

EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE SALMUERAS EN LAGOS PLAYA:
LAS LAGUNAS ENDORREICAS MANCHEGAS.

S. Sánchez-Moral(1), S. Ordóñez(2), M. A. García del Cura(3) y E. Rodríguez Badiola(1)

(1) Museo Nacional de Historia Natural. C.S.I.C.

(2) Facultad de Geología. UCM. 28040-Madrid.

(3) Instituto de Geología Económica. C.S.I.C.- UCM. 28040-Madrid.

RESUMEN

Las condiciones climáticas de la zona manchega, unidas a una topografía prácticamente plana, juegan un importante papel en el balance hídrico anual de estas lagunas y por tanto en la génesis de evaporitas que se produce en la época estival a partir de las salmueras.

El objeto de este trabajo consiste en intentar relacionar la precipitación de las fases salinas, con los cambios que se producen en los parámetros físico-químicos de la salmuera en el momento de la precipitación de las fases salinas.

Para llevar a cabo el seguimiento de los parámetros físicos de la salmuera, durante el proceso de concentración por evaporación y precipitación de salmueras, se instalaron dos bidones metálicos enterrados en los depósitos lacustres que forman el sustrato de la LAGUNA GRANDE DE QUERO.

Teniendo en cuenta los resultados experimentales, se pueden distinguir dos fases bien diferenciadas en la evolución de los parámetros físicos de la salmuera, una en la que coherentemente la altura de lámina de agua y concentración-densidad están relacionadas negativamente, y otra en la que la concentración-densidad presenta pequeñas oscilaciones, mientras que la altura de la lámina de agua desciende de forma continua.

Los resultados de la investigación permiten demostrar que en la altura de la lámina de agua, en los lagos playa con elevadas concentraciones, influye la actuación simultánea de varios factores: balance de agua de cristalización, condensación de vapor de agua, y evaporación del agua líquida.

ABSTRACT

The topographic and climatic conditions of the La Mancha zone, may envisaged as the main factors to explain the hidrological annual balance and the summer saline sedimentation.

The physical-chemistry parameters change of the brine related with saline fases sedimentation is the main aims of this paper.

The experimental data has been obtained from a scale model, that basically are two oil drums buried in the playa of the Quero lake. Drums has been filled with brine from the playa lake. A daily monitoring of temperature, concentration, density, mineralogical nature of brine-air saline precipitation, depth of brine lámina, have been recorded.

A "stagnant" period has been identified in the relation between brine density and time; while the brine lamina depth fall continuously, the brine density remained almost constant. The stagnant period continue during ten days.

The experimental data allow us point out that the brine lamina depth in the higher concentration saline ponds may be related with, the water crystallization balance of saline minerals and their transformation reactions, the atmospheric moisture absorbed by higroscopic brine, and of course brine evaporation.

1. INTRODUCCION

Dentro de la región manchega (Comunidad de Castilla-La Mancha), y como consecuencia del desarrollo de fenómenos endorreicos locales, existe un conjunto de lagunas, muchas de las cuales presentan un marcado carácter salino y pueden ser consideradas por su régimen de funcionamiento como lagos playa.

Las condiciones climáticas de la zona, unidas a una topografía prácticamente plana, juegan un importante papel en el balance hídrico anual de estas lagunas y por tanto en la génesis de evaporitas que se produce en la época estival a partir de las salmueras. La temperatura media anual es de 14.4°C y las precipitaciones no superan los 400 mm/año, según datos de la estación de Villafranca de los Caballeros (Toledo). A partir de los datos de la ficha hídrica confeccionada para esta zona, se concluye que los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre constituyen el periodo de desecación de las lagunas, debido a la intensa evaporación en las lagunas, y a la ausencia de agua en los suelos de la cuenca hidrográfica de las lagunas. esta etapa coincide por tanto con el momento de máxima precipitación de fases salinas.

El objeto de este trabajo consiste en intentar relacionar la precipitación de las fases salinas, con los cambios que se producen en los parámetros físico-químicos de la salmuera en el momento de la precipitación. Esta relación se ha podido establecer usando un modelo experimental, sobre el cual se han ido midiendo una serie de parametros físico-químicos de las salmueras, a la vez que se controlaban. Para la investigación, se escogió la LAGUNA GRANDE DE QUERO situada en el SE de la provincia de Toledo, muy próxima al límite con la provincia de Ciudad Real, cuyas características geomorfológicas se describen en SANCHEZ MORAL et al (en prensa). La composición media de sus aguas salmueras en el momento de máxima dilución es SULFATADA (26%) - MAGNESICA (35%) - CLORURADA (24%) - SODICA (14%). En Ordoñez et al. (en prensa) se proporcionan datos más precisos sobre la hidroquímica de esta laguna.

La secuencia teórica de precipitación obtenida a partir de la citada composición de las salmueras, y usando los diagramas de Valyaskho, es la siguiente: (CALCITA-YESO) - BLOEDITA - BLOEDITA+HALITA - BLOEDITA+HALITA+EPSOMITA - HALITA+EPSOMITA - HALITA+SO₄Mg.n H₂O +BISCHOFITA, Ordoñez et al. (en prensa).

Como veremos más adelante, la secuencia obtenida en el modelo

experimental desarrollado en este trabajo, es coherente con esta secuencia teórica. Sin embargo, se ha observado que la precipitación de sales produce variaciones significativas en los parámetros físicos de las salmueras: concentración, densidad, temperatura y distribución de la misma dentro de la salmuera, así como en la altura de la lámina de agua. El objeto de esta comunicación es estudiar estas variaciones, así como dar una interpretación fisicoquímica de las mismas, en un intento de establecer la influencia que estas variaciones pudieran tener sobre los modelos de precipitación de evaporitas en lagos playa.

2. METODOLOGIA

Para llevar a cabo el seguimiento de los parámetros físicos de la salmuera, durante el proceso de concentración por evaporación y precipitación de salmueras, se instalaron dos bidones metálicos enterrados en los depósitos lacustres que forman el sustrato de la LAGUNA GRANDE DE QUERO, a una distancia del borde del agua de unos 5 a 6 metros (Fig. 1). Estos bidones se rellenaron con salmuera procedente de la laguna, hasta conseguir un espesor de salmuera similar a la de la laguna en el momento del experimento (21cm). De este modo se intentaban simular de forma aproximada, las condiciones ambientales en las que se produce el proceso natural de evaporación-concentración de la salmuera. Uno de los bidones, el B, funcionó de forma fortuita como sistema abierto en las etapas iniciales del experimento, hecho que puede explicar cierta disparidad en el comportamiento de uno y otro bidón.

El día 10 de Agosto de 1989 comenzó el seguimiento de dicho proceso, que consistía en la medición diaria de los siguientes parámetros físico-químicos: concentración en Cl₂Mg (g/l), densidad (mg/cm³), altura de la lámina de agua (cm) y temperatura del agua en superficie (T_s) y fondo (T_f) de los bidones (°C), fig.1. La obtención de datos se realizó 2 veces al día, una por la mañana (12:00 h) y otra por la tarde (20:00 h). Así mismo y con la misma periodicidad, en su caso, se muestreaban las fases salinas en el momento de la precipitación en la interfase salmuera-aire.

El seguimiento del proceso de evaporación concluyó el día 1 de Septiembre, debido a que las fuertes lluvias caídas durante la noche, que inundaron los bidones, aconsejaban la suspensión de la toma de datos.

3. RESULTADOS

La representación gráfica de los datos obtenidos se ha hecho a partir de las mediciones realizadas por las tardes. En la fig. 2, se han representado la variación de la concentración en Cl₂Mg de la salmuera en función del tiempo (en días), indicándose asimismo las fechas en las se produjo la precipitación de sales en la interfase salmuera-aire, así como la naturaleza de las fases salinas presentes, identificadas en equilibrio con salmuera, mediante D.R.X.. En esta figura se ha representado así mismo, la variación de la temperatura entre la superficie y el fondo de la salmuera ($T = T_s - T_f$). Un importante resultado de las observaciones realizadas, es el calentamiento diferencial de la salmuera de

