

03083



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO<sup>1</sup>

Colegio de Ciencias y Humanidades  
Unidad Académica de los Ciclos  
Profesional y de Posgrado

Le

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
ESPECIALIZACION, MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
CIENCIAS DEL MAR.

La Físicoquímica de la Laguna de Mandinga,  
el río Jamapa y su zona de Mezcla,  
Ver., México.

TESIS

Para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS DEL MAR  
(Oceanografía Química)

P r e s e n t a:

FELIPE VAZQUEZ GUTIERREZ

LIBROS CON  
FALSA FE CRISTO

México, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. GENERALIDADES.	5
2.1 LA FISICOQUÍMICA DEL AGUA DE MAR, DE ESTUARIOS Y RÍOS.	8
2.2 PROPIEDADES DE LOS SOLUTOS IÓNICOS DE EL AGUA DE MAR.	24
2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE AGUAS DE RÍOS, ESTUARIOS, LAGOS, LAGUNAS Y AGUA DE MAR.	36
2.4 LA DENSIDAD DE LAGOS, RÍOS, LAGUNAS Y ESTUARIOS.	44
2.5 ESPECIACIÓN DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES EN RÍOS, LAGOS Y AGUA DE MAR.	60
3. ÁREA DE ESTUDIO.	67
3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN.	67
3.2 CLIMA.	68
3.3 VEGETACIÓN.	69
3.4 SEDIMENTOS.	69
4. PARTE EXPERIMENTAL.	71

	PÁGINA
4.1 DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD POR EVAPORACIÓN.	71
4.2 DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD POR MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE CONDUCTIVIDAD.	73
4.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.	73
4.4 DETERMINACIÓN DE CLORINIDAD.	74
4.5 DETERMINACIÓN DE SULFATOS.	74
4.6 DETERMINACIÓN DE BROMUROS.	75
4.7 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.	75
4.8 DETERMINACIÓN DE POTASIO.	76
4.9 DETERMINACIÓN DE ESTRONCIO.	76
4.10 DETERMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO.	76
4.11 DETERMINACIÓN DE SODIO.	76
4.12 DETERMINACIÓN DE NITRATOS Y SILICATOS.	77
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.	78
5.1 SALINIDAD.	78
5.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA.	83
5.3 DENSIDAD.	100
5.4 LA ESPECIACIÓN DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES.	115
6. CONCLUSIONES.	143

	PÁGINA
7. AGRADECIMIENTOS.	145
8. LITERATURA CITADA.	146
9. TÍTULOS DE LAS FIGURAS.	
10. FIGURAS.	

## 1. INTRODUCCION

EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, EL DESEO DE PRESERVAR LOS ECOSISTEMAS HÚMEDOS COSTEROS HA DESPERTADO UN INTERÉS NUEVO POR LOS VALORES Y RECURSOS DE DICHO MEDIO AMBIENTE QUE COMPRENDE LAS LAGUNAS COSTERAS, LOS ESTUARIOS Y DELTAS. EN LA ACTUALIDAD SE RECONOCE AMPLIAMENTE EL VALOR DE LAS LAGUNAS COSTERAS PARA LA PESCA Y LA MARICULTURA.

LAS LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS ALBERGAN MUCHAS ESPECIES LOCALES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA Y TAMBIÉN SIRVEN COMO LUGARES DE DESOVE Y CRÍA PARA LAS ESPECIES MIGRATORIAS. EN SU CICLO VITAL, MUCHAS ESPECIES DE PECES, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS PASAN POR LAS LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS. EN MUCHAS ZONAS LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS PROPORCIONAN CONDICIONES MUY PROPICIAS PARA DESARROLLAR LA PRODUCCIÓN CONTROLADA DE ORGANISMOS MARINOS.

LOS DEPÓSITOS DE LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS CONSTITUYEN A MENUDO, FUENTES ACCESIBLES DE MATERIALES BÁSICOS (SALES Y OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS) PARA USO INDUSTRIAL. CUANDO TIENEN LA PROFUNDIDAD SUFICIENTE, LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS PUEDEN ALBERGAR PUERTOS Y CANALES NAVEGABLES. POR ESTAS CIRCUNSTANCIAS, PUEDEN CONTRIBUIR EN FORMA INDIRECTA AL ASENTAMIENTO DE CENTROS DE POBLACIÓN Y URBANIZACIÓN. EN LAS ZONAS REMOTAS, LAS LAGUNAS COSTERAS PUEDEN CONSTITUIR SANTUARIOS ECOLÓGICOS O SERVIR

PARA EL TURISMO Y EL RECREO.

DESDE HACE MUCHOS SIGLOS SE EMPLEAN LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS PARA LA PESCA Y LA CRÍA DE FORMAS LARVALES Y ADULTAS DE PECES, MOLUSCOS Y CRUSTÁCEOS. DICHS USOS HUMANOS SE HAN INTEGRADO A MENUDO EN FORMA SUMAMENTE ARMONIOSA CON LOS CONTEXTOS TRADICIONALES SOCIOECONÓMICOS, POR EJEMPLO, EN EL ASIA SUD ORIENTAL.

EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, EL DESEO JUSTIFICADO DE EXPLOTAR DE MANERA INTENSIVA LOS PRODUCTOS VIVOS Y RECURSOS NO VIVIENTES DE DICHS SISTEMAS HA DADO ORIGEN A MUCHOS PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN DE LAS LAGUNAS COSTERAS.

LA COMUNIDAD CIENTÍFICA HA SEÑALADO EN FORMA UNÁNIME QUE MUCHAS VECES DICHS PROYECTOS PODRÍAN OCASIONAR DAÑOS GRAVES Y PERMANENTES A UN TIPO DE MEDIO AMBIENTE COSTERO QUE ES INDISPENSABLE PRESERVAR. MUCHAS VECES, LA EXPLOTACIÓN RACIONAL DE ESTAS ZONAS A MENUDO CONTAMINADAS SÓLO PUEDE LLEVARSE A CABO SI SE EJECUTAN AL MISMO TIEMPO OPERACIONES DE SALVAGUARDIA DESTINADAS A RESTAURAR SU ESTADO ORIGINAL. LOS PROYECTOS DE DESARROLLO ECONÓMICO DEBERÍAN INICIARSE SÓLO CUANDO EL EQUILIBRIO NATURAL ECOLÓGICO DEL MEDIO AMBIENTE Y SU POTENCIAL DE PRODUCCIÓN SE COMPRENDAN Y PROTEJAN EN FORMA ADECUADA.

MÉXICO CUENTA CON ALGO MÁS DE 1,500,000 HA DE LAGUNAS COSTERAS. LAS CUALES ALGUNAS VECES SE ENCUENTRAN ASOCIADAS CON ESTUARIOS, RÍOS O AMBOS. EN LA ZONA LITORAL DEL GOLFO DE MÉXICO, EXISTEN LAGUNAS Y ESTUARIOS CUYO EQUILIBRIO BIOLÓGICO, QUÍMICO Y GEOLÓGICO ES MUY SENSIBLE. EN EL CASO PARTICULAR DE LOS SISTEMAS LAGUNARES Y ESTUARIOS DEL ESTADO DE VERACRUZ PODEMOS CONSIDERAR A LA ZONA DE MANDINGA (FIGURA 11), COMO UN SISTEMA QUE HA SUFRIDO GRAVES DAÑOS EN SU MEDIO AMBIENTE DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS. SIENDO UNA CONSTANTE LA FALTA DE ESTUDIOS COMPRENSIVOS SOBRE ESTA ZONA, ES DIFÍCIL INDICAR EN QUE MEDIDA ESTE MEDIO AMBIENTE HA SUFRIDO DAÑO.

CON EL OBJETO DE TENER UNA MEJOR COMPRESIÓN Y DEFINIR UN MARCO GENERAL DE REFERENCIA PARA LAS INVESTIGACIONES DE BIOLOGÍA MARINA, QUÍMICA MARINA Y GEOLOGÍA COSTERA EN LA ZONA DE MANDINGA. SE ESTUDIARÁN EN UN CICLO ANUAL DE MUESTREOS CUATRIMESTRALES LAS VARIACIONES EN LA SALINIDAD, LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  Y  $\text{SiO}_2$ ), LA DENSIDAD Y LA ESPECIACIÓN QUÍMICA DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES.

LA SALINIDAD SERÁ DETERMINADA POR LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR PARA LA CONDUCTIVIDAD (106), POR EVAPORACIÓN (119), DENSIDAD RELATIVA (106) Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA (98,112).



LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES SERÁ ANALIZADA USANDO LAS DIVERSAS TÉCNICAS DE QUÍMICA ANALÍTICA REPORTADAS EN LA BIBLIOGRAFÍA (21, 33, 59, 119).

LA DENSIDAD DE LA ZONA DE MANDINGA, SE DETERMINARÁ POR MEDICIÓN DIRECTA, APLICANDO EL MÉTODO ADITIVO (FRECUENTEMENTE NOMBRADO REGLA DE YOUNG, 179), Y LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR (106).

LA ESPECIACIÓN QUÍMICA SE ESTIMARÁ APLICANDO EL MODELO DEL PAR IÓNICO (102, 114) PARA OBTENER EL PORCENTAJE DE FRACCIÓN LIBRE Y FRACCIÓN COMPLEJADA, DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES PRESENTES EN LA ZONA DE MANDINGA.

ESTOS ESTUDIOS PERMITIRÁN COMPRENDER EL COMO SE SUCEDE EN ESTA ZONA DE MANDINGA LAS REACCIONES QUÍMICAS Y LAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE; ASÍ COMO ESTUDIAR LAS ACTIVIDADES DE LAS SALES DISUELTAS.

## 2. GENERALIDADES

LAS AGUAS NATURALES SE ENCUENTRAN FORMADAS POR DIFERENTES SALES DISUELTAS PRESENTES EN UNA CONCENTRACIÓN MAYOR O MENOR. UNA DE LAS FORMAS DE ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE ESTE TIPO DE AGUAS ES APLICANDO LOS PRINCIPIOS FISICOQUÍMICOS. COMO LAS AGUAS NATURALES ESTÁN FORMADAS POR UNA MEZCLA DE DIVERSAS SALES SE LES PUEDE NOMBRAR SOLUCIONES MULTIELECTROLÍTICAS.

EN ESTA SECCIÓN SE REVISARÁN ALGUNOS MÉTODOS PARA EXAMINAR LA FISICOQUÍMICA DEL AGUA DE MAR, AGUA DE LAGUNAS, AGUA DE RÍOS Y AGUA DE LAGOS.

SE CONOCE POCO ACERCA DE LAS INTERACCIONES IÓNICAS (AGUA-IÓN O IÓN-IÓN) DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES Y LA FORMA COMO ÉSTAS AFECTAN A LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y PROCESOS QUÍMICOS QUE OCURREN EN LOS OCÉANOS, MARES, ESTUARIOS, LAGUNAS Y RÍOS.

RECIENTEMENTE SE HAN HECHO GRANDES AVANCES EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS INTERACCIONES IÓNICAS EN SOLUCIONES FORMADAS POR DIVERSOS ELECTROLITOS (44, 55, 90, 98)<sup>A</sup> Y SE HAN PROPUESTO MODELOS QUÍMICOS PARA INTERPRETAR A ÉSTAS (3, 38, 46, 48)<sup>B</sup>.

---

OTRAS REFERENCIAS SON:

A) 153, 167, 179

B) 53, 62, 77, 98, 99, 101, 117, 122, 135, 148, 170, 171, 184.

EXISTEN INTERACCIONES IÓNICAS QUE AFECTAN AL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE (1, 4, 6, 13)<sup>C</sup>, AL EQUILIBRIO LÍQUIDO SÓLIDO (6, 7, 11, 14)<sup>D</sup>, AL EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO (50, 82, 86, 174), AL EQUILIBRIO LÍQUIDO-GAS (10, 57, 58, 67)<sup>E</sup>, Y AL EQUILIBRIO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN (10, 11, 66-68) EN LOS OCÉANOS, MARES, RÍOS, ESTUARIOS Y LAGUNAS PRINCIPALMENTE.

LAS INTERACCIONES IÓNICAS TAMBIÉN AFECTAN LA DISOLUCIÓN DE LOS SOLUTOS EN EL AGUA DE MAR (3, 36, 63, 64)<sup>F</sup> INFLUYENDO EN LA DENSIDAD, VOLUMEN MOLAL, ETC., DE ESTOS SISTEMAS NATURALES Y EN MUCHOS TRABAJOS SE PROPONE QUE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA ES AFECTADA POR LAS INTERACCIONES IÓNICAS (5, 23, 24, 114, 155).

EL DESARROLLO DE UN MODELO QUÍMICO (173) PARA AGUAS NATURALES ESTÁ FUERTEMENTE INFLUENCIADO POR EL ACOPLAMIENTO DE LA TEORÍA FÍSICOQUÍMICA DE LAS SOLