la región por su calidad y productividad. Tiene un espesor de entre 50 y 80 m. Como se indica previamente, esta formación está cubierta por una capa de arcilla poco permeable que la separa de la más reciente formación Pampeana.

El agua del acuífero de la formación Puelches es generada al pie de las sierras de Córdoba, por lo que en general es de buena calidad. Se lo considera un acuífero confinado debido a que la napa está aislada por encima y por debajo por capas impermeables. El sentido general del flujo de agua es de oeste a este. A medida que avanza hacia el este se va cargando de sales provenientes de los terrenos que atraviesa. Esto se evidencia en el hecho de que las poblaciones entre Villa del Totoral y Balnearia tienen sistemas de agua potable obtenida desde perforaciones pero, a partir de Balnearia, la disponibilidad de agua subterránea de buena calidad se hace cada vez menor debido a su creciente salinidad.

Formación Paraná: se origina en una gran transgresión marina que tuvo lugar en el Mioceno superior y que abarcó desde el noreste de la Patagonia hasta el Paraguay, conocida como “Mar Entrerriano”. Se caracteriza por sedimentos arcillo-limosos cementados por carbonatos, con lentes de arena y grava. El espesor varía entre 100 y 400 m. La formación Paraná es equivalente a la formación Santiago Temple en Córdoba, las que se van intergradando (CAAAS 1975). La extracción de agua de este acuífero está limitada por la gran profundidad a la que se encuentra y la alta mineralización de sus aguas.

8.1. APOORTE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA LAGUNA

La limitada información disponible indica que el aporte del agua subterránea a la laguna Mar Chiquita es muy poco significativo. En el área sur de la laguna el agua freática drena hacia la laguna ya sea en forma directa o hacia los cauces naturales o artificiales que fluyen hacia ella. Estos aportes son función de la lluvia en el área, los caudales aportados por los ríos tributarios, la pendiente y la granulometría edáfica.

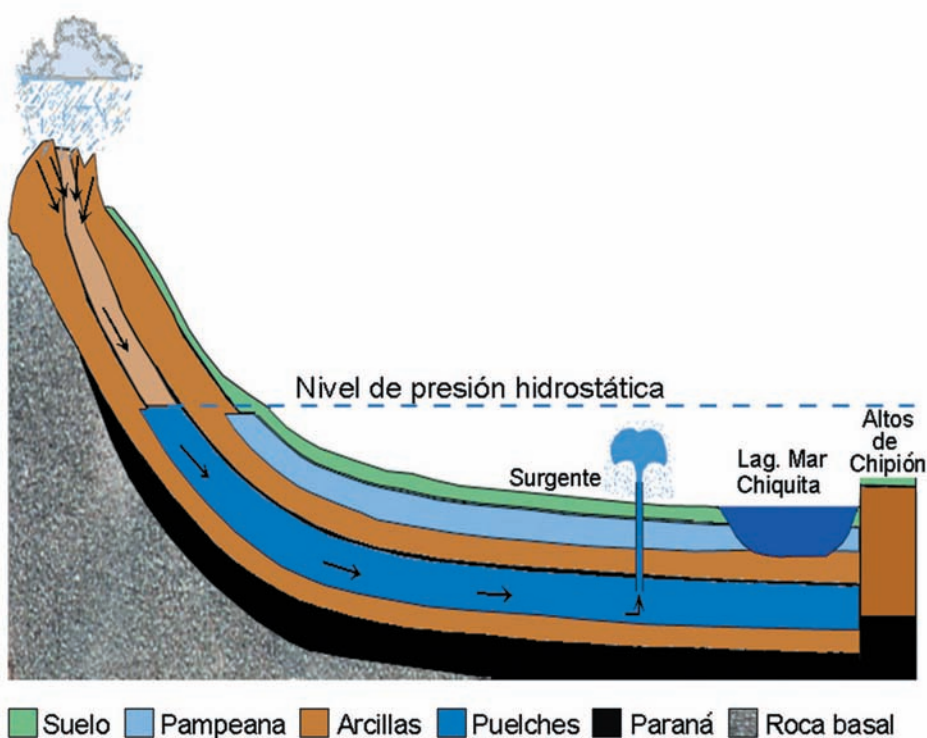


Figura 6. Corte esquemático e idealizado (no a escala) de las aguas subterráneas en la costa sur de Mar Chiquita. La napa superior (formación Pampeana) no está aislada de la superficie y aflora en las áreas deprimidas de los bañados en periodos lluviosos. Generalmente es salina y no útil para el consumo. La formación Puelches alberga napas confinadas, aisladas por capas de arcilla impermeable. Las napas de esta formación se alimentan del agua de lluvia que se infiltra en las Sierras de Córdoba. La falla Tostado-Selva actúa como un dique para los acuíferos, por lo cual el agua acumulada (nivel indicado con línea de puntos en el dibujo) genera presión hidrostática en el área de Mar Chiquita, lo que explica los pozos surgentes comunes en la región. Por debajo de la formación Puelches, se encuentra la formación Paraná, de origen marino y de agua generalmente salobre.

Dado que en los suelos del área predomina el material fino, los aportes no pueden ser importantes (Reyna 2000).

Otro elemento de juicio que apoya esta conclusión está dado por los estudios de la composición isotópica del agua de la laguna Mar Chiquita realizados por Dapeña *et al.* (1997). En ellos se concluye que no hay indicación de aportes del agua subterránea (ver también capítulo 3).

8.2. BAÑADOS DEL RÍO DULCE

En los bañados se aprecian dos horizontes de acuíferos con muy distinto contenido salino: el superior y el inferior. El superior, de menor salinidad, se encuentra muchas veces a nivel de superficie, dado que los suelos están saturados. Aunque existe muy poca investigación al respecto, es indudable que las inundaciones periódicas del río Dulce tienen una gran influencia en el volumen y la salinidad de este horizonte.

BIBLIOGRAFÍA

- BERTOLDI DE POMAR H. (1953). Contribución al conocimiento del origen de la laguna Mar Chiquita de la Provincia de Córdoba. Tesis doctoral. *Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Córdoba.
- BRACKEBUSCH L. (1891). Mapa Geológico del Interior de la República Argentina. *Instituto Geográfico de Hellfarth*, Göttingen, Alemania.
- CAAAS (1975). Recursos de Agua Subterránea y su Aprovechamiento en la Llanura Pampeana y en el Valle del Conlara. Tomos I y II. *Convenio Argentino Alemán de Agua Subterránea (CAAAS)*. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (Bs.As., Argentina), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (Hannover, R. F. de Alemania).
- CADNE (1979). Laguna Mar Chiquita (Mar de Ansenúza). *Gobierno de Córdoba. Comisión de Apoyo al Desarrollo del Noroeste*, Córdoba, Argentina.
- CRAIG V.S.J., NINHAM B.W. & PASHLEY R.M. (1993). The Effect of Electrolytes on Bubble Coalescence in Water. *Journal of Physical Chemistry*, 97:10192-10197.
- CRAIG V.S.L. (2004). Bubble coalescence and specific ion effects. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9:178-184.
- DAPEÑA C., Panarello H. & Nicolli H.B. (1997). Environmental isotope balance of Laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. SSAGI (South American Symposium on Isotope Geology. Campos de Jordão, Sao Paulo, Brasil.
- DE BILLERBERCK M.A. (1979). Comentarios sobre aspectos microbiológicos de los estudios hidrobiológicos de la Mar Chiquita. En: Laguna Mar Chiquita (Mar de Ansenúza) (ed. Comisión de Apoyo al Desarrollo del Noroeste), pp. Anexo 10:1-7. *Gobierno de la provincia de Córdoba*, Córdoba, Argentina.
- DE CHAPEAUROUGE C. (1901). Atlas Catastral de la República Argentina. *Oficina Cartográfica de Pablo Ludwig*, Buenos Aires.
- DURIGNEUX J. (1978). Composición Química de las Aguas y Barros de la Laguna Mar Chiquita en la Provincia de Córdoba. *Miscelánea, Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, Argentina)*, 59:3-12.
- EVEN-PAZ Z. (1996). Dermatology at the Dead Sea spas. *Israel Journal of Medicine Science*, 32:11-15.
- FRANCO G. (1996). Mar Chiquita. Fantasmas de agua salada. *Aquí Vivimos*. Septiembre:52-59.
- FRANK H. (1912). Contribución al conocimiento de la Mar Chiquita. *Boletín del Departamento General de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba*, 6:87-101.
- FRANK H. (1915). Contribución al conocimiento de las Salinas Grandes y la Mar Chiquita de la provincia de Córdoba. *Revista Centro de Estudiantes de Ingeniería*, 3 (15): 91-107.
- FRENGUELLI J. & DE APARICIO F. (1932). Excursión a la Laguna de Mar Chiquita (Provincia de Córdoba). *Publicaciones del Museo Antropológico y Etnográfico de la Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires, Serie A*, 2:121-147.
- GRUMBKOW J.B. (1890). Exploración de Mar Chiquita. *Boletín Instituto Geográfico Argentino*, II (4-5-6):113-115.
- GUIÑAZÚ N. (1949). *Artemia salina* en Mar Chiquita. Tesis Doctoral. *Universidad Nacional de Córdoba*, Córdoba.
- HAMMER U.T. (1986). Saline Lake Ecosystems of the World. *Dr. W. Junk Publishers*, Boston.
- IMBODEN D.M. (1990). Mixing and Transport in Lakes. En: Large Lakes: Ecological Structure and Function (eds. Tilzer M.M. & Serruya C.), pp. 150-222. *Springer Verlag*, Berlin.
- KANTER H. (1935). La Cuenca Cerrada de la Mar Chiquita en el Norte de la Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, Argentina)*, 32:285-322.
- KRÖHLING D.M. & IRIONDO M. (1999). Upper Quaternary Palaeoclimates of the Mar Chiquita Area, North Pampa, Argentina. *Quaternary International*, 57/58:149-163.
- MARTÍNEZ D.E. (1991). Caracterización geoquímica de las aguas de la Laguna Mar Chiquita, provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. *Universidad Nacional de Córdoba*, Córdoba.
- MARTÍNEZ D.E. (1995). Changes in the Ionic Composition of a Saline Lake, Mar Chiquita, Province of Córdoba, Argentina. *International Journal of Salt Lake Research*, 4:25-44.
- MARTÍNEZ D.E., GÓMEZ PERAL M.A. & MAGGI J. (1994). Caracterización Geoquímica y Sedimentológica de los Fangos de la Laguna Mar Chiquita, Provincia de Córdoba: Aplicación del Análisis Multivariante. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49:26-38.
- MIRETZKY P. & FERNÁNDEZ CIRELLI A. (2004). Silica dynamics in a pampean lake (Lake Chascomús, Argentina). *Chemical Geology*, 203:109-122.
- NINCI C. (1929). Los Bañados de 'El Tío'. En: Memoria. Mayo de 1928-Mayo de 1929 (ed. Fuchs G.), pp. 11-33. *Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Córdoba*, Córdoba (RA).
- OREN A. (2002). Halophilic Microorganisms and their Environments. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.
- OUMEISH O.Y. (1996). Climatotherapy at the Dead Sea in Jordan. *Clinical Dermatology*. 14: 659-664.
- REYNA T. (2000). Funciones hidráulicas en suelos no saturados - Aplicación al loess pampeano. Tesis de Maestría. *Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Córdoba.
- SAGRETTI L. & BISTONI M.A. (2001). Alimentación de *Odontesthes bonariensis* en la laguna salada de Mar Chiquita (Córdoba, Argentina). *Gayana*, 65:37-42.

- SALVETTI H. (1992). Estudio Físico y Químico del Fango (Bioglea) de la Laguna Mar Chiquita. Principios Crenoterápicos. *Comunicaciones del Museo de la Región de Ansenusa*, Octubre: 1-15.
- SECKT H. (1945). Estudios hidrobiológicos hechos en la Mar Chiquita. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, Argentina)*, 37:279-309.
- SOLDANO F.A. (1947). Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. Parte II. Ríos de la región árida y de la meseta patagónica. *Editorial Cibera*, Buenos Aires.
- STAPPENBECK R. (1926). Geología y aguas subterráneas de la Pampa. 1970 edn. *Editorial Pangea*, Córdoba.
- STEINBERG C.E. (2005). Regulatory Impacts of Humic Substances in Lakes. En: *The Lakes Handbook. Volume 1. Limnology and Limnetic Ecology* (eds. O'Sullivan P.E. & Reynolds C.S.). *Blackwell*, Oxford.
- SUKENIK S., BUSKILA D., NEUMANN L., KLEINER-BAUMGARTNER A., ZIMLICHMAN S. & HOROWITZ J. (1990). Sulphur bath and mud pack treatment for rheumatoid arthritis at the Dead Sea area. *Annals of Rheumatic Diseases*, 49: 99-102.
- TORRES F.R. (1943). Mar Chiquita (Miramar, provincia de Córdoba): la terapia climatoterma y las curaciones obtenidas. *La Semana Médica, Buenos Aires*, 43:4-12.
- VAZQUEZ J.B., LÓPEZ ROBLES A. & SOSA D.F. (1979). Aguas. En: *Geografía Física de la Provincia de Córdoba* (eds. Vázquez J.B., Miatello R.A. & Roque M.E.), pp. 139-211. *Editorial Boldt*, Córdoba.
- WALLACE GWYNN J. (ed.) (2002). Great Salt Lake. An overview of change. *Utah Geological Survey*, Salt Lake City.
- WALLACE GWYNN J. (2004). What causes the foam on Great Salt Lake? Página Web: <http://geology.utah.gov/survey-notes/gladasked/gladfoam.htm>. Fecha de acceso: Noviembre 12, 2005.

