



16  
29  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES (ZARAGOZA)

---

---

COMPARACION DE PARAMETROS  
HIDROLOGICOS Y FISICOQUIMICOS  
DE TRES ECOSISTEMAS ACUATICOS  
DIFERENTES: LAGO DE ZEMPOALA,  
ESTADO DE MEXICO; SISTEMA  
LAGUNAR DE MANDINGA, VERACRUZ  
Y BANCO CHINCHORRO, QUINTANA ROO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
LICENCIADO EN BIOLOGIA  
PRESENTA

MARIA MAGDALENA ORDOÑEZ RESENDIZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C O N T E N I D O

Resumen

Introducción

Generalidades

Area de estudio

Parte experimental

-toma de muestras

-métodos y técnicas

Resultados y Discusión

Conclusiones

Bibliografía

## RESUMEN

En este trabajo se determinaron y compararon los parámetros hidrológicos (iones más abundantes y componentes del sistema del dióxido de carbono) y físicoquímicos (densidad relativa) del agua del Lago Zempoala en el Estado de México, del Sistema Lagunar de Mandinga en el Estado de Veracruz y del Banco Chinchorro en el Estado de Quintana Roo; encontrándose que la composición del agua del Sistema Lagunar de Mandinga y del Banco Chinchorro es similar en cantidad y calidad de iones mayores; la mayor concentración de estos iones se presenta en el agua del Banco Chinchorro y como consecuencia de esto, la densidad relativa del agua de este Sistema es mayor que la del agua del Lago Zempoala y del Sistema Lagunar de Mandinga. Este último ecosistema presenta grandes fluctuaciones en su densidad en las diferentes épocas y estaciones de muestreo.

El grado de saturación del agua del Lago Zempoala respecto al carbonato de calcio es menor que en el agua del Banco Chinchorro y en el Sistema Lagunar de Mandinga.

Estos resultados pueden servir de base para realizar estudios posteriores con relación a los mismos parámetros o para estudios biológicos de la flora y la fauna de los ecosistemas revisados.

## INTRODUCCION.

México es un país que por su situación geográfica cuenta con una gran riqueza en recursos acuáticos susceptibles de ser explotados, tales como ríos, lagos, lagunas, esteros, etc. Poblaciones humanas establecidas alrededor de estos sistemas acuáticos se venían favorecidas económicamente mediante el uso adecuado de estos recursos.

Actualmente esta explotación no se realiza de manera integral, debido principalmente a la poca información con que se cuenta sobre las características que presenta cada cuerpo de agua, tanto físicas y químicas, como fisicoquímicas y biológicas, y al manejo que de estos sistemas se ha realizado sin observar su conservación.

Determinar el comportamiento de un ecosistema acuático es realmente ambicioso, principalmente por el carácter dinámico en espacio y tiempo que presenta; sin embargo, proyectos de desarrollo pesquero en cualquiera de dichos sistemas tendrían un mayor éxito mediante el respaldo del conocimiento de las condiciones fisicoquímicas previas a la instrumentación de los proyectos y al análisis de las mismas condiciones con vistas a preservar en lo posible la armonía del sistema.

En este sentido, el objetivo de la presente tesis es proporcionar un aporte de referencia sobre los siguientes parámetros hidrológicos: iones más abundantes (sodio, magnesio, calcio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y nitratos) y componentes del sistema del dióxido de carbono (bicarbonatos, carbonatos, dióxido de carbono libre y dióxido de carbono total) de tres ecosistemas acuáticos diferentes, Lago Zempoala en el Estado de México, Sistema Lagunar de Mandinga en el Estado de Veracruz y Banco Chichorro en el Estado de Quintana Roo, que nos permitan estimar la densidad relativa de cada ecosistema, para conocer las diferencias y similitudes de procesos como el de precipitación, específicamente de carbonato de calcio, de cada ecosistema.

En el Sistema Lagunar de Mandinga se han realizado diversos trabajos, entre los cuales se pueden citar: un estudio de la población ostrícola (2); notas preliminares sobre jaibas (3); una prospección ecológica (23); un estudio de la ictiofauna (69); un proyecto para la rehabilitación de las condiciones bioecológicas (26); un proyecto de desarrollo integral de Boca del Río-Laguna de Mandinga (27); un estudio sobre la variación estacional del ictioplancton (20); un estudio preliminar de algunos parámetros hidrológicos (46) y la fisicoquímica de la Laguna de Mandinga, el

llo Jamapa y su zona de mezcla, Ver. (77).

Del Lago Zempoala se han realizado aportaciones acerca de: la geología, hidrología y vegetación del parque nacional en que se encuentra enclavado el lago (72), la ictiología (66), algunos invertebrados (63, 64), vertebrados de "las lagunas de Zempoala y sus alrededores" (48), batimetría (18), la composición, variación estacional y distribución espacio-temporal de las clorofilas (67), y una Síntesis Gráfica y Descriptiva (70).

Del Banco Chinchorro no existe información acerca de estudios de cualquier índole realizados en la zona a la fecha de terminación de esta tesis.

## GENERALIDADES

### I. Iones más abundantes

Las aguas naturales están constituidas por sales disueltas en diferentes concentraciones. La cantidad y calidad de los sólidos disueltos a menudo determina la variedad y abundancia de los organismos de un cuerpo acuático. La concentración total de sustancias disueltas o minerales en el agua es un parámetro útil en la descripción de la densidad química. La osmoregulación de los organismos está influenciada por la densidad y por las adaptaciones fisiológicas de los organismos a la misma (37, 80).

La reserva de material disuelto en el agua es la única fuente de nutrientes importantes disponibles para el fitoplancton y en consecuencia, ciertos organismos animales pueden ser directamente limitados por la disponibilidad de una sustancia disuelta dada (17, 25).

Bajo condiciones naturales, los sólidos disueltos más importantes en las aguas, en términos de su significado en el ecosistema, son los compuestos de calcio, magnesio, sodio, potasio, nitrógeno, fósforo, hierro, sulfuro y sílice (21, 45, 80). Una comparación de la fracción equivalente de los constituyentes más abundantes de un río, lago, laguna y agua de mar se muestra en la Tabla número 1, citada en la



Tabla No. 1 Fracción equivalente de los solutos más abundantes de un río, lago, laguna y agua de mar.

Soluto	Río	Lago	Laguna	Agua de Mar
$\text{Na}^+$	17.25%	38.07%	77.33%	77.27%
$\text{Mg}^{2+}$	20.54	46.54	17.84	17.57
$\text{Ca}^{2+}$	45.64	4.71	3.36	3.39
$\text{K}^+$	3.60	10.68	1.47	1.68
$\text{Sr}^{2+}$	---	---	---	0.03
$\text{Cl}^-$	13.41	8.36	90.34	90.08
$\text{SO}_4^{2-}$	14.20	1.01	9.25	9.32
$\text{HCO}_3^-$	57.89	88.02	0.27	0.32
$\text{Br}^-$	---	---	0.15	0.14
$\text{B(OH)}_3$	---	---	---	0.05
$\text{CO}_3^{2-}$	0.24	2.61	---	0.06
$\text{B(OH)}_4^-$	---	---	---	0.01
$\text{F}^-$	---	---	---	0.01
$\text{NO}_3^-$	0.98	---	---	---
$\text{Si(OH)}_4$	12.98	---	---	---
$\text{Si(OH)}_3\text{O}^-$	0.30	---	---	---

tésis doctoral de Felipe Vázquez Gutiérrez (77). Los cationes más abundantes para rlo son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ ; para lago son  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ; para laguna (sistema laguna estuarino) y agua de mar son  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . Los aniones más abundantes para rlo son  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ; para lago son  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  y para laguna y agua de mar son  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ .

## II. Propiedades termodinámicas

Las aguas naturales están formadas por una mezcla de diversas sales, por lo que se pueden considerar como soluciones multielectrolíticas. Las propiedades fisicoquímicas de estas soluciones se pueden estimar a partir de las propiedades molales aparentes. En una solución las propiedades molales comprenden las moles de los solutos que se encuentran por kilogramo de agua.

De esta manera, la densidad de lagos, lagunas, o agua de mar, se puede estimar a través del uso de modelos matemáticos, tal como la Regla de Young y las modificaciones propuestas por Reilly et al. (61) y Millero (51). La Regla de Young para una solución multielectrolítica se enuncia como

$$\phi = \sum_i (n_i/n_T) \phi_i$$

donde  $n_i$  son las moles (o equivalentes) del soluto  $i$ ,  $n_T$  son las moles totales de los componentes y  $\phi_i$  es la propie

dad molal (o equivalente) del soluto  $i$ , a la fuerza iónica de la solución.

Con objeto de incluir todas las posibles interacciones entre cationes y aniones en la solución, Reilly et al. (61) proponen una forma más general para representar la Regla de Young

$$\phi = \sum_{MX} E_M E_X \phi_{MX} \quad (2)$$

donde  $E_M$  es la fracción equivalente del catión  $M$  y  $E_X$  es la fracción equivalente del anión  $X$ .

Para soluciones de no-electrolitos - electrolitos, tal como el agua de mar, Millero (51) propuso la siguiente extensión de la Regla de Young

$$\phi = \sum_{MX} E_M E_X \phi_{MX} + E_B \phi_B \quad (3)$$

donde  $\phi_B$  es la propiedad molal aparente para el ácido bórico y  $E_B$  es la fracción equivalente del ácido bórico en el agua de mar.

A la fuerza iónica del agua de mar o laguna, ciertas sales ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ , etc.) no son solubles, pudiéndose estimar sus propiedades aparentes mediante el método aditivo y por las propiedades aparentes de las sales solubles (30, 50, 51).

Propiedades de transporte y termodinámicas de lagos, ríos y estuarios se ha encontrado que dependen de la concentración de sus sales y sus interacciones agua-ion, ion-ion.

Así, las ecuaciones (2) y (3) se aplican también en la determinación de la densidad. El volumen equivalente aparente está relacionado con la densidad por

$$\phi_v = 1000 (d^0 - d) / e_T d^0 + M/d^0 \quad (4)$$

donde  $d^0$  es la densidad del agua,  $e_T$  es la normalidad (equivalente/litro) y  $M$  es el peso equivalente promedio de las sales. De esta manera, para determinar la densidad de una solución electrolítica, es posible emplear la siguiente ecuación

$$d = d^0 + 10^{-3} (M_T - d^0 \phi_v) e_T \quad (5)$$

donde  $d^0$  es la densidad del agua pura,  $M_T = \sum E_i M_i$  es el peso equivalente promedio,  $\phi_v = \sum E_i \phi_v(i)$  es el volumen aparente de las sales del sistema acuático y  $e_T$  es la normalidad total ( $\text{eq. l}^{-1}$ ).  $\phi_v$  es función de la concentración para un electrolito y puede ser representada por

$$\phi_v = \phi_v^0 + S_v I_v^{1/2} + b_v I_v \quad (6)$$

donde  $\phi_v^0 = \sum E_i \phi_v^0(i)$  es el volumen equivalente aparente a dilución infinita,  $S_v = \sum E_i S_v(i)$  es la pendiente de la ley

de Debye Hückel, y  $b_v = \sum E_{\lambda} b_v(\lambda)$  es un parámetro relacionado a la desviación de la Ley Limitante.

Combinando las ecuaciones (5) y (6) tenemos

$$d = d^0 + 10^{-3} (M_T - d^0 \phi_v) e_T - 10^{-3} S_v d^0 e_T I_v^{1/2} - 10^{-3} b_v d^0 e_T I_v$$

o

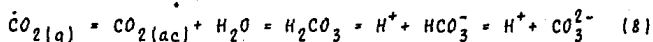
$$10^3 (d - d^0) = (M_T - d^0 \phi_v) e_T - S_v d^0 e_T I_v^{1/2} - b_v d^0 e_T I_v \quad (7)$$

en donde  $e_T$  y  $I_v$  son pequeños para ríos y lagos, y las densidades pueden ser estimadas por los volúmenes equivalentes aparentes a dilución infinita,  $\phi_v^0 = \sum E_{\lambda} \phi_v^0$ .

### III. Sistema del bióxido de carbono

El carbono inorgánico es uno de los constituyentes principales del metabolismo fotosintético de las algas y de los macrofitos sumergidos. El bióxido de carbono está presente en grandes cantidades en el agua de mar y aguas continentales, principalmente combinado como carbonatos y bicarbonatos. Además de ser un registro para la historia biológica del agua, el carácter general de la distribución del bióxido de carbono en las aguas profundas es útil en estu-

dios de corrientes y procesos de mezcla. La solubilidad del bióxido de carbono es mayor que la del oxígeno y del nitrógeno, debido a que aquél reacciona con el agua (29)



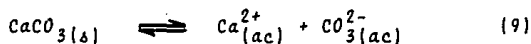
Parte del bióxido de carbono está presente como bióxido de carbono libre y como ácido carbónico; en el agua de mar la mayor parte está presente como carbonatos y bicarbonatos, y por la misma presión parcial el contenido del bióxido de carbono total del agua de mar es mucho más grande que aquel del agua destilada o de las soluciones salinas neutras. El contenido del bióxido de carbono libre y del ácido carbónico disminuyen con un incremento en la temperatura y en la salinidad. [25, 37, 80].

Los iones bicarbonato y carbonato reaccionan con varios cationes presentes (principalmente iones calcio y magnesio) en el agua, formando asociaciones complejas. La solubilidad del bióxido de carbono en el agua aumenta notablemente cuando ésta contiene carbonato. El carbonato más importante de los sistemas acudticos es el carbonato de calcio, que aparece principalmente en dos formas cristalinas, la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y la aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ). La aragonita y calcita se ajustan a series polimorfas, esto es, los minerales tienen la misma composición química pero diferente

estructura cristalográfica. La aragonita es ortorómbica y la calcita es hexagonal. La aragonita es una forma inestable a temperatura normal y a veces se invierte a calcita.