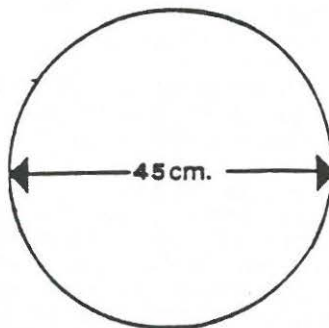
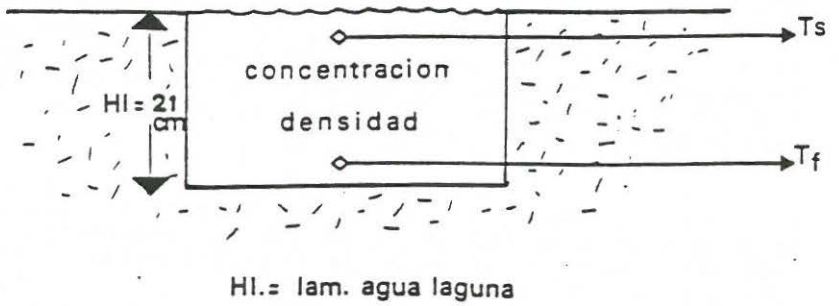
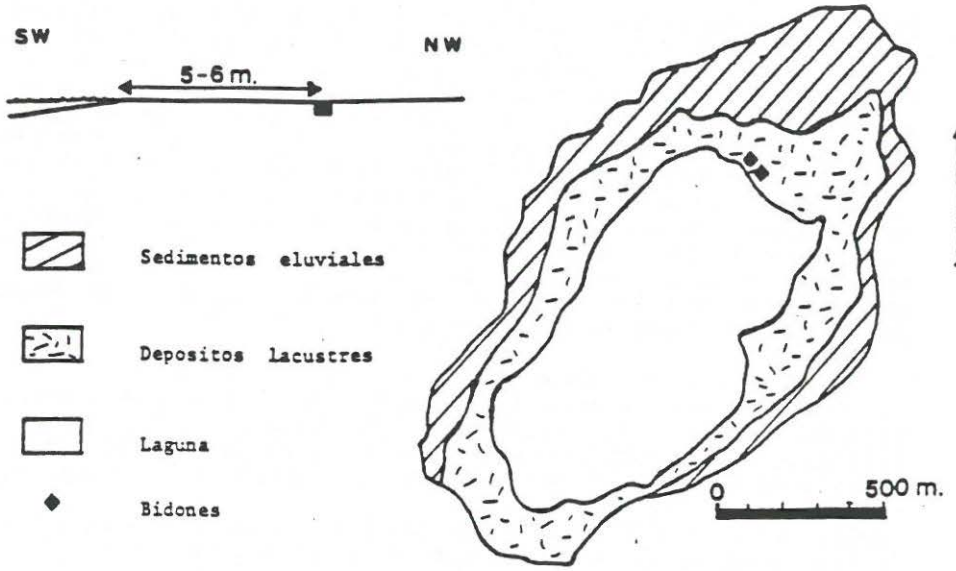


Fig. 1

incapaz de compensar el incremento de la relación $a_{\text{Mg}}/(a_{\text{Na}})^2$, la fase estable vuelve a ser probablemente epsomita o otras fases hidratadas de los sulfatos de magnesio. Si se tiene en cuenta los volúmenes molares de las fases presentes por cada cm^3 de epsomita, se generan $0,51 \text{ cm}^3$ de bloedita, y $0,61 \text{ cm}^3$ de agua. El volumen del depósito salino decrece, el volumen de agua aportado al sistema es muy importante, del mismo orden que la pérdida de volumen del depósito salino, pero la concentración y la densidad de la salmuera disminuye, aunque esta disminución se compensa con el aumento de la concentración del ion magnesio, a medida que progresa la reacción, así como con las pérdidas absolutas por evaporación. Los datos para el cálculo de los volúmenes molares han sido obtenidos de Braitsch (1971).

Cuando la reacción anteriormente citada se invierte, junto con las pérdidas por evaporación de agua, se produce una importante pérdida relacionada con la incorporación de agua de cristalización a las fases minerales, en el caso de la epsomita, hasta $0,86 \text{ cm}$ de agua por cada cm de espesor de fase salina, y valores semejantes en el caso de la BISCHOFITA ($\text{Cl}_2\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$). A partir de la inversión el gradiente de concentraciones y altura de lámina de agua presentan una relación coherente.

En este sentido se debe señalar que en las soluciones concentradas, debe tenerse en cuenta la fase vapor de agua, a los efectos de cuantificar la altura de la lámina de agua. Ya que, para humedades relativas en la atmósfera mayores a las que corresponden al equilibrio de agua-vapor de agua-salmuera saturada en sales delicuescentes, como p.e. la bischofita, se produce una condensación de vapor de agua atmosférico sobre la laguna, Sonnenfeld y Perthuisot (1989). Pero además el grado de saturación en vapor agua en la atmósfera, no varía solo con las condiciones climáticas, sino también con las variaciones térmicas diurnas-nocturnas, por lo que este efecto puede presentar variaciones diarias.

Por las razones anteriormente apuntadas, la altura de la lámina de agua en los lagos playa, a altas concentraciones varía, no sólo con la evaporación, sino con la interacción de varios factores: balance de agua de cristalización, tanto en las precipitación incongruente de sales, como en la precipitación congruente y procesos de efluencia o deshidratación; condensación de vapor de agua, y coherentemente delicuescencia de fases salinas; y evaporación de agua líquida, como fenómeno relacionado con la humedad relativa del aire, la renovación de la masa de aire situada sobre el lago y la temperatura.

Por otra parte, estructuras poligonales de retracción identificadas en las lagunas pueden ser interpretadas en base a la reacción de transformación epsomita-bloedita. La importante disminución del volumen molar en esta transformación, puede justificar la génesis de grietas de retracción cuando las salmueras cubren el sedimento. Y que no podrían interpretarse de modo alguno como grietas de desecación. Estas grietas de retracción cuando la reacción de transformación se invierte, y el volumen molar de las fases salinas aumenta, pueden ser las zonas débiles a partir de las cuales se generen las estructuras "tepee", también muy comunes en las fases de evaporación a

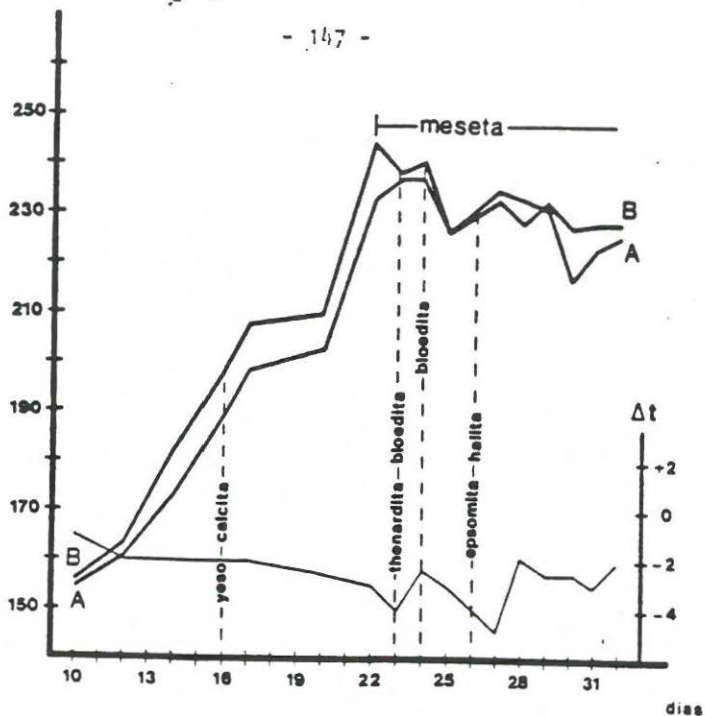


Fig. 2

densidad en mg/cm^3

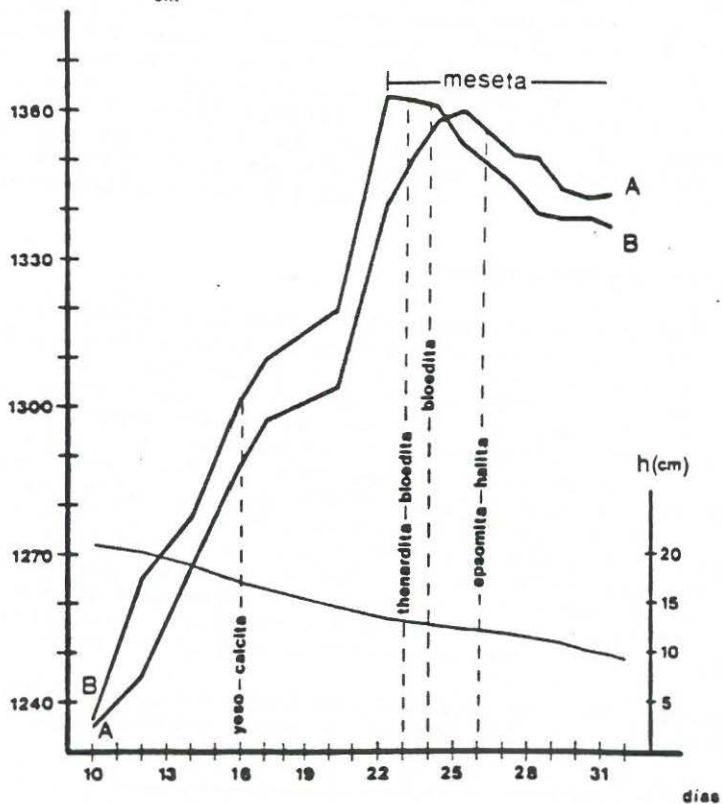


Fig. 3

fondo, simultaneo con las etapas de formación de fases salinas en la interfase salmuera-aire.

Con el mismo criterio, en la fig. 3, se han representado de forma similar la evolución de la densidad de la salmuera en función del tiempo, así como el descenso progresivo de la altura de la lámina de agua (h) durante el proceso de evaporación. De forma análoga se han señalado también los días de precipitación de fases salinas.

Las condiciones climáticas durante el seguimiento del proceso se mostraron bastante homogéneas salvo en el caso de los días 17 y 18 en que se produjeron unas ligeras precipitaciones. La temperatura media fué de 24.7 °C, la humedad relativa del aire del 37% y la velocidad media del viento de 8.2 Km/h. Con estos datos se pudo elaborar un modelo inicial de cuantificación de la evaporación en función de la concentración de la salmuera y de las condiciones climáticas. Este modelo permite estimar razonablemente la evaporación total de la salmuera, partiendo de la fórmula de Meyer y con la corrección de temperatura ambiental y del efecto de la disminución de presión de vapor de agua debido a la salinidad de la salmuera. Basicamente la fórmula utilizada para la estimación de la evaporación (E), en mm/mensuales:

$$E = 0,5 \cdot p_{\text{Lico}} \cdot (1 - u/100) \cdot (18+v).$$

, siendo u y v, respectivamente la humedad relativa del aire y la velocidad media del viento expresada en Km/h. La $p_{\text{H}_2\text{O}}$, se corrige para la temperatura considerada, mediante la ecuación de vaporización de agua líquida. A su vez esta ecuación introduce la actividad agua ($a_{\text{H}_2\text{O}}$), y usando la fórmula de Helgeson (1969), que relaciona este parametro con la concentración de la solución, permite corregir el efecto de la salinidad sobre la presión de vapor de agua. Los resultados de la aplicación de estas consideraciones permitieron estimar una evaporación media en los bidones de 5,6 mm/día, los datos medidos son del orden de 5,5 mm/día.

4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados experimentales, se pueden distinguir dos fases bien diferenciadas en la evolución de los parámetros físicos de la salmuera, una en la que la altura de lámina de agua y concentración-densidad, estan relacionadas negativamente, y otra en la que la concentración-densidad presenta pequeñas oscilaciones, mientras que la altura de la lámina de agua desciende de forma continua. Este estancamiento de las curvas de concentración-densidad, ha sido observado tambien en el medio natural, laguna Grande de Quero, tanto en el año del experimento, fig. 4, como en los años 1986-1988, fig.5. En estos últimos años, a diferencia de las observaciones realizadas en el año 1989, se puede ver como uno quince días, despues de comenzar el periodo de estancamiento, se alcanza de nuevo la coherencia entre concentraciones y evaporación.

De la observación de la fig.2, se puede señalar que desde el día 10 hasta el 22 de Agosto y como consecuencia de la

densidad en mg/cm^3

- 140 -

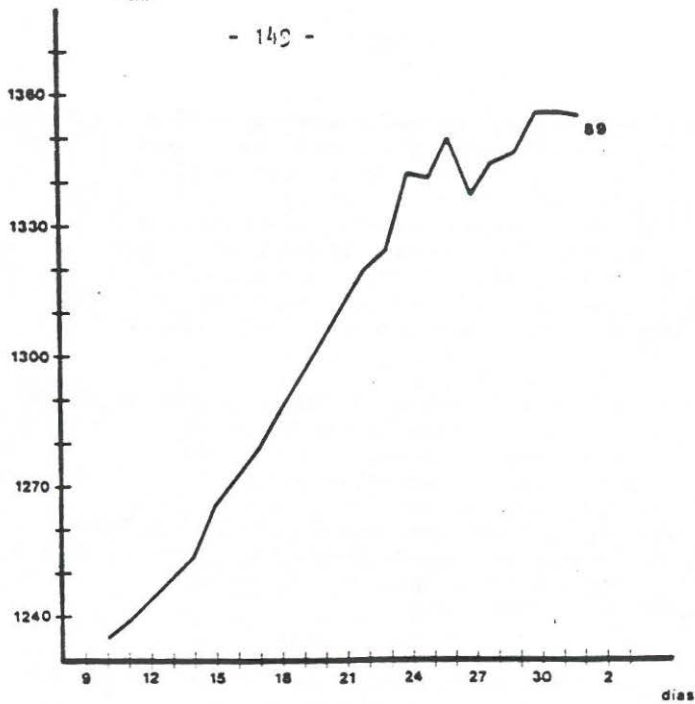


Fig. 4

concentración Cl_2 Mg

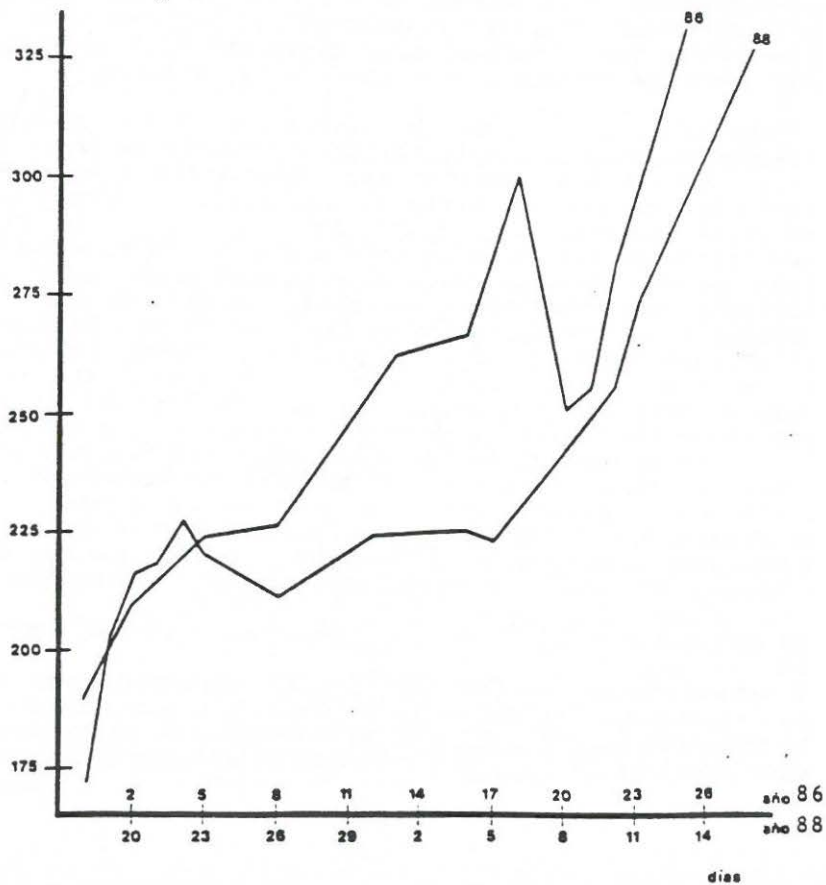


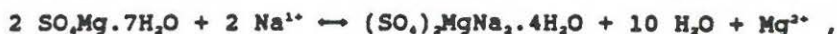
Fig. 5

evaporación continua de la salmuera se produce una disminución media de 0.5 cm/día en la altura del agua en los bidones experimentales. En este periodo la concentración y densidad de la salmuera suben de forma progresiva y más o menos constante. El balance de temperaturas superficie-fondo se muestra bastante homogéneo, tomando valores negativos, como consecuencia probablemente del enfriamiento de la capa superior de la salmuera debido al efecto de la evaporación. Las fases salinas identificadas en este periodo son YESO ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y CALCITA (CO_3Ca).

A partir del día 22 en el bidón B y del 24 en el bidón A, tanto la concentración como la densidad de la salmuera cambian su tendencia a aumentar, generándose en su curva evolutiva una meseta, que coincide con la precipitación de fases salinas de carácter sulfatado magnésico como son la BLOEDITA ($[\text{SO}_4]_2\text{MgNa}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y EPSOMITA ($\text{SO}_4\text{Mg}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$), acompañadas en menor medida de fases cloruradas como HALITA (ClNa). La aparición de THENARDITA (SO_4Na_2), se interpreta como producto de la solución incongruente de la bloedita.

Así mismo, tal como se ha referido anteriormente, de forma sincrónica con la precipitación de dichas fases minerales, el balance de temperaturas superficie-fondo deja de ser homogéneo y se caracteriza principalmente por el calentamiento diferencial del fondo con respecto a la superficie de la salmuera. Este aumento de la temperatura de la salmuera del fondo pudiera asociarse con el calor de disolución de las sales, que habiéndose formado en la interfase salmuera-aire, caen al fondo debido al peso de la fase cristalina, o cualquier tipo de agitación que modifique la tensión superficial de la salmuera.

La relación entre la etapa de estancamiento de la concentración y la precipitación-disolución de fases salinas es quizá uno de los aspectos más importantes para modelizar la evolución de las salmueras de lagos playa. Para abordar este problema durante el verano del año 1990, se realizó un seguimiento más fino de la naturaleza de las fases salinas, que iban apareciendo en el fondo de estanques construidos en el medio natural. Los resultados de estas observaciones, fueron que después de la precipitación de las fases minerales calcita-yeso, se alcanzaba durante un corto periodo de tiempo la saturación en epsomita+halita con pequeñas proporciones de bloedita. Cuando la concentración se incrementa en el depósito salino aumenta de manera extraordinaria la proporción de bloedita y simultáneamente se inicia un decrecimiento de la proporción relativa de epsomita y halita, para concentraciones mayores, la fase dominante vuelve a ser epsomita+halita. Una posible interpretación de esta evolución de las fases precipitadas a partir de la salmuera, puede ser la disolución incongruente de la fase epsomita, para precipitar bloedita, esto se puede explicar mediante la reacción:



, esta reacción se favorece por el disminución de la $a_{\text{H}_2\text{O}}$, es decir, por el aumento de la salinidad, y por la disminución de la relación $a_{\text{Na}^+}/(a_{\text{NaCl}})^2$, y en este sentido la a_{Na^+} , juega un papel opuesto al de la a_{NaCl} . Por ello cuando el aumento de salinidad es

incapaz de compensar el incremento de la relación $a_{\text{Mg}^{2+}}/(a_{\text{Na}^{+}})^2$, la fase estable vuelve a ser probablemente epsomita o otras fases hidratadas de los sulfatos de magnesio. Si se tiene en cuenta los volúmenes molares de las fases presentes por cada cm^3 de epsomita, se generan $0,51 \text{ cm}^3$ de bloedita, y $0,61 \text{ cm}^3$ de agua. El volumen del depósito salino decrece, el volumen de agua aportado al sistema es muy importante, del mismo orden que la pérdida de volumen del depósito salino, pero la concentración y la densidad de la salmuera disminuye, aunque esta disminución se compensa con el aumento de la concentración del ion magnesio, a medida que progresa la reacción, así como con las pérdidas absolutas por evaporación. Los datos para el cálculo de los volúmenes molares han sido obtenidos de Braitsch (1971).

Cuando la reacción anteriormente citada se invierte, junto con las pérdidas por evaporación de agua, se produce una importante pérdida relacionada con la incorporación de agua de cristalización a las fases minerales, en el caso de la epsomita, hasta $0,86 \text{ cm}$ de agua por cada cm de espesor de fase salina, y valores semejantes en el caso de la BISCHOFITA ($\text{Cl}_2\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$). A partir de la inversión el gradiente de concentraciones y altura de lámina de agua presentan una relación coherente.

En este sentido se debe señalar que en las soluciones concentradas, debe tenerse en cuenta la fase vapor de agua, a los efectos de cuantificar la altura de la lámina de agua. Ya que, para humedades relativas en la atmósfera mayores a las que corresponden al equilibrio de agua-vapor de agua-salmuera saturada en sales delicuescentes, como p.e. la bischofita, se produce una condensación de vapor de agua atmosférico sobre la laguna, Sonnenfeld y Perthuisot (1989). Pero además el grado de saturación en vapor agua en la atmósfera, no varía solo con las condiciones climáticas, sino también con las variaciones térmicas diurnas-nocturnas, por lo que este efecto puede presentar variaciones diarias.

Por las razones anteriormente apuntadas, la altura de la lámina de agua en los lagos playa, a altas concentraciones varía, no sólo con la evaporación, sino con la interacción de varios factores: balance de agua de cristalización, tanto en las precipitación incongruente de sales, como en la precipitación congruente y procesos de eflorescencia o deshidratación; condensación de vapor de agua, y coherentemente delicuescencia de fases salinas; y evaporación de agua líquida, como fenómeno relacionado con la humedad relativa del aire, la renovación de la masa de aire situada sobre el lago y la temperatura.

Por otra parte, estructuras poligonales de retracción identificadas en las lagunas pueden ser interpretadas en base a la reacción de transformación epsomita-bloedita. La importante disminución del volumen molar en esta transformación, puede justificar la génesis de grietas de retracción cuando las salmueras cubren el sedimento. Y que no podrían interpretarse de modo alguno como grietas de desecación. Estas grietas de retracción cuando la reacción de transformación se invierte, y el volumen molar de las fases salinas aumenta, pueden ser las zonas débiles a partir de las cuales se generen las estructuras "tepee", también muy comunes en las fases de evaporación a

sequedad de las lagunas.

BIBLIOGRAFIA:

Braitsch, O. (1971). Salt deposits. The origin and composition. Springer Verlag. Berlín - New York. 279 pags.

Helgeson, H,C, (1969). Thermodynamics of hidrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Am. Journal Sci. 26, 789-804.

Ordóñez, S., Sanchez Moral, S. y García del Cura, M.A. (1991). Modelización de la hidroquímica y sedimentoquímica de una laguna tipo playa (Cl-SO₄-Mg-Na): La Laguna Grande de Quero (Toledo). Estudios geol. (en prensa).

Sanchez Moral, S., Ordóñez, S. y García del Cura, M.A. (1991). La Laguna Grande de Quero (Toledo): Geología. Hidroquímica y Sedimentoquímica. Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. 87, (en prensa).

Sonnenfeld, P. & Perthuisot, J.-P. (1989). Brines and Evaporites. Short Course in Geology: vol. 3. Am. Geophysical Union, Washington. 126 pags.