(17, 24, 80)

La precipitación del carbonato de calcio en la superficie del agua se ve favorecida por un incremento en el producto iónico de este compuesto, causado por un aumento en la salinidad y en la temperatura y un decremento de la presión parcial del bióxido de carbono total:



El efecto de la salinidad es relativamente pequeño, favoreciéndose más la precipitación de carbonatos en áreas donde la temperatura es elevada y existe gran actividad fotosintética (80). En algunas áreas (arrecifes coralinos, lagunas, etc.) ciertos microorganismos pueden producir condiciones favorables para la precipitación de carbonato de calcio, únicamente dentro y sobre sedimentos calcáreos, o pueden contribuir a esa precipitación por deposición del material esquelético. Los mismos cambios de presión barométrica sobre la superficie del agua modifican la solubilidad del bióxido de carbono. La agitación del agua también causa la precipitación debido a la salida del bióxido de carbono. Plantas y animales acuáticos utilizan carbonato

de calcio como material esquelético, puede ser en forma de calcita o aragonita. El material esquelético de carbonato de calcio se encuentra en organismos desde menos de una micra hasta más de un metro de diámetro. La mayoría de los esqueletos más conspicuos se encuentran a bajas latitudes. (25, 75)

El pH de la mayoría de las aguas resulta de los iones  $H^+$  procedentes de la disociación del ácido carbónico y de los iones  $OH^-$  debidos a la hidrólisis de los iones bicarbonato. Cuando se agrega bióxido de carbono a una solución que contenga carbonato y bicarbonato, el pH de la solución decrece. La disminución en el pH resulta del bióxido de carbono como una fuente de  $H^+$  que reaccionan con  $CO_3^{2-}$  y  $HCO_3^-$ . A cualquier cambio repentino en el pH, el bicarbonato actúa como amortiguador. Si los iones  $H^+$  se incrementan, reaccionan con el bicarbonato para formar bióxido de carbono y agua hasta que la constante de equilibrio se mantenga y el pH cambie ligeramente. Un aumento de los iones  $OH^-$  origina una disminución momentánea en los iones  $H^+$ , porque el bióxido de carbono y el agua reaccionan para formar más  $H^+$ , manteniendo la constante de equilibrio y previniendo un cambio apreciable en el pH. El sistema de amortiguación puede expresarse en términos de la ecuación de Henderson-Hasselbach (1, 4, 37, 60):



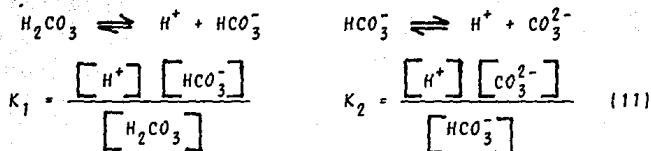
$$\text{pH} = \text{pK}_1 + \log \frac{[\text{sal}]}{[\text{ácido}]} \quad (10)$$

en donde el bióxido de carbono es el ácido y el ion bicarbonato es la sal.

La amortiguación más significante en un cuerpo acuático se puede decir que se debe a los ácidos carbónico y bórico y sus sales presentes en el agua. La contribución del ácido bórico y sus sales al mecanismo de amortiguación es aproximadamente 5% para aguas oceánicas de un pH alrededor de 8.2 y un porcentaje más alto a valores de pH mayores, siendo mínima su contribución o prácticamente nula en aguas continentales. Casi la mayoría de los medios ambientes naturales tienen un pH alrededor de 4 y 9. El intervalo de pH en medios ambientes acuáticos varía de cerca de 2.5 en algunos lagos de terreno volcánico hasta cerca de 10.5 en lagos de gran evaporación en regiones áridas, pasando por el intervalo del agua de mar que es entre 7.5 a 8.4 (17, 25, 56, 80).

A un pH de 4.3 el bióxido de carbono y el ácido carbónico están presentes, pero el ion bicarbonato está casi ausente. La disociación del ácido carbónico empieza a ser importante a un pH de 6.4. El bióxido de carbono gaseoso y el ácido carbónico a un pH de aproximadamente 8.3 decrecen hasta que casi no están presentes analíticamente, cerca de

ese pH el ion bicarbonato comienza a disminuir. Con base en esto, se dan la primera y segunda constantes de disociación estequiométricas del ácido carbónico:



La mayoría de las determinaciones químicas miden la concentración total de algún ion y no su actividad. Ciertas medidas físicas permiten determinar la actividad, tales como la fuerza electromotriz, la presión de vapor de una solución de compuestos no volátiles, la presión parcial de algunos gases disueltos. En estudios realizados del sistema del dióxido de carbono en el agua, las mediciones químicas representan valores estequiométricos. Si la concentración del ion hidrógeno se determina colorimétricamente o electrométricamente, se está midiendo la actividad de la concentración del ion hidrógeno y en las titulaciones se obtienen los valores de las concentraciones totales de las especies del dióxido de carbono, en este caso se están determinando las constantes aparentes de disociación del ácido carbónico ( $K'_2$ ):

$$K_1' = \frac{a_{H^+} [HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \quad K_2' = \frac{a_{H^+} [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad (12)$$

en donde  $a_{H^+}$  es la actividad del ion hidronio expresada en gramos-átomo-mol por litro. La primera ( $K_1'$ ) y segunda ( $K_2'$ ) constantes aparentes de disociación del ácido carbónico, así como la primera constante de disociación del ácido bórico en agua de mar, son mayores que en agua destilada y se incrementan con un aumento en la salinidad, esto es, la fuerza de estos ácidos parece ser mayor en soluciones que contengan sales. Este fenómeno se basa en la teoría de la actividad introducida por Lewis y Randall (1923) y desarrollada matemáticamente por Debye Hückel "... en una solución conteniendo una mezcla de electrolitos, tal como el agua de mar, hay una mutua interferencia entre los iones, de tal forma que su actividad o habilidad para participar independientemente en una reacción se ve muy reducida." (60, 75). Cuando los componentes del sistema del bióxido de carbono se puedan referir a la actividad en lugar de la concentración, se hablará de constantes de equilibrio termodinámicas del ácido carbónico:

$$K_1 = \frac{a_{H^+} a_{HCO_3^-}}{a_{H_2CO_3}} \quad K_2 = \frac{a_{H^+} a_{CO_3^{2-}}}{a_{HCO_3^-}} \quad (13)$$

El valor de  $a_{\text{H}_2\text{CO}_3}$  depende de la solubilidad relativa del bióxido de carbono en agua pura y en agua de mar a la misma temperatura y de la actividad del agua en los dos casos. A 20°C y cero de clorinidad, los valores termodinámicos de  $pK_1$  y  $pK_2$  ( $pK = -\log K$ ) del ácido carbónico en agua destilada son 6.47 y 10.288, respectivamente. (4, 25, 29, 41, 47, 51, 52, 75, 76)

Los componentes del sistema del bióxido de carbono en un cuerpo de agua pueden ser caracterizados a través de la medida de al menos dos de los siguientes parámetros: pH, alcalinidad total ( $A_T$ ), suma total de bióxido de carbono ( $\Sigma \text{CO}_2$ ) y presión parcial del bióxido de carbono ( $P_{\text{CO}_2}$ ). La forma generalmente usada es por medio de las medidas de pH y alcalinidad total (52, 53, 75).

La alcalinidad se refiere a la cantidad y clase de compuestos presentes que modifican el pH hacia el lado alcalino de la neutralidad. Normalmente es debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, y con menor frecuencia a los boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad total ( $A_T$ ) está determinada por:

$$A_T = [\text{HCO}_3^-] + 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B(OH)}_4^-] + [\text{OH}^-] + [\text{H}^+] + \Sigma \text{ } \bar{B}^- \quad (14)$$

donde  $[B(OH)_4^-]$ ,  $[OH^-]$ ,  $[H^+]$  son, respectivamente, la concentración total del ion borato, ion hidróxido e ion hidrógeno y  $\Sigma_i B^-$  representa otras bases presentes en el agua ( $H_2PO_4^-$ ,  $PO_4^{3-}$ , etc.). Los parámetros del sistema del bióxido de carbono están determinados por:

$$[HCO_3^-] = Ac / [1 + 2K_2' / a_{H^+}] \quad (15)$$

$$[CO_3^{2-}] = Ac K_2' / (a_{H^+} + 2K_2') \quad (16)$$

$$[CO_2^*] = (Ac a_{H^+} / K_1') / (1 + 2K_2' / a_{H^+}) \quad (17)$$

$$\Sigma CO_2 = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [CO_2^*] \quad (18)$$

$$\Sigma CO_2 = Ac (1 + a_{H^+}/K_1' + K_2'/a_{H^+}) / (1 + 2K_2' / a_{H^+}) \quad (19)$$

en donde Ac es la alcalinidad debida a los carbonatos,  $K_1'$  y  $K_2'$  son las constantes aparentes de disociación del ácido carbónico y  $a_{H^+}$  es la actividad del ion hidrógeno. (29, 52, 71, 79)

El producto de solubilidad del carbonato de calcio se define como el producto iónico de las concentraciones de calcio y carbonato en agua saturada a una temperatura y pre-

sión dadas:

$$K_{ps} = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{[CaCO_3]} \quad (20)$$

El grado de saturación ( $\Omega$ ) del agua de mar con respecto a la calcita y aragonita es el producto de los valores medidos de calcio y carbonato dividido por el producto de solubilidad aparente

$$\Omega = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{K_{ps}} \quad (21)$$

Wattenberg (1933), Wattenberg y Timmerman (1936), Hindman (1943) y MacIntyre (1965) han realizado determinaciones sistemáticas de la constante del producto de solubilidad aparente de la calcita y de la aragonita, como una función de la temperatura o de la clorinidad. Edmond y Gieskes (1970) realizaron una revisión de estos trabajos, encontrando que la  $K_{ps}$  es una función lineal de la clorinidad y que a una clorinidad constante es una función de la temperatura, representando las constantes aparentes del producto de solubilidad de la calcita y aragonita como:

$$K_{ps}^i \text{ (calcita)} = (0.1614 + 0.02892 Cl - 0.0063 t) 10^{-6} \quad (22)$$

$$K_{ps}^i \text{ (aragonita)} = (0.5115 + 0.02892 Cl - 0.0063 t) 10^{-6} \quad (23)$$

para un intervalo de clorinidad (Cl) de 15 a 25 ‰ y de temperatura (t) de 0° a 40°C. Las constantes aparentes de disociación del ácido carbónico determinadas por Lyman (1956) y los coeficientes de presión determinados por Culberson y Pytkowicz (1968) fueron usados por Edmond y Gieskes para el cálculo de estas constantes, relacionando la dependencia de la presión con  $K'_{ps}$  del ajuste lineal de

$$\log(K'_{ps})_p / \log(K'_{ps})_1 = \log(K'_{ps}{}^P / K'_{ps}{}^1) = \frac{\Delta V(P-1)}{2.303RT} \quad (24)$$

donde  $(K'_{ps})_p / (K'_{ps})_1$  es la variación de la presión,  $\Delta V$  es el cambio en el volumen parcial molar de la disolución ( $\Delta V'_{\text{calcita}} = -(35.4 - 0.23 t)$ ;  $\Delta V'_{\text{aragonita}} = -(32.8 - 0.23 t)$ , P es la presión en atmósferas y R es la constante de los gases, dados por Owen y Brinkley (1941), Pytkowicz y Connors (1965), Pytkowicz y Fowley (1967). (29, 38, 39, 42, 43, 59)

## AREA DE ESTUDIO

### Lago Zempoala

*Localización y descripción:* se ubica en el Estado de México, en las coordenadas  $19^{\circ}03'00''$  de latitud norte y  $99^{\circ}18'42''$  de longitud oeste. Forma parte del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Es una cuenca cerrada con drenaje de tipo torrencial que sólo lleva agua en la temporada de lluvias. Tiene una superficie de 10,564 Ha., 508 m de largo máximo nne-ssw y una anchura promedio de 207.9 m [Figura 1]. Es alimentada permanentemente por el arroyo Las Trancas, el cual tiene su origen en manantiales. (14, 70)

*Clima:* el Lago Zempoala se encuentra en la zona templada del Parque Nacional, con verano fresco y temperatura media anual entre  $12$  y  $18^{\circ}\text{C}$ , correspondiente a un clima Cw. (33, 70)

*Vegetación:* está enclavado en un valle de pastizal y matorral, rodeado en su parte norte, este y sureste por bosque de coníferas. (70)

*Geología:* la cuenca del lago se formó al encontrarse los derrames de la formación Chichinautzin (más reciente) con la formación Zempoala de edad miopliocénica. La formación



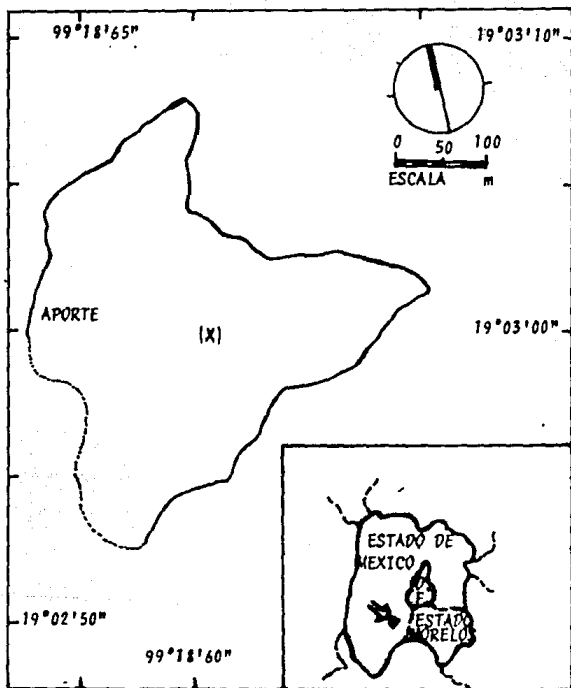


Figura 1. Lago Zempoala, Estado de México. Localización de los puntos de muestreo.

Zempoala se caracteriza por derrames de lava con interes-tratificación de material piroclástico y lahares, de composición intermedia, desde andesítica hasta riódacítica. La formación Chichinautzin se caracteriza por derrames de lava basáltica, hasta riódacítica con material piroclástico asociado; interdigitado localmente con la formación Popocatepetl. (70)

Edafología: se encuentra rodeado de Andosol húmico en su mayor parte. En la parte suroeste lo rodea una mezcla de Litosol, Andosol húmico y Regosol eutrico. (12)

#### Sistema Lagunar de Mandinga

Localización y descripción: se encuentra en el litoral mexicano del Golfo de México, a 18 Km al sur del Puerto de Veracruz. Está limitado por los paralelos 19°00' y 19°06' de latitud norte y los meridianos 96°02' y 96°06' de longitud oeste. Consta de dos lagunas comunicadas entre sí por medio de canales, la de Mandinga y La Redonda. Tiene comunicación permanente con el mar, desemboca a éste en conexión con el río Jamapa (Figura 2). La laguna Mandinga abarca una superficie de 20 Km<sup>2</sup> y tiene una profundidad máxima de 2 m. La Laguna La Redonda tiene una superficie de 4 Km<sup>2</sup> y una profundidad media de 0.80 m. Esta laguna se comunica con la de Mandinga a través de un canal de

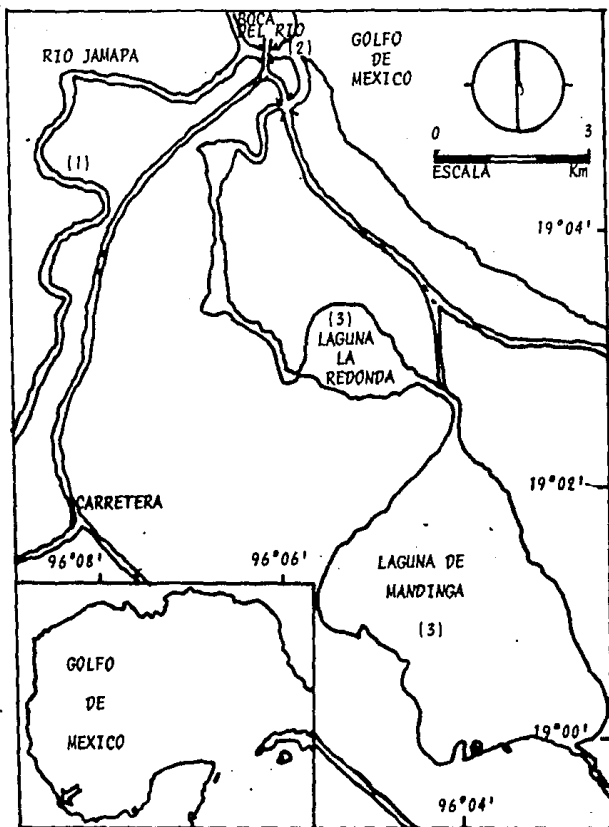


Figura 2. Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz. Localización de las estaciones de muestreo.

aproximadamente 10 Km de longitud denominado Estero del Conchal, el cual se comunica en forma permanente con el mar. (3, 46, 77)

Clima: este sistema se encuentra en una zona que presenta un tipo de clima A(w2'') (w) (i'), es decir cálido y húmedo con época seca larga y lluvias en verano. La temperatura máxima extrema es de 36.3°C y la mínima extrema de 11.7°C. La zona presenta una época seca bien definida, la época fría, así como una temporada de lluvias con mayor intensidad a finales de verano. Existe un déficit bien marcado de evaporación durante la época fría, y el resto del año, excepto en el mes de junio, en el cual la evaporación es más o menos estable, oscilando alrededor de 160 mm. La humedad relativa presenta un valor máximo extremo de 80% y un valor mínimo extremo de 71%. (33, 77)

Vegetación: la vegetación de la zona corresponde a la sabana tropical; sin embargo, gran parte de los bordes del sistema lagunar están ocupados por la vegetación de manglar, excepto la parte sur de la laguna La Redonda y en la parte suroeste de la laguna Mandinga, en cuyos bordes la vegetación está compuesta por gramíneas. (3)

Sedimentos: la desembocadura de la laguna Mandinga y la parte sur de La Redonda presentan sedimentos donde la

fracción de arena es mayor al 90%. La laguna Mandinga en su parte central y occidental está compuesta de sedimentos gravosos. En la parte sur y norte los sedimentos gravosos disminuyen aumentando la fracción de arena. En la parte oriental se encuentran pequeñas zonas con un tipo de sedimento predominantemente arcilloso. La laguna La Redonda en su parte central presenta una fracción alta de limo-arcilla. Hacia la parte norte y noreste la arcilla se encuentra constituyendo más del 45% de los sedimentos. La zona del Estero del Conchal presenta fundamentalmente sedimentos gravosos. (77)

#### **Banco Chínchorro**

*Localización y descripción:* el Banco Chínchorro es un banco de coral, situado en el Mar Caribe Mexicano, frente a las costas del Estado de Quintana Roo. Está limitado por los paralelos 18°23' y 18°46' de latitud norte y los meridianos 87°12' y 87°29' de longitud oeste. Comprende una superficie aproximada de 350,000 Ha., su largo máximo es de 350 Km y 20 Km su ancho máximo (Figura 3). (15)

*Clima:* presenta un tipo de clima tropical, con una precipitación total anual menor de 100 mm y temperaturas medias anuales de 28° a 30°C. Tiene un déficit medio anual de

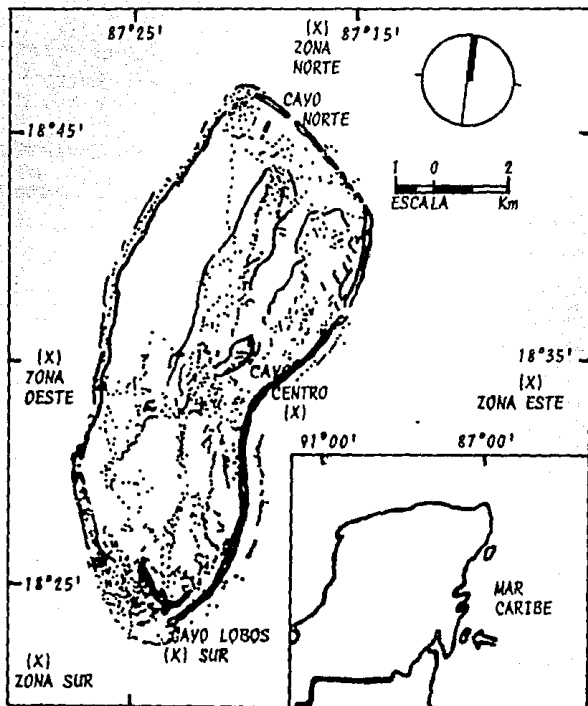


Figura 3. Banco Chinchorro, Quintana Roo. Localización de las estaciones de muestreo.

agua de 300 a 400 mm y un escurrimiento medio anual de 0 a 20 mm. (7, 8, 9)

*Vegetación:* la vegetación dominante es el manglar. La vegetación acuática de los Cayos Centro y Norte se encuentra dominada por las udotedceas, en el Cayo Lobos domina una asociación de feoflceas. (10, 68)

*Geología y Edafología:* el Banco está constituido por roca caliza sedimentaria del Cenozoico. Existen tres tipos de suelo, siendo el Rendzina el predominante y Litosol y Regosol secundarios, con clase textural media en los 30 cm superficiales. (11, 13)

## PARTE EXPERIMENTAL

### *Toma de muestras*

*Sistema Lagunar de Mandinga.* Se colectaron muestras para la determinación del sistema de blóxido de carbono en junio y octubre de 1983 y marzo de 1984, a la profundidad de 0.5 metros en el Rfo Jamapa a 8 Km aproximadamente de la Boca (1, Figura 2), en la zona de mezcla (2, Figura 2) y en las lagunas La Redonda y Mandinga (3, Figura 2).

*Lago Zempoala.* Estudios preliminares realizados por el Doctor Felipe Vázquez Gutiérrez permitieron decidir que al no haber gran variación en los constituyentes disueltos o dispersos en el ambiente acuático, y no variar considerablemente de un lugar a otro con la profundidad y el tiempo, se decidió por razones prácticas que la muestra fuera tomada en el punto indicado en la Figura 1, en los meses de noviembre de 1982 y marzo de 1983, a las profundidades de 0.0, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0 metros. En el mes de marzo se colectó una muestra en el sitio indicado como Aporte en la Figura 1, zona que recibe el aporte del arroyo Las Trancas.

*Banco Chinchorro.* En junio de 1984, de acuerdo a su batimetría (6), se colectaron muestras en la zona Norte, a las profundidades de 5, 100, 700 y 1000 metros; en la zona Sur



a 5, 100, 500 y 700 metros; en la zona Oeste a profundidades de 5, 100, 200 y 500 metros; en la zona Este a 5, 100, 200, 500, 700 y 1000 metros; y a 5 metros de profundidad en Cayo Lobos Sur, Cayo Norte y Cayo Centro. (Figura 3)

Las muestras de agua se colectaron con una botella Van Dorn. Cada muestra se filtró inmediatamente con prefiltros Millipore y filtros Millipore de 0.45  $\mu\text{m}$  y se almacenó en frascos de plástico de 3.5 litros de capacidad. Las muestras se sellaron con parafilm "M" y se transportaron al Laboratorio de Química Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### Determinaciones realizadas in situ

De las muestras del Lago Zempoala y Sistema Lagunar de Mandinga se determinaron in situ la temperatura con un termómetro de décimas (-1 a 51°C) y el pH con un potenciómetro de campo Corning, modelo 3D.

De las muestras del Banco Chínchorro se determinó in situ la temperatura y la profundidad con el Conductivity Temperature Deep (CTD), el pH con un potenciómetro de campo Corning, y se determinó la alcalinidad a bordo del Barco Justo Sierra perteneciente a la Universidad Nacional Auto-

nomia de México.

### Métodos y técnicas

#### Determinación de Alcalinidad Total

La alcalinidad total se determinó por un método potenciométrico (29). La titulación se realizó con ácido clorhídrico valorado, en un dispositivo con agitación magnética a 25°C. Se graficó el potencial, E (mV), de la celda contra el volumen de ácido clorhídrico adicionado durante la titulación, y se determinaron los puntos de equivalencia por el método de Gran (35). Se calculó la alcalinidad total ( $A_T$ ) a partir de la siguiente ecuación:

$$A_T = V_2 N_{HCl} / W_0 \quad (25)$$

donde  $N_{HCl}$  es la concentración molar del HCl y  $W_0$  equivale a los gramos de muestra ( $W_0 = V_0(\text{ml}) D(\text{densidad})$ ). El valor de  $V_2$  es el segundo punto de equivalencia determinado. Se estimaron los valores de las constantes aparentes de disociación del ácido carbónico y se calcularon las concentraciones de bicarbonatos ( $[HCO_3^-]$ ), carbonatos ( $[CO_3^{2-}]$ ), bióxido de carbono libre ( $[CO_2^*]$ ) y el bióxido de carbono total ( $\Sigma CO_2$ ) de acuerdo a las ecuaciones (16), (17), (18) y (20), utilizando los valores de alcalinidad total y de pH. En todas las determinaciones se utilizó un poten-

ciómetro calibrado Corning modelo 130 y un electrodo de vidrio combinado Instrulab.

Determinación del grado de saturación ( $\Omega$ ) del agua con respecto a la calcita y aragonita.

Se estimaron las constantes del producto de solubilidad para la calcita y aragonita de acuerdo a las ecuaciones (23), (24) y (25), y se calculó el grado de saturación de acuerdo a:

$$\Omega = C_{CaT} \cdot C_{CO_3T} / K'_{ps} \quad (26)$$

donde  $C_{CaT} = 2.938 \times 10^{-4} S$  en  $mol.Kg^{-1}$  y  $K'_{ps}$  es el producto de solubilidad de la calcita o aragonita en función de la temperatura, presión y salinidad.

#### Determinación de Clorinidad

La clorinidad se determinó mediante una titulación por precipitación con nitrato de plata y dicromato de potasio como indicador. (44, 60, 78)

#### Determinación de Salinidad

La salinidad se determinó por composición y por la relación de conductividad. La salinidad por composición se relaciona con la concentración de sólidos totales por medio de la siguiente ecuación (51):

$$G_T = 1.004847 S(^{\circ}/\text{oo}) \quad (27)$$

en donde  $G_T$  es la cantidad total de sólidos en gramos por kilogramo y  $S(^{\circ}/\text{oo})$  es la salinidad en partes por mil.

La salinidad por medición de la relación de conductividad se determinó mediante el uso de un salinómetro de inducción Beckman, modelo RS-7B y por la siguiente relación (19, 36)

$$S(\times 10^3) = a_0 + a_1 R_T^{1/2} + a_2 R_T + a_3 R_T^{3/2} + a_4 R_T^2 + a_5 R_T^{5/2} + \frac{(T-15)}{1+A(T-15)} \left[ b_0 + b_1 R_T^{1/2} + b_2 R_T + b_3 R_T^{3/2} + b_4 R_T^2 + b_5 R_T^{5/2} \right] \quad (28)$$

$a_0 = 0.008 0$	$b_0 = 0.000 5$	$A = 0.0162$
$a_1 = -0.169 2$	$b_1 = -0.005 6$	$R_T = \frac{C(S, T, 0)}{C(35, T, 0)}$
$a_2 = 25.385 1$	$b_2 = -0.006 6$	
$a_3 = 14.094 1$	$b_3 = -0.037 5$	
$a_4 = -7.026 1$	$b_4 = 0.063 6$	
$a_5 = 2.708 1$	$b_5 = -0.014 4$	
$\Sigma a_i = 35.000 0$	$\Sigma b_i = 0.000 0$	

$$-2^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C} \quad (\text{IPTS } 1968)$$

#### Determinación de Calcio y Magnesio

Esta determinación se realizó por colorimetría, mediante titulación con EDTA y por titulación con EGTA, en un dispositivo con agitación magnética y por lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro Pye Unicam SP500 a pH 10 y a pH 12. (22, 32, 44, 73, 78)

#### Determinación de Sodio, Potasio y Estroncio

Estos elementos se determinaron por medio de espectroscopía de absorción atómica, en un espectrofotómetro de absorción atómica Varian AH-275/AH-475. (57, 60, 73, 81)

#### Determinación de Sulfatos

Los sulfatos fueron determinados gravimétricamente en forma de sulfatos de bario en medio ácido. (73)

#### Determinación de Nitratos y Amoníaco

La determinación de nitratos y amoníaco se basó en el método de reducción de cadmio, a través de las técnicas del Autoanalizador Technicon II.

#### Determinación de Silicio

Se determinó por medio de las técnicas del Autoanalizador Technicon II.

### Determinación de Densidad Relativa

La densidad medida (Den.D.) fue determinada a 25°C en un densímetro de flujo en la Universidad de Miami.

La densidad por salinidad [Den.S (°/oo)] se determinó a partir de la siguiente ecuación (45):

$$(d-d^0) = AS(^{\circ}/\text{oo}) + BS(^{\circ}/\text{oo}) + CS(^{\circ}/\text{oo}) \quad (29)$$

donde  $S(^{\circ}/\text{oo})$  es la salinidad de la muestra en partes por mil y los parámetros A, B y C son una función de la temperatura ( $t$ ) y se calcularon a partir de:

$$\begin{aligned} A = & 8.25938 \times 10^{-4} - 4.4491 \times 10^{-6}t + \\ & 1.0485 \times 10^{-7}t^2 - 1.2580 \times 10^{-9}t^3 + \\ & 3.315 \times 10^{-12}t^4 \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} B = & -6.33777 \times 10^{-6} + 2.8442 \times 10^{-7}t - \\ & 1.6871 \times 10^{-8}t^2 + 2.83265 \times 10^{-10}t^3 \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} C = & 5.4706 \times 10^{-7} - 1.9798 \times 10^{-8}t + \\ & 1.6641 \times 10^{-9}t^2 - 3.1204 \times 10^{-11}t^3 \end{aligned} \quad (32)$$

La densidad por composición [Den.S.T.] se calculó a partir de la ecuación (7).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Composición química del agua

Los iones más abundantes del agua del Lago Zempoala los constituyen el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Si(OH)}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , como puede observarse en la Tabla número 2, y en la Figura 4.

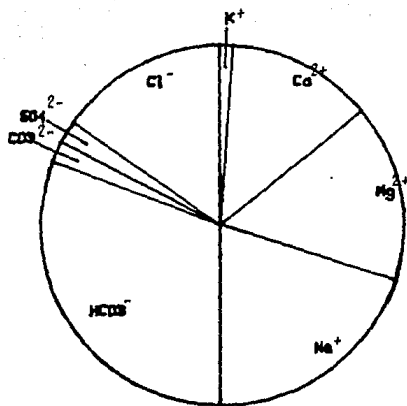
Los iones encontrados corresponden a los reportados para un lago por Wetzel (80), Goldman (34) y en la Tabla número 1 de este trabajo. La gran presencia de  $\text{Si(OH)}_4$  refleja la naturaleza volcánica de la cuenca del lago, siendo el ciclo del sílice casi en una sola dirección ( de las rocas del lecho a los sedimentos del lago ). (34).

Los cationes más abundantes encontrados en el Lago Zempoala son, en orden decreciente  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . Si se toma como referencia la Tabla número 1, se observa que la presencia de estos cationes en un lago está dada por:  $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ . Los aniones representativos de un lago, de la misma Tabla 1, son:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ , y los encontrados en el Lago Zempoala son  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ . Las diferencias entre la predominancia de ciertos cationes o aniones encontrados con los esperados se puede atribuir al origen del Lago estudiado y al del lago de re-

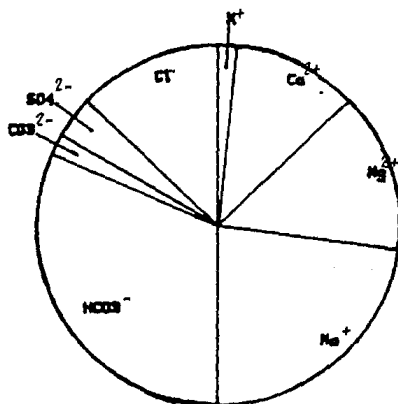
Tabla No. 2 Iones más abundantes del Lago Zempoala expresados en miligramos por kilogramo.

ION	NOVIEMBRE					Aporte	MARZO				
	0.0 m	1.5 m	3.0 m	4.5 m	6.0 m		0.0 m	1.5 m	3.0 m	4.5 m	6.0 m
Na <sup>+</sup>	14.78	12.36	12.84	14.08	11.06	20.67	12.41	13.88	15.03	13.49	13.32
Mg <sup>2+</sup>	5.75	4.87	4.83	6.64	5.04	11.19	4.69	4.54	4.36	4.45	4.28
Ca <sup>2+</sup>	6.79	7.73	7.56	6.90	7.71	15.49	6.02	5.72	5.91	5.67	5.77
K <sup>+</sup>	1.05	1.18	1.25	1.33	1.33	2.67	1.66	1.60	1.58	1.74	1.66
Cl <sup>-</sup>	16.96	13.37	14.55	18.75	12.36	15.69	11.97	12.87	13.08	10.10	10.64
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.16	3.10	2.89	2.13	2.61	1.93	2.66	3.81	5.73	6.10	5.09
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	52.49	51.16	52.24	56.33	52.32	129.85	49.90	49.97	49.29	49.61	49.65
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	2.24	2.07	0.88	1.15	1.51	1.52	1.72	1.26	1.56	1.64	1.26
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.15	0.31	0.55	0.18	0.21	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004
Si(OH) <sub>4</sub>	40.61	40.89	40.92	40.91	41.15	17.32	16.62	17.52	17.66	17.28	17.52
NH <sub>3</sub>							0.04	0.03	0.03	0.03	0.04
Total	143.98	137.04	138.51	148.40	135.30	216.334	107.694	111.204	114.235	110.115	109.234





LAGO ZEMPOALA MUESTREO NOVIEMBRE



LAGO ZEMPOALA MUESTREO MARZO

FIGURA 4

ferencia y a la dinámica de cada cuerpo acuático que involucra procesos de adsorción, precipitación y óxido-reducción, dependientes en gran medida de la localización geográfica, climática y biológica de cada sistema.

Durante el mes de noviembre se observa una distribución uniforme en la concentración de todos los iones con respecto a la profundidad, debida probablemente a procesos de mezcla en el lago, como consecuencia de la anterior época de lluvias y a la acción de los vientos, Figura 6.

En el mes de marzo, la composición y distribución de la mayoría de los iones es muy semejante a la del mes de noviembre, notándose en marzo una pequeña disminución en la concentración de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ , y un ligero incremento en los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Cabe señalar que las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Si(OH)}_4$  disminuyeron apreciablemente en todos los niveles y que en este mes se detectaron concentraciones de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_2^-$ , ocasionadas probablemente por la asimilación del ion  $\text{NO}_3^-$  en la fotosíntesis y a la desnitrificación de este mismo ion por el metabolismo bacteriano. (17, 34, 80)

La muestra de Aporte colectada en el mes de marzo presenta concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  mayores a las del lago para ese mes, determinadas en forma

CONCENTRACION ( $\times 10^{-3}$ )

0.00 0.20 0.40 0.60 0.80 1.00

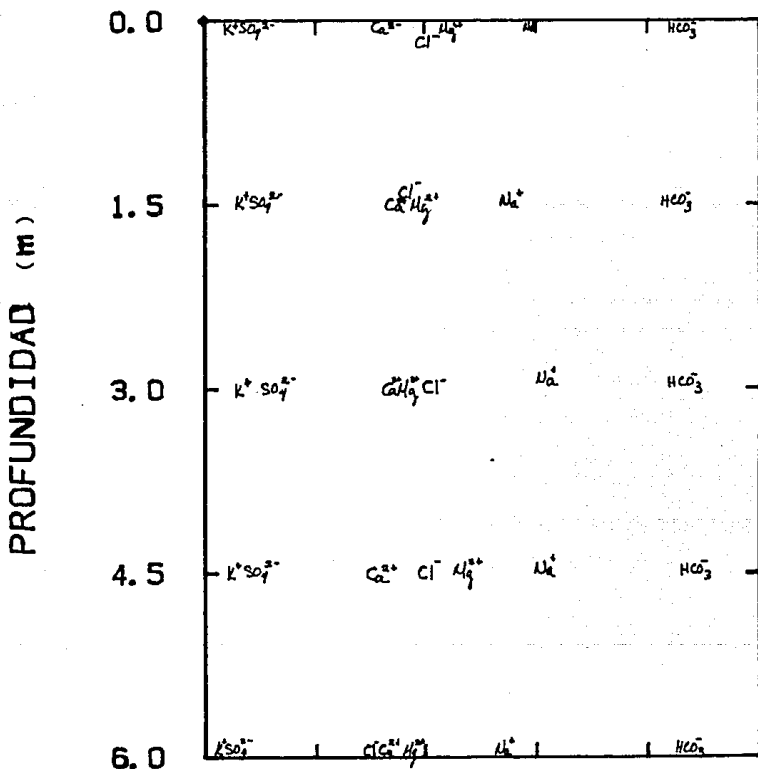


FIGURA 6

Lago Zempoala. Concentración de iones mayores en función de la profundidad.

significativa por el caudal proveniente del arroyo Las Trancas que permanentemente llega al lago.

Para el Banco Chinchorro, los iones más abundantes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Br}^-$ ) reportados en la Tabla número 3 y presentados en la Figura 5, corresponden a los del agua de mar indicados en la Tabla número 1. La distribución de los iones determinados respecto a la profundidad es casi constante (Figura 7), y se encuentra en estrecha relación con las salinidades y densidades reportadas en la Tabla número 8. Esta distribución de los iones a las diferentes profundidades en que se colectaron las muestras, se debe a que en los océanos existe un estado de equilibrio tal, que la cantidad que llega al mar de un elemento en particular es balanceada por procesos de precipitación, a la vez que el incremento en la concentración de cualquier ion es muy pequeño, lo que permite la mezcla completa de los iones en un período de tiempo corto (25, 75).

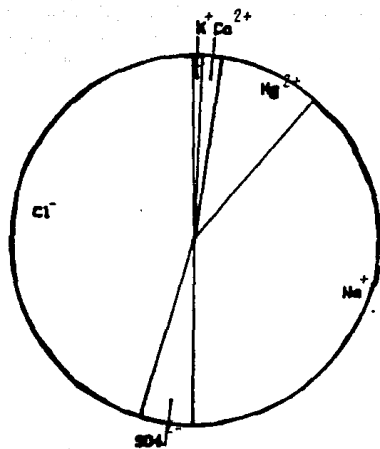
La concentración de los iones para el Banco Chinchorro es semejante a la del agua de mar estándar, como se puede observar en la Tabla número 4, en la cual se encuentran para cada ion valores promedio de las diferentes profundidades de las estaciones de muestreo Norte, Sur, Oeste y Este. En las concentraciones encontradas para los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y

Tabla No. 3 Iones más abundantes del Banco Chinchorro, expresados en gramos por kilogramo.

ION	ESTACION NORTE				ESTACION SUR				CAYO CENTRO	CAYO NORTE
	5 m	100 m	700 m	1000 m	5 m	100 m	500 m	700 m		
Na <sup>+</sup>	11.0487	11.0680	10.7984	10.6688	11.2180	11.0074	10.7799	10.5585	11.1113	11.1421
Mg <sup>2+</sup>	1.3430	1.3081	1.2971	1.2824	1.3169	1.3515	1.3163	1.3312	1.3371	1.3297
Ca <sup>2+</sup>	0.4550	0.4668	0.4558	0.4587	0.4693	0.4440	0.4657	0.4619	0.4591	0.4722
Sr <sup>2+</sup>	0.0080	0.0080	0.0078	0.0077	0.0082	0.0081	0.0079	0.0078	0.0081	0.0081
K <sup>+</sup>	0.4109	0.4047	0.3985	0.3901	0.3914	0.4169	0.3929	0.4133	0.4168	0.4136
Cl <sup>-</sup>	19.9687	19.9565	19.4577	19.2408	20.3098	20.0672	19.5716	19.3279	20.0580	20.1011
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.7842	2.7284	2.7406	2.7174	2.5645	2.6365	2.6228	2.6197	2.7869	2.8007
Br <sup>-</sup>	0.0762	0.0761	0.0762	0.0734	0.0754	0.0745	0.0747	0.0776	0.0765	0.0767
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1403	0.1362	0.1348	0.1352	0.1410	0.1316	0.1320	0.1400	0.1349	0.1352
Total	36.2351	36.1529	35.3583	34.9712	36.4754	36.1725	35.3417	34.9338	36.3888	36.4793

Tabla No. 3 Continuación. Iones más abundantes del Banco Chinchorro.

ION	ESTACION OESTE				ESTACION ESTE					CAVO LOBOS SUR	
	5 m	100 m	200 m	500 m	5 m	100 m	200 m	500 m	700 m		1000 m
Na <sup>+</sup>	11.0173	11.2202	11.2591	10.8360	10.9916	10.9946	11.2618	10.8827	10.7098	10.5612	11.1954
Mg <sup>2+</sup>	1.3389	1.2829	1.3101	1.3056	1.3295	1.3523	1.3986	1.2869	1.2736	1.3238	1.3492
Ca <sup>2+</sup>	0.4619	0.4685	0.4381	0.4523	0.4552	0.4695	0.4527	0.4480	0.4510	0.4445	0.4606
Sr <sup>2+</sup>	0.0080	0.0080	0.0081	0.0079	0.0080	0.0080	0.0081	0.0079	0.0077	0.0077	0.0081
K <sup>+</sup>	0.3959	0.4142	0.4055	0.3970	0.4152	0.4153	0.4121	0.3929	0.3987	0.4000	0.4139
Cl <sup>-</sup>	19.9210	20.0335	20.3014	19.6789	19.8890	19.9869	20.2258	19.5747	19.2846	19.2518	20.2138
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.7713	2.8593	2.5876	2.5539	2.7329	2.7948	2.7830	2.7251	2.7118	2.6959	2.8100
Ba <sup>+</sup>	0.0740	0.0744	0.0733	0.0731	0.0739	0.0762	0.0731	0.0727	0.0716	0.0734	0.0751
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1400	0.1408	0.1365	0.1363	0.1397	0.1364	0.1340	0.1316	0.1316	0.1333	0.1359
Total	36.1283	36.5019	36.5197	35.4410	36.0351	36.2340	36.7492	35.5225	35.0406	34.8917	36.6621



BANCO CHINCHORRO

FIGURA 5

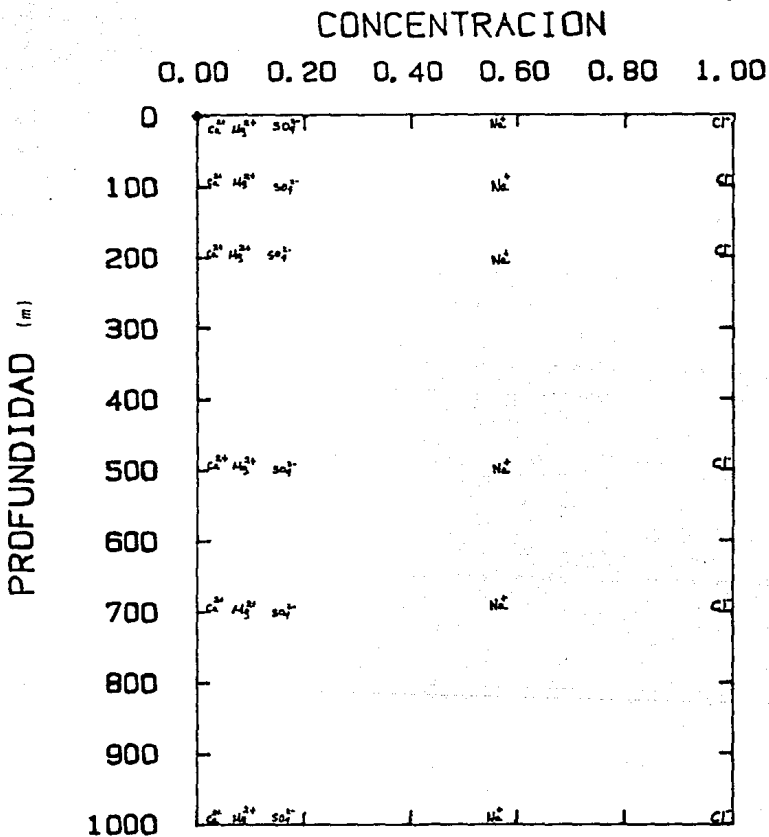


FIGURA 7

Banco Chinchorro. Concentración de iones mayores en función de la profundidad.



Tabla No. 4 Iones más abundantes del Banco Chinchorro y del Agua de Mar Estándar (25), en gramos por kilogramo por clorinidad.

ION	AGUA DE MAR ESTANDAR	ESTACION NORTE	ESTACION SUR	ESTACION OESTE	ESTACION ESTE	ESTACION CAYO LOBOS SUR	ESTACION CAYO NORTE	ESTACION CAYO CENTRO
Na <sup>+</sup>	0.55600	0.5522	0.5474	0.5526	0.5512	0.5518	0.5522	0.5518
Mg <sup>2+</sup>	0.06695	0.0663	0.0668	0.0653	0.0671	0.0665	0.0659	0.0664
Ca <sup>2+</sup>	0.02106	0.0231	0.0231	0.0227	0.0229	0.0227	0.0234	0.0228
K <sup>+</sup>	0.02000	0.0203	0.0203	0.0201	0.0205	0.0204	0.0205	0.0207
Sr <sup>2+</sup>	0.00070	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
Cl <sup>-</sup>	0.99840	0.9962	0.9962	0.9963	0.9963	0.9963	0.9962	0.9961
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.13940	0.1390	0.1313	0.1343	0.1386	0.1385	0.1388	0.1384
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00735	0.0069	0.0068	0.0069	0.0068	0.0067	0.0067	0.0067

$\text{HCO}_3^-$  se aprecia mayor desviación de las del agua de mar, lo cual está en relación directa con el sistema del bióxido de carbono (Tabla No. 13).

Para el Sistema Lagunar de Mandinga, en la Tabla número 5 se citan los resultados reportados por Vázquez en 1983 (77) para los mismos puntos de colecta. No se pretende en este trabajo volver a realizar el análisis de estos resultados ya reportados, sólo se tomarán de referencia para encontrar similitudes o discrepancias con los otros sistemas que se revisan; sin embargo, cabe hacer notar la gran influencia que en los meses de octubre y marzo ejerce el agua de mar sobre la composición del Sistema Lagunar.

Una comparación de las fracciones equivalentes de las iones más abundantes determinados para los ecosistemas del Lago Zempoala y Banco Chinchorro y de los datos reportados para el Sistema Lagunar de Mandinga, se presenta en la Tabla número 6. Los valores presentados corresponden a la media aritmética de los resultados obtenidos para cada sistema. Para el Lago Zempoala se tomó el promedio de las diferentes profundidades en los dos meses analizados, sin considerar la muestra de Aporte; para el Sistema Lagunar de Mandinga se consideró el promedio de las diferentes

Tabla No. 5 Síntesis de la composición del agua del Sistema Lagunar de Mandinga, en gramos por kilogramo [77].

ION	LAGUNAS			ZONA DE MEZCLA			RIO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
Na <sup>+</sup>	3.4908	4.7750	7.6111	0.0100	4.2055	3.2982	0.0107	0.0427	0.2216
Mg <sup>2+</sup>	0.4439	0.5850	1.0802	0.0115	0.4938	0.4941	0.0051	0.0064	0.0335
Ca <sup>2+</sup>	0.1220	0.1691	0.2366	0.0055	0.1492	0.0741	0.0139	0.0046	0.0288
Sr <sup>2+</sup>	0.0029	0.0040	0.0026	0.0001	0.0034	0.0017	0.0001	0.0001	---
K <sup>+</sup>	0.1256	0.1708	0.2751	---	0.1527	0.1231	---	0.0021	---
Cl <sup>-</sup>	6.2632	8.5508	13.9704	0.0213	7.4427	6.0009	0.0169	0.0861	0.3520
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.9152	1.2039	2.0019	0.00001	1.0792	0.9187	0.00001	0.00001	0.0589
Br <sup>-</sup>	0.0214	0.0356	0.0458	---	0.0305	0.0193	---	0.0003	0.0009
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1006	0.1161	0.1526	0.0642	0.1281	0.1493	0.0616	0.0142	0.1508
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0031	0.0001	0.0009	0.0001	0.0006	0.0025	0.0049	0.0001	0.0121
Si(OH) <sub>4</sub>	0.0098	0.0107	0.0154	0.0070	0.0001	0.0113	0.0131	0.0051	0.0137
Total	11.4985	15.6211	25.3926	0.1197	13.6858	11.0932	0.1263	0.1615	0.8722

Tabla No. 6 Comparación de las fracciones equivalentes de los iones más abundantes para el Lago Zempoala, Sistema Lagunar de Mandinga y Banco Chínchorro.

Ion	Lago Zempoala	Sistema Lagunar de Mandinga	Banco Chínchorro
Na <sup>+</sup>	0.19172	0.53436	0.55127
Mg <sup>2+</sup>	0.07115	0.07121	0.05999
Ca <sup>2+</sup>	0.09464	0.01815	0.02286
K <sup>+</sup>	0.02069	0.02878	0.02027
Sn <sup>2+</sup>	----	0.00030	0.00040
Cl <sup>-</sup>	0.19373	0.96425	0.99624
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.05364	0.13949	0.13656
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.73804	0.02118	0.0068
Br <sup>-</sup>	----	0.00442	0.00374
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00204	0.00055	----
Si(OH) <sub>4</sub>	0.41880	0.00195	----

estaciones de muestreo en los tres meses revisados; y para el Banco Chínchorro únicamente se consideró el promedio de los valores correspondientes a la muestra de 5 y 1 metro de profundidad.

La composición química del Sistema Lagunar de Mandinga es muy similar a la del Banco Chínchorro, como se observa en la Tabla 6, en los dos sistemas están presentes los iones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Br}^-$ . La presencia del ion  $\text{Sr}^{2+}$  en el Sistema Lagunar de Mandinga confirma la gran influencia del agua de mar sobre el sistema lagunar. En el Sistema Lagunar de Mandinga se observan concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Si(OH)}_4$  que no se reportan para el Banco Chínchorro; estas concentraciones y las concentraciones de  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$  se pueden deber al aporte del río Jamapa en el Sistema Lagunar de Mandinga.

La composición del agua del Lago Zempoala difiere de la del Sistema Lagunar de Mandinga y del Banco Chínchorro en la presencia de  $\text{Sr}^{2+}$  y  $\text{Br}^-$  para el Sistema Lagunar de Mandinga y el Banco Chínchorro. En el Lago Zempoala se detectó la presencia de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Si(OH)}_4$  al igual que en el Sistema Lagunar de Mandinga. La concentración de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  es apreciablemente menor en el lago Zempoala que en los otros dos sistemas; asimismo, la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$  son mayores en el Lago Zempoala que en el Sistema Lagunar de Mandinga y el Banco Chínchorro.

### Densidad relativa

Los valores de densidad relativa y salinidad de las muestras del Lago Zempoala y del Banco Chinchorro se presentan en las Tablas números 7 y 8, respectivamente.

Las variaciones entre la salinidad por conductividad ( $S^{\circ}/\text{oo}$ ) y la salinidad por composición (S.T.) pueden deberse a las diferencias de  $\pm 0.08^{\circ}/\text{oo}$  a salinidades bajas para el lago, y de  $\pm 0.004^{\circ}/\text{oo}$  a salinidades de 33 a  $37^{\circ}/\text{oo}$  para el agua de mar (77) que origina el uso de la ecuación (28) para la determinación de la salinidad por conductividad. En consecuencia, los valores para las densidades relativas basadas en estas salinidades por composición y por conductividad presentan discrepancias entre sí. A salinidades bajas, esto es para el lago, se observan las mayores desviaciones.

Las diferencias obtenidas también pueden ser debidas a que no se consideraron algunos iones para la determinación de la composición química, tales como  $F^{-}$  y  $B(OH)_4^{-}$  para el agua de mar, o a posibles errores en los análisis de los iones determinados, lo cual necesitarla de un estudio posterior para confirmarse.

Al comparar los valores de densidad relativa medidos con los valores determinados por conductividad // por composi-

Tabla No. 7 Densidades relativas ( $(d-d^0) 10^3$ ) de las muestras del Lago Zempoala.

PROFUNDIDAD (m)	S <sup>0</sup> /100	S.T.	DEN.S <sup>0</sup> /100	DEN.S.T.	DEN.D.
N O V I E M B R E					
0.0	0.1296	0.1417	0.106	0.091	0.110
1.5	0.1283	0.1350	0.098	0.086	0.107
3.0	0.1289	0.1376	0.098	0.086	0.105
4.5	0.1324	0.1473	0.111	0.093	0.152
6.0	0.1305	0.1338	0.100	0.085	0.093
M A R Z O					
Aporte	0.2085	0.2148	0.162	0.151	0.162
0.0	0.1290	0.1060	0.080	0.073	0.082
1.5	0.1260	0.1099	0.083	0.075	0.076
3.0	0.1292	0.1126	0.085	0.077	0.083
4.5	0.1292	0.1084	0.081	0.074	0.081
6.0	0.1298	0.1079	0.081	0.073	0.082

S<sup>0</sup>/100 = salinidad por conductividad en partes por mil

S.T. = salinidad por composición en partes por mil

DEN.S<sup>0</sup>/100 = densidad calculada por S<sup>0</sup>/100, g.cm<sup>-3</sup>

DEN. S.T. = densidad calculada por composición, g.cm<sup>-3</sup>

DEN. D. = densidad medida a 25°C, g.cm<sup>-3</sup>

Tabla No. 8 Densidades relativas ( $(d-d^0) 10^3$ ) de las muestras del Banco Chinchorro.

PROFUNDIDAD (m)	S <sup>0</sup> /oo	S.T.	DEN.S <sup>0</sup> /oo	DEN.S.T.	DEN.D.
ESTACION NORTE					
5	36.236	36.292	27.235	27.278	27.233
100	35.813	35.011	26.915	26.308	26.918
700	35.043	35.201	26.332	26.452	26.331
1000	35.015	35.144	26.311	26.409	26.309
ESTACION SUR					
5	35.898	35.744	26.979	26.863	26.977
100	36.413	36.219	27.369	27.223	27.371
500	35.080	35.021	26.360	26.316	26.357
700	34.831	34.782	26.172	26.135	26.170
ESTACION OESTE					
5	36.184	36.218	27.195	27.222	27.192
100	36.716	36.916	27.599	27.750	27.603
200	36.383	36.153	27.346	27.172	27.344
500	35.048	34.889	26.335	26.216	26.336

S<sup>0</sup>/oo = salinidad por conductividad en partes por mil

S.T. = salinidad por composición en partes por mil

Den.S<sup>0</sup>/oo = densidad calculada por S<sup>0</sup>/oo, g.cm<sup>-3</sup>

Den. S.T. = densidad calculada por composición, g.cm<sup>-3</sup>

Den. D. = densidad medida a 25°C, g.cm<sup>-3</sup>



Tabla No. 8 Continuación. Densidades relativas de las muestras del Banco Chinchorro.

PROFUNDIDAD (m)	S <sup>o</sup> /oo	S.T.	DEN.S <sup>o</sup> /oo	DEN.S.T.	DEN.D.
ESTACION ESTE					
5	36.141	36.134	27.163	27.158	27.159
100	36.458	36.511	27.403	27.444	27.407
200	36.827	36.861	27.683	27.709	27.688
500	35.310	35.413	26.534	26.612	26.531
700	35.037	35.171	26.327	26.429	26.329
1000	34.994	35.053	26.295	26.340	26.298
ESTACION CAYO LOBOS SUR					
1	36.687	36.727	27.577	27.607	27.582
ESTACION CAYO NORTE					
1	36.427	36.476	27.414	27.417	27.416
ESTACION CAYO CENTRO					
1	36.463	36.466	27.407	27.410	27.409

S<sup>o</sup>/oo = salinidad por conductividad en partes por mil

S.T. = salinidad por composición en partes por mil

Den.S<sup>o</sup>/oo = densidad calculada por S<sup>o</sup>/oo, g.cm<sup>-3</sup>

Den. S.T. = densidad calculada por composición, g.cm<sup>-3</sup>

Den.D. = densidad medida a 25°C, g.cm<sup>-3</sup>

ción, se tiene para el Lago Zempoala, en el mes de noviembre una desviación promedio de  $\pm 13.6$  ppm por conductividad y de  $\pm 25.2$  ppm por composición, y en el mes de marzo de  $\pm 2$  ppm por conductividad y de  $\pm 7.2$  ppm por composición. Las desviaciones por conductividad se encuentran en el intervalo de 0 ppm a 41 ppm, y por composición de 1 a 59 ppm.

Para el Banco Chinchorro, las diferencias en los resultados de densidades relativas calculadas por conductividad y por composición respecto a las densidades relativas medidas, varían de 1 a 5 ppm por conductividad y de 1 a 610 ppm por composición. Las desviaciones promedio son de 2.7 ppm por conductividad y de 70.7 ppm por composición.

Al considerar como referencia los valores de densidad por composición, se tiene para el Lago Zempoala una variación promedio entre 7 y 18 ppm entre los valores de densidad por composición y densidad por conductividad; de 1 y 59 ppm entre los datos de densidad por composición y densidad medida. Para el Banco Chinchorro, las variaciones de densidad por composición y por conductividad se encuentran entre 27 y 607 ppm, y entre los valores por composición y medidos se encuentran variaciones de 30 a 610 ppm.

Estas variaciones rebasan la desviación de  $\pm 3$  ppm que se reportan en otros trabajos (77) y que se considera aceptable entre las diferentes maneras de medir la densidad relativa, tomando como referencia a la densidad calculada por la composición química.

Estos resultados indican que con las dos formas empleadas para determinar la densidad relativa se pueden alcanzar desviaciones bajas con respecto a la medida, y que las variaciones mayores, correspondientes a las medidas de densidad relativa calculada por composición, pueden deberse a posibles errores de medición o desviaciones en la aplicación de las ecuaciones usadas.

En la Tabla número 9 se hace una síntesis de los datos de densidad relativa para el Sistema Lagunar de Mandinga, tomados del trabajo de Vázquez (77).

Una comparación de las densidades relativas promedio para los tres sistemas acuáticos que se revisan, se da en la Tabla número 10. Las variaciones presentadas en este estudio corresponden probablemente a un error en el desarrollo de los diversos análisis efectuados para calcular la concentración de los diversos elementos más abundantes; sin embargo, se observa que para los tres ecosistemas que se presentan, es aplicable el empleo de los modelos matemáti-

Tabla No. 9 Salinidad y Densidades relativas  
 (  $(d-d)$   $10^3$  ) del Sistema Lagunar de  
 Mandinga. (77)

MUESTRA	$S_T$	DEN.S.T.	DEN.D.	DEN.S <sup>o</sup> /oo
<b>LAGUNAS</b>				
Junio	11.50	8.618	8.608	8.590
Octubre	15.62	11.679	11.689	11.662
Marzo	25.39	18.983	18.958	18.959
<b>ONA DE MEZCLA</b>				
Junio	0.12	0.092	0.101	0.091
Octubre	13.69	10.235	10.213	10.220
Marzo	11.09	8.330	8.357	8.288
<b>RIO JAHAPA</b>				
Junio	0.13	0.095	0.120	0.096
Octubre	1.61	1.176	1.384	1.215
Marzo	0.87	0.656	0.690	0.657

$S_T$  = Salinidad total en partes por mil, S<sup>o</sup>/oo

Den.S<sup>o</sup>/oo = densidad calculada por S<sup>o</sup>/oo, g.cm<sup>-3</sup>

Den. S.T. = densidad calculada por composición, g.cm<sup>-3</sup>

Den. D. = densidad medida a 25°C, g.cm<sup>-3</sup>

cos considerados para la determinación de las propiedades físicoquímicas como la densidad relativa,

Una comparación de las densidades relativas promedio para los tres sistemas acuáticos que se revisan, se presenta en la Tabla número 10. Los valores de densidad relativa menores se observan para el Lago Zempoala, estos resultados concuerdan con las concentraciones encontradas para las iones mayores (Tablas 2, 3 y 5) en los tres ecosistemas, las cantidades reportadas para el Lago Zempoala son menores que en los otros sistemas, a la vez que para el Banco Chinchorro se determinaron las mayores concentraciones de iones mayores y en consecuencia los datos de densidad relativa más grandes.

En el Sistema Lagunar de Mandinga se observan las mayores desviaciones en los valores de densidad relativa, lo que obedece a las condiciones de localización y climáticas del mismo sistema, debido a la relación que tienen la densidad relativa del cuerpo acuático con la salinidad y temperatura, valores que como se observa en las Tablas 9 y 12, respectivamente, presentan grandes variaciones, lo cual confiere al Sistema Lagunar de Mandinga condiciones específicas que determinan las especies de organismos que puedan soportar cambios bruscos en su presión osmótica.

Tabla No. 10 Comparación de las densidades relativas ( $(d-d^0) 10^3$ ) del agua del Lago Zempoala, del Sistema Lagunar de Mandinga y del Banco Chinchorro.

LUGAR	DEN.S <sup>o</sup> /oo	DEN.S.T.	DEN.D.
Lago Zempoala	0.0923 ± 0.0116	0.0813 ± 0.0077	0.0971 ± 0.0229
Sistema Lagunar de Mandinga	6.6420 ± 6.5884	6.6516 ± 6.6031	6.6800 ± 6.5679
Banco Chinchorro	27.2814 ± 0.1983	27.2793 ± 0.2362	27.2811 ± 0.2011

Den.S<sup>o</sup>/oo, Den.S.T. y Den.D. = g.cm<sup>-3</sup>

De las formas usadas para la determinación de la densidad relativa, para el Lago Zempoala se presenta la menor desviación en la determinación de salinidad por composición, para el Sistema Lagunar de Mandinga se tiene menor variación cuando se mide la densidad en un densímetro de flujo, y para el Banco Chinchorro se observan menores desviaciones en la determinación de salinidad por conductividad; es probable que las determinaciones experimentales para la salinidad se vean interferidas por la misma naturaleza y cantidad de sales presentes en el agua de cada cuerpo acuático.

## Sistema del Bióxido de Carbono

### Lago Zempoala

En la Tabla número 11 se presentan los valores de los parámetros del sistema del bióxido de carbono y los valores de pH obtenidos a 25°C, temperatura a la cual se determinaron los valores de los parámetros del bióxido de carbono en los meses de noviembre y marzo.

Los valores más altos de pH se observan para el mes de noviembre, en un intervalo de 7.336 a 7.732, siendo el mínimo a la profundidad de 4.5 metros y el máximo a 6.0 metros. Estos cambios en el pH están estrechamente relacionados con el sistema del bióxido de carbono (17, 74, 75), como se observa en la Tabla 11, para este mes corresponden los valores más bajos en la presión parcial del bióxido de carbono.

En el mes de marzo se encontraron valores de pH semejantes en los diferentes niveles de profundidad del lago, lo cual tiene relación con la distribución encontrada en las concentraciones de los iones más abundantes para este mes, y en los cambios de densidad (Tabla No. 7). El mayor valor de pH para este mes se observa en la muestra de Aporte, con un incremento apreciable en las concentraciones de los iones mayores, principalmente del ion  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y



Tabla No. 11 Sistema del Bióxido de Carbono del Lago Zempoala.

PROFUNDIDAD (m)	$A_T$ (meq. Kg <sup>-1</sup> )	pH	T (°C)	$[HCO_3^-]$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$[CO_3^{2-}]$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$[CO_2^*]$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$\Sigma CO_2$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$P_{CO_2}$ (atm. 10 <sup>-6</sup> )
N O V I E M B R E								
0.0	0.8740	7.692	13.8	0.8697	0.0021	0.0372	0.9090	1088.4390
1.5	0.8703	7.653	13.5	0.8661	0.0021	0.0377	0.9060	1104.3001
3.0	0.8819	7.463	13.4	0.8792	0.0013	0.0618	0.9424	1809.2122
4.5	0.9262	7.336	13.2	0.9235	0.0013	0.0684	0.9932	2000.5194
6.0	0.8751	7.732	13.0	0.8703	0.0024	0.0333	0.9060	973.3435
M A R Z O								
Aporte	2.1281	7.524	13.8	2.1217	0.0031	0.1529	2.2778	4477.4031
0.0	0.8179	7.317	13.8	0.8163	0.0008	0.0839	0.9010	2456.0662
1.5	0.8185	7.341	13.0	0.8169	0.0008	0.0920	0.9097	2692.2960
3.0	0.8078	7.204	11.9	0.8066	0.0006	0.1116	0.9188	3265.5416
4.5	0.8130	7.367	11.1	0.8105	0.0013	0.0551	0.8669	1612.3199
6.0	0.8137	7.317	10.5	0.8120	0.0008	0.0792	0.8920	2316.4666

$A_T$  = alcalinidad total;  $P_{CO_2}$  = presión parcial del  $CO_2$ ;  $\Sigma CO_2$  =  $CO_2$  total.

$\text{Ca}^{2+}$  (Tabla No. 2), lo cual puede deberse a la procedencia del Arroyo permanente Las Trancas, cuyo origen es de manantial (17, 70).

Los valores de alcalinidad total ( $A_T$ ) en noviembre se encuentran en el intervalo de 0.874 a 0.9262 meq.Kg<sup>-1</sup> y en marzo de 0.8078 a 0.8185 meq.Kg<sup>-1</sup>. Este incremento en la alcalinidad total en el mes de noviembre es debido al aumento en los iones  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  principalmente (5). Valores de pH moderadamente altos, por debajo de 8.5, están asociados comunmente a aguas bicarbonatadas, lo cual concuerda con los resultados obtenidos (Tabla 11).

El bióxido de carbono soluble en las aguas naturales es una función directamente proporcional de la presión, e inversamente proporcional de la temperatura (17, 37, 55, 80), y su contenido total ( $[\text{HCO}_3^-]$ ,  $[\text{CO}_3^{2-}]$  y  $[\text{CO}_2^*]$ ) varía con el pH del agua. Para el lago Zempoala el bióxido de carbono total ( $\Sigma\text{CO}_2$ ) se debe esencialmente a las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_2^*$ . Esta última especie está relacionada con la presión parcial del bióxido de carbono ( $P_{\text{CO}_2}$ ) y sus variaciones se establecen por los cambios de  $P_{\text{CO}_2}$ . Los valores altos de  $P_{\text{CO}_2}$ , como en las muestras de 4.5 metros en noviembre, Aporte y 3.0 metros en marzo, pueden atribuirse a concentraciones de iones hidrógeno e hidróxido (pH), a

procesos de oxidación y reducción (oxidación de materia orgánica, respiración y fotosíntesis) y a variaciones en la temperatura. [4, 17, 37, 62, 75, 80]

#### Sistema Lagunar de Mandinga

Los resultados de los parámetros del sistema del dióxido de carbono y de pH medidos a 25°C para el ecosistema de Mandinga se presentan en la Tabla número 12.

En el mes de octubre se obtuvieron los valores mayores en el pH, debidos probablemente al aporte fluvial que se sucede en mayor intensidad a finales del verano (77), los cuales corresponden a valores mínimos en la presión parcial del dióxido de carbono (75). Estos valores de  $P_{CO_2}$  concuerdan con los valores máximos del porcentaje de calcita y aragonita ( $\alpha_{calcita}$ ,  $\alpha_{aragonita}$ ) y del ion  $CO_3^{2-}$ , debido a que la reacción entre el ion  $CO_3^{2-}$  con los iones  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  se ve favorecida (16, 31, 40, 52), incrementando la precipitación, principalmente como  $CaCO_3$  en sus formas calcita y aragonita (4, 17, 24). Estos resultados concuerdan con los resultados de composición de los iones más abundantes presentados en el estudio realizado por Vázquez (77) para los mismos meses y lugares de colecta del presente trabajo, en los que se reporta para el mes de oc-

Tabla No. 12 Sistema del Bióxido de Carbono del Sistema Lagunar de Mandinga.

MUESTRA	$A_T$ (meq. Kg <sup>-1</sup> )	pH	T (°C)	$\alpha$ cal cita	$\alpha$ arago nita	$[HCO_3^-]$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$[CO_3^{2-}]$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$[CO_2^*]$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$\Sigma CO_2$ (mmol. Kg <sup>-1</sup> )	$P_{CO_2}$ (atm)
R I O J A M A P A										
Junio	1.0254	7.630	30.5	0.76	0.51	1.595	0.024	0.048	1.666	1.521
Octubre	2.3244	8.230	28.7	5.53	3.68	1.512	0.182	0.007	1.702	0.242
Marzo	2.4710	7.943	25.3	2.60	1.73	2.255	0.105	0.032	2.392	1.080
Z O N A D E H E Z C L A										
Junio	1.0522	7.530	27.5	0.01	0.01	1.048	0.002	0.067	1.117	2.107
Octubre	2.0921	8.378	28.8	4.71	3.14	1.755	0.149	0.010	1.915	0.363
Marzo	2.4463	7.998	25.6	2.25	1.50	2.294	0.069	0.033	2.396	1.046
L A G U N A S										
Junio	1.6493	7.677	25.8	0.02	0.01	1.020	0.003	0.053	1.076	1.795
Octubre	1.9312	8.482	29.1	1.25	0.83	2.243	0.039	0.026	2.309	0.847
Marzo	2.5006	7.895	24.8	0.43	0.28	2.434	0.018	0.055	2.507	1.637

$A_T$  = alcalinidad total;  $P_{CO_2}$  = presión parcial del  $CO_2$ ;  $\Sigma CO_2$  =  $CO_2$  total.

tubre la menor concentración del ion  $\text{Ca}^{2+}$ . La salida de iones carbonato disminuye la  $A_T$ , al disminuir la concentración de  $\text{CO}_2^*$  se incrementa la presencia de  $\text{CaCO}_3$ .

Para el Rlo Jamapa, Zona de Mezcla y las Lagunas, los valores más altos de  $A_T$  se dan para el mes de marzo, principalmente por el incremento en la concentración del ion  $\text{HCO}_3^-$ . Esto puede deberse a procesos de disolución que se suceden en el Rlo Jamapa, cuyo aporte al Sistema Lagunar es significativo. Para este mes se esperarla un mayor porcentaje en la saturación de calcita y aragonita debido al aumento en la evaporación, de acuerdo a los resultados de la Tabla 12 este mayor porcentaje se da en el mes de octubre, estas variaciones pueden atribuirse a procesos de dilución y biológicos no considerados en este trabajo, lo que requiere de su comprobación posterior.

En el mes de junio se reportan los valores más bajos para los parámetros del sistema del bióxido de carbono y para el pH. Estos resultados indican que la alcalinidad total está dada principalmente por bicarbonatos. La concentración del ion  $\text{CO}_3^{2-}$  es muy baja, por lo que el grado de saturación del agua del Sistema Lagunar es mínimo. La cantidad de bióxido de carbono libre concuerda con el grado de saturación observado. El inicio de la época de lluvias

puede ser la causa de que este aporte de bicarbonatos no sea tan significativo como en los meses de octubre y marzo. Procesos químicos, tales como oxidación y reducción, parecen ser mayores en el mes de junio.

Las variaciones en los resultados obtenidos para las muestras del Rlo Jamapa, la Zona de Mezcla y las Lagunas son mínimas. Para el Rlo Jamapa se esperaba que el sistema del dióxido de carbono estuviera dado principalmente por el ion  $\text{HCO}_3^-$  (17) como corresponderla a un río. Los resultados obtenidos indican una gran influencia del agua de mar durante los meses de octubre y marzo, marcado por un contenido de dióxido de carbono total semejante al de las Lagunas que tienen una salinidad mayor a 10 ‰. En las muestras del Rlo Jamapa y la Zona de Mezcla se observa el mayor porcentaje de saturación, causado probablemente por un incremento en procesos biológicos, químicos [adsorción] y físicos [evaporación, circulación del aire y cambios en la temperatura].

#### Banco Chínchorro

Los resultados del sistema del dióxido de carbono para el Banco Chínchorro se dan en la Tabla número 13. Los valores de pH medidos a 25°C se encuentran dentro del intervalo de 7.5 a 8.4 dado para el agua de mar [24, 56]. Las di

Tabla No. 13 Sistema del Bióxido de Carbono del Banco Chinchorro.

PROFUNDIDAD (m)	$A_T$ (meq.Kg <sup>-1</sup> )	pH	T (°C)	$\alpha$ cal cita	$\alpha$ arago nita	$HCO_3^-$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$CO_3^{2-}$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$CO_2^*$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$\Sigma CO_2$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$P_{CO_2}$ (atm)
ESTACION NORTE										
5	2.206	8.029	28.236	3.63	2.42	1.814	0.157	0.017	1.988	0.670
100	2.172	7.663	25.665	1.65	1.10	1.986	0.074	0.043	2.102	1.530
200	2.152	7.616	18.877	1.35	0.90	1.990	0.063	0.045	2.098	1.357
500	2.135	7.582	10.324	1.06	0.71	1.998	0.052	0.046	2.096	1.069
700	2.151	7.544	6.780	0.91	0.61	2.028	0.046	0.051	2.125	1.034
1000	2.145	7.535	6.761	0.98	0.66	2.004	0.053	0.043	2.100	0.875
ESTACION SUR										
5	2.202	7.923	27.970	2.94	1.96	1.884	0.127	0.023	2.034	0.881
100	2.204	7.782	25.488	2.14	1.43	1.963	0.096	0.032	2.091	1.156
500	2.162	7.543	9.518	0.98	0.66	2.036	0.048	0.052	2.136	1.162
700	2.158	7.604	6.716	1.05	0.71	2.016	0.053	0.043	2.113	0.880
ESTACION OESTE										
5	2.197	7.986	27.934	3.32	2.21	1.837	0.144	0.019	2.000	0.741
100	2.211	7.831	26.192	2.39	1.60	1.943	0.106	0.029	2.078	1.049

$A_T$  = alcalinidad total;  $P_{CO_2}$  = presión parcial del  $CO_2$ ;  $\Sigma CO_2$  =  $CO_2$  total.

Tabla No. 13 Continuación. Sistema del Dioxido de Carbono del Banco Chinchorro.

PROFUNDIDAD (m)	pH (meq.Kg <sup>-1</sup> )	T (°C)	σ <sub>t</sub> cal cita	σ <sub>θ</sub> arago nita	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> <sup>*</sup> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	ΣCO <sub>2</sub> (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (atm)	
200	2.132	7.513	19.239	1.07	0.71	2.004	0.050	0.058	2.112	1.768
500	2.158	7.611	10.047	1.15	0.77	2.010	0.056	0.043	2.110	0.991
ESTACION ESTE										
5	2.203	8.018	28.281	3.55	2.37	1.819	0.153	0.018	1.991	0.691
100	2.226	7.860	26.572	2.56	1.71	1.941	0.114	0.027	2.081	0.992
200	2.176	7.738	20.763	1.82	1.21	1.960	0.084	0.034	2.078	1.073
500	2.136	7.612	10.488	1.14	0.77	1.988	0.056	0.043	2.087	0.995
700	2.153	7.552	7.381	0.94	0.63	2.027	0.047	0.050	2.125	1.036
1000	2.164	7.717	5.018	1.27	0.86	1.982	0.068	0.032	2.081	0.605
ESTACION CAYO LOBOS SUR										
1	2.189	7.993	28.130	3.54	2.32	1.813	0.150	0.018	1.982	0.698
ESTACION CAYO NORTE										
1	2.188	8.008	28.253	3.47	2.31	1.812	0.150	0.018	1.981	0.698
ESTACION CAYO CENTRO										
1	2.308	8.154	28.172	4.86	3.24	1.785	0.211	0.013	2.189	0.488

A<sub>T</sub> = alcalinidad total; P<sub>CO<sub>2</sub></sub> = presión parcial del CO<sub>2</sub>; ΣCO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> total.



ferencias de este parámetro en las diferentes estaciones para el Banco Chinchorro son mínimas, con una ligera tendencia a disminuir conforme aumenta la profundidad, situación que confirma un ambiente marino [24], y que determina la distribución de los elementos más abundantes, como se observa en la Figura 7.

La alcalinidad total está dada principalmente por los iones  $\text{HCO}_3^-$ . La contribución de los iones  $\text{CO}_3^{2-}$  a la alcalinidad y a todo el sistema del bióxido de carbono es pequeña, como corresponde al agua de mar (Tabla 1). Los valores de alcalinidad total y de carbonatos son mayores en las muestras de superficie, con lo que se ve favorecida la precipitación de carbonatos, como lo confirman los valores de porcentaje de saturación de calcita y aragonita para estas muestras. Estos resultados concuerdan con los valores bajos de  $\text{CO}_2^*$  y de  $P_{\text{CO}_2}$  de las muestras de superficie y con lo reportado en otros estudios [5]. A medida que aumenta la profundidad, se observa un incremento en las medidas de  $\text{CO}_2^*$  y de  $P_{\text{CO}_2}$ ; sin embargo, en la muestra de mayor profundidad tomada para cada estación, esta relación se invierte, disminuyendo los valores de  $\text{CO}_2^*$  y de  $P_{\text{CO}_2}$  para esa profundidad, originado probablemente por variación en la temperatura. El contenido del bióxido de carbono total se incrementa con la profundidad, siendo el ion  $\text{HCO}_3^-$  el de mayor

contribución.

En la Tabla número 14 se presenta una comparación del sistema del bióxido de carbono de los tres cuerpos acuáticos que se mencionan, considerando el promedio de los resultados obtenidos para cada uno.

El contenido del bióxido de carbono libre disminuye con el aumento de temperatura y de salinidad, lo que puede observarse en los valores de ese parámetro en el Sistema Lagunar de Mandinga y en el Banco Chinchorro, comparados con los valores del Lago Zempoala, siendo mayores para éste.

En los valores de pH más altos, la presión parcial del bióxido de carbono disminuye, lo cual tiene una relación directa con el contenido total de bióxido de carbono y con el grado de precipitación de carbonato de calcio en forma de calcita y aragonita. El Banco Chinchorro presenta los valores promedio más altos de pH y en consecuencia el mayor grado de saturación de carbonato de calcio en sus aguas, en segundo lugar se encuentra el Sistema Lagunar de Mandinga, debido probablemente a su influencia marina y a sus características físicas (poca profundidad) y climáticas (gran índice de evaporación), y los valores más bajos se observan para el Lago Zempoala.

Tabla No. 14 Comparación del Sistema del Dioxido de Carbono del Lago Zempoala, Sistema Lagunar de Mandinga y Banco Chinchorro.

LUGAR	$A_T$ (meq.Kg <sup>-1</sup> )	pH	$\Omega$ cal cita	$\Omega$ arago nita	$[HCO_3^-]$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$[CO_3^{2-}]$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$[CO_2^*]$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$\Sigma CO_2$ (mmol.Kg <sup>-1</sup> )	$P_{CO_2}$ (atm)
Lago Zempoala	0.8498	7.442	---	---	0.8471	0.0014	0.0660	0.9145	0.0019
Sistema Lagunar de Mandinga	1.9436	7.974	1.9511	1.2989	1.7951	0.0657	0.0368	1.8978	1.1820
Banco Chinchorro	2.2133	8.016	3.6157	2.4043	1.8234	0.1560	0.0180	2.0236	0.6952

$A_T$  = alcalinidad total;  $P_{CO_2}$  = presión parcial del  $CO_2$ ;  $\Sigma CO_2$  =  $CO_2$  total.

El Banco Chinchorro y el Lago Zempoala presentan poca variación en los valores de alcalinidad total respecto a la profundidad. Los valores máximos promedio de alcalinidad se dan en el Banco Chinchorro, en segundo término para el Sistema Lagunar de Mandinga y por último para el Lago Zempoala. En el Sistema Lagunar de Mandinga y en el Banco Chinchorro se aprecia un pequeño aporte del ion carbonato a la alcalinidad total, lo que debe atribuirse al carácter marino de estos dos ecosistemas; sin embargo, es conveniente notar que en un ambiente típicamente marino, la presencia del ion carbonato en el sistema del dióxido de carbono es predominante sobre el ion bicarbonato (24), lo cual no se cumple específicamente para el Banco Chinchorro que se considera agua de mar. Esto puede ser consecuencia de la influencia del origen geológico del banco de coral en el agua que lo circunda (13).

El contenido del dióxido de carbono total del agua de mar es más grande que otras soluciones, tal como el agua de un lago o de una laguna costera, como se observa en los resultados de dióxido de carbono total para los tres ecosistemas revisados. La composición química de cada sistema tiene relación directa con lo mencionado anteriormente, los gramos totales para el agua de mar, en este caso representada por el agua del Banco Chinchorro, son mayores que para el Sistema Lagunar de Mandinga y para el Lago Zempoala.

## CONCLUSIONES

En el Lago Zempoala, el Sistema Lagunar de Mandinga y el Banco Chinchorro, los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  son los que contribuyen en mayor medida a la salinidad del agua. En el Lago Zempoala se presenta la menor concentración de estos iones, en orden ascendente le sigue el Sistema Lagunar de Mandinga y por último el Banco Chinchorro.

El Sistema Lagunar de Mandinga y el Banco Chinchorro presentan gran semejanza en su composición química (Tabla 6), sin embargo, en el Sistema Lagunar de Mandinga la influencia del Rlo Jamapa es bastante significativa para todo el sistema, confiriéndole junto con el aporte marino fuertes fluctuaciones de concentración en las diferentes épocas y estaciones de muestreo.

En el Banco Chinchorro se observa la mayor concentración de estos iones y una distribución casi uniforme en las diferentes estaciones de muestreo y profundidades, lo que indica que se realiza en el cuerpo acuático una mezcla casi completa de los iones analizados, debido a la circulación.

Como la composición química está directamente relacionada con la salinidad y en consecuencia con la densidad relati-

va, los valores más altos de los tres sistemas tratados se encontraron para el Banco Chinchorro, en segundo término para el Sistema Lagunar de Mandinga y los datos menores se reportan para el Lago Zempoala.

Como se observa en la Tabla 10, los datos de densidad relativa que presentan menores desviaciones, por cualquiera de los modelos empleados para su cálculo, corresponden al Lago Zempoala y al Banco Chinchorro, lo que no obstante ser de composición química diferente en concentración, presentan semejante comportamiento físicoquímico en cuanto a fluctuaciones de densidad con respecto a la profundidad. No así el Sistema Lagunar de Mandinga, que varía considerablemente en las densidades de los puntos muestreados (Tabla 9).

El sistema del dióxido de carbono, como mecanismo de amortiguación de pH se presenta en los tres sistemas acuáticos, notándose en el Banco Chinchorro (agua de mar) menores alteraciones de los parámetros de este sistema.

Los valores promedio de pH más altos se reportan para el Banco Chinchorro (Tabla 14), y los menores para el Lago Zempoala, por lo que el contenido de dióxido de carbono total y el grado de saturación del agua respecto al carbonato de calcio es mayor en el agua del Banco Chinchorro y me

nor en el agua del Lago Zempoala, encontrándose en una parte intermedia el agua del Sistema Lagunar de Mandinga, esto obedece a la relación directa que tienen el pH, el bióxido de carbono total y el grado de precipitación de carbonato de calcio.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Ander, P. y A.J.Sonnessa. 1978. Principios de Quimica, Introducción a los conceptos técnicos, cuarta impresión, Ed. Limusa, México, 189-338, 481-537.
- 2 Anguas, V.B. 1976. Informe preliminar acerca del estudio de la población ostrícola de la laguna de Mandinga, Ver. Memorias. Reunión sobre los recursos de la pesca costera de México, INP, 143-157.
- 3 Arreguín, S.F. 1976. Notas preliminares sobre las jaibas (Portunidae, Calinectes sp), en las lagunas de Mandinga, Ver. Memorias. Reunión sobre los recursos de la pesca costera de México, INP, 159-171.
- 4 Boyd, C.E. 1979. Water Quality in Warmwater Fish Ponds, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359.
- 5 Butler, J.N. 1982. Carbon Dioxide Equilibrio and their Applications, Addison-Wesley Publishing Co. Moss.
- 6 Carta Batimétrica Mar Caribe, 1979. Srta.Prog.y Pres, México, D.F.



- 7 Carta de Evapotranspiración y Déficit de Agua. 1979. Snta.Prog.y Pres., México, D.F.
- 8 Carta de Precipitación. 1979. Snta.Prog. y Pres., México, D.F.
- 9 Carta de Temperatura Media. 1979. Snta.Prog.y Pres., México,D.F.
- 10 Carta de Uso del Suelo y Vegetación E16-2-5. 1979. Snta.Prog.y Pres., México, D.F.
- 11 Carta Edafológica E16-2-5. 1979, Snta.Prog y Pres., México, D.F.
- 12 Carta Edafológica Milpa Alta. 1979. Snta.Prog.y Pres., México, D.F.
- 13 Carta Geológica E16-2-5. 1979. Snta.Prog.y Pres., México, D.F.
- 14 Carta Hidrológica Milpa Alta. 1979. Snta.Prog.y Pres., México, D.F.
- 15 Carta Topográfica E16-2-5, 1979. Snta,Prog.y Pres., México, D.F.

- 16 Cloud, P.E., Jr. 1968. Carbonate Precipitation and Dissolution in the Marine Environment, in J.P.Riley and G.Skirrow, Eds., Chemical Oceanography, v. 2, 2a. ed., London, Academic Press.
- 17 Cole, G.A. 1979. Textbook of Limnology, second edition, The C.V.Mosby Company, St.Louis, Missouri, USA, 9-336.
- 18
- 19 Cox, R.A., F. Culkin, and J.P. Riley. 1967. The electrical conductivity/chlorinity relationship in natural seawater, Deep-Sea Research, 14: 203.
- 20 Cruz, G.A. y A. Rocha. 1981. Variación estacional del Ictioplancton del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México. ALICMAR-UNAM.
- 21 Culkin, F. 1965. The major constituents of seawater, in J.P. Riley and C.Skirrow, Ed., Chemical Oceanography, v. 1, London, Academic Press, 121.
- 22 Culkin, F., and R.A. Cox. 1966. Sodium, potassium, magnesium, calcium and strontium in seawater, Deep-

Sea Research, 13: 789-804.

- 23 Chávez, A.E. y otros. 1976. Prospección ecológica de las lagunas de Mandinga, Veracruz. Memorias. 1a. Reunión Latin.sobre Cien.y Tecnol.de los Océanos. (México): 141-163.
- 24 Davis, C.W. 1962. Ion Association, Butterworth, Washington, D. C.
- 25 Davis, R.A. 1972. Principles of Oceanography, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA, 134-204.
- 26 Departamento de Pesca. 1967. Proyecto para la rehabilitación de las condiciones bioecológicas de la Laguna de Mandinga, Ver., DIPESA, Recursos Pesqueros, Infraestructura Pesquera.
- 27 Departamento de Pesca. 1978. Desarrollo Integral de Boca del Rlo-Laguna de Mandinga, Ver., DIPESA, Recursos Pesqueros, Infraestructura Pesquera.
- 28 Edmond, J.M. 1970. High precision determination of titration alkalinity and total carbon dioxide content of seawater by potentiometric titration, Deep-Sea Research, 17: 737-750.
- 29 Edmond, J.M., and J.M.T.M. Gleskes. 1970. On the calculation of the degree of saturation of seawater

- with respect to calcium carbonate under *in situ* conditions, Geochim. et Cosmochim., Acta 34:1261-1291.
- 30 Emmet, R.T., and F.J. Millero. 1974. Direct measurement of the specific volume of seawater from -2 to 40°C and from 0 to 1000 bars, preliminary results, Jour. Geophys. Research, 79: 3463.
- 31 Fischer, R.B., y D.G. Peters. 1981. Compendio de Análisis Químico Cuantitativo, Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., México, 183-206.
- 32 Flaschka, H., and J. Gauchoff. 1961. Photometric titrations III. The consecutive titration of calcium and magnesium, Talanta, 8: 720.
- 33 García, E. 1980. Apuntes de climatología. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- 34 Goldman, Ch. R., and A.J. Horne. 1983. Limnology, Mc Graw-Hill, Inc., USA.
- 35 Gran, G. 1952. Determination of the equivalence point in potentiometric titrations. Part II. Analyt., 77: 661-671.
- 36 Grasshoff, K. 1982. Methods of Seawater Analysis, Verlag Chemil.

- 37 Hutchinson, G.E. 1975. *A treatise on limnology*, v. II, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- 38 Ingle, S.E., C.H. Culberson, J.E. Hawley, and R.M. Pytkowicz. 1973. The solubility of calcite in seawater at atmospheric pressure and 35<sup>0</sup>/oo salinity, Mar.Chem. 1: 295-307.
- 39 Ingle, S.E. 1975. Solubility of calcite in the ocean, Mar.Chem., 3: 301-319.
- 40 Jenkins, D., V.L. Snowyink, J.F.Ferguson, y J.O. Leckie. 1983. *Química del agua, Manual de Laboratorio*, Ed.Limusa, México.
- 41 Johnston, J. 1916. The determination of carbonic acid, combined and free, in solution, particularly in natural waters, Jour.Am.Chem.Soc., 38: 947-975.
- 42 Johnston, J. and E.D. Williamson. 1916. The complete solubility curve of calcium carbonate, Jour.Am.Chem.Soc., 38: 975-983.
- 43 Langmuir, D. 1968. Stability of calcite based on aqueous solubility measurements, Geochim. et Cosmochim., 32: 835-851.

- 44 Lind, O.T. 1979. Handbook of common methods in Limnology, second edition, The C.V. Mosby Company, St. Louis, Missouri, USA.
- 45 Livingstone, D.A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes, Data of Geochemistry, 6<sup>th</sup> edition, Chapter G, U.S. Geological Survey, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., G1-G64.
- 46 Luna, M., D. Martínez, y F.J. Ramos. 1982. "Estudio preliminar de algunos parámetros hidrológicos de las Lagunas de Mandinga, Ver., Méx., durante dos épocas climáticas diferentes", Lic. en Biología, UNAM, ENEP Zaragoza, México, D.F., 29.
- 47 MacInnes, D.A., and D. Belcher. 1933. The Thermodynamic Ionization Constants of Carbonic Acid, Jour. Am. Chem. Soc., 55: 2630-2646.
- 48 Martín del Campo, R. 1940. Nota acerca de algunos vertebrados de las Lagunas de Cempoala y sus alrededores, An. Inst. Biol. UNAM, 11 (2): 741-743.
- 49 Mehrbach C., C.H. Culberson, J.E. Hawley, and R.M. Pytkowicz. 1973. Measurements of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure, Limnol. Oceanogr., 18: 897-907.

- 50 Millero, F.J. 1974. Seawater as a multicomponent electrolyte solution, In Goldberg, E.D., Ed., *The Sea*, v. 5, New York, John Wiley and Sons, 3-80.
- 51 Millero, F.J. 1975. The Physical Chemistry of Estuaries, In church, T.W., Ed. Marine Chemistry in the Coastal Environment, Symp. Ser. 18, ACS, Washington, D.C., 25.
- 52 Millero, F.J. 1979. The thermodynamics of the carbonate system in seawater, Geochim. et Cosmochim. Acta 43: 1651-1661.
- 53 Moore, E.W. 1939. Graphic Determination of Carbon Dioxide and the Three Forms of Alkalinity, Jour. Am. Wat. Wor. Assoc., 31: 51-66.
- 54 Morel, M.H.F. 1983. Principles of Aquatic Chemistry, Whiley, Interscience, New York.
- 55 Odum, H.T., and Ch.M. Hoskin. 1958. Comparative Studies on the Metabolism of Marine Waters, Inst. of Mar. Scien., University of Texas, 5: 16-46.
- 56 Park, K., D.W. Hood, and H.T. Odum. 1958. Diurnal pH variation in Texas Bays, and Its Application to

- Primary Production Estimation, Publ. Inst. Mar. Scienc., University of Texas. 5: 47-64.
- 57 Parker, C.R. 1972. Water Analysis by Atomic Absorption Spectroscopy, Varian Techtron, Pty. Ltd., Palo Alto, California, USA.
- 58 Picker, P., E. Tremblay, and C. Jolicoeur. 1974. A high precision digital readout flow densimeter for liquids, Jour. Soc. Chem., 3: 377.
- 59 Plath, D.C., and R.M. Pytkowicz. 1980. The solubility of Aragonite in seawater at 25,0°C and 32.62 ‰ salinitu, Mar. Chem., 10: 3-7.
- 60 Ramette, R.W. 1983. Equilibrio y Analisis Quimico, Fondo Educativo Interamericano, USA, 791.
- 61 Reilly, P.J., R.H. Wood, and R.A. Robinson. 1971. Jour. Phys. Chem. 75: 1305.
- 62 Riley, J.P., and R.A. Chester. 1973. In Introduction to Marine Chemistry, 2a. ed., Academic Press, Britain.
- 63 Rioja, E. 1940. Datos sobre Branchiobdellida de Xochimilco, Zempoala y Texcoco, An. Inst. Biol. UNAM, 11 (1): 249-253.



- 64 Rioja, E. 1940. Una nueva variedad de Spongilla fragilis de las lagunas de Zempoala, An. Inst. Biol. UNAM, 11 (2): 555-557.
- 65 Robinson, R.A., R.H. Wood, and P.J. Reilly. 1971. Jour. Chem. Thermodyn., 3: 461.
- 66
- 67 Ruiz, L.M. 1984. Mecanograma de 9o. Semestre de la Carrera de Biólogo de la ENEP Zaragoza, UNAM, "Estudio de la composición, variación estacional y distribución espacio-temporal de las clorofitas del Lago de Zempoala, Estado de Morelos".
- 68 Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México, Limusa, México, 331.
- 69 Sánchez, Ch.J. 1976. Contribución al conocimiento de la ictiofauna de las lagunas de Mandinga, Veracruz. Memorias. Reunión sobre los recursos de la pesca costera de México. INP. 205-219.
- 70 Síntesis Gráfica y Descriptiva. 1979. Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Parques Nacionales. Srla. Prog. y Pres., México.

- 71 Skirrow, G. 1975. The dissolved gases-carbon dioxide in. *Chemical Oceanography* (ed. J.P. Riley and G. Skirrow), v. 2, 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, 1-181.
- 72 Sosa, H.A. 1935. Los Bosques de Huitzilac y las Lagunas de Zempoala en el Estado de Morelos, México Forestal, 13: 39-46.
- 73 Strickland, J.D.H., and T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- 74 Stum, W., and J.J. Morgan. 1981. *Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, USA.
- 75 Sverdrup, H.U., M.W. Johnson, and R.H. Fleming. 1970. *The Oceans (Their Physics, Chemistry, and General Biology)*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., USA.
- 76 Valdés, D.J. 1982. "Constantes de Equilibrio del Acido Carbónico en Aguas Hipersalinas", M. en C. del Mar (Oceanografía Química, UNAM, Inst. Cienc. Mar y Limn., México, 51.

- 77 Vázquez, F. 1983. "La Físicoquímica de la Laguna de Mandinga, el río Jamapa y su zona de Mezcla, Ver., México", Dr. en Ciencias del Mar (Oceanografía Química), UNAM, Inst. Cienc. Mar y Limn., México, 145.
- 78 Vogel, I.A. 1972. A text-book of Quantitative Inorganic Analysis, Longman, London.
- 79 Weiss, R.F. 1974. Carbon dioxide in water and seawater: The solubility of a non-ideal gas, Mar. Chem., 2: 203-215.
- 80 Wetzel, R.G. 1975. Limnology, Suncer College Publishing, Philadelphia, USA.
- 81 Willard, H.H., L.L. Merritt Jr., J.A. Dean. 1981. Métodos Instrumentales de Análisis, cuarta impresión, Cla. Ed. Continental, S.A., México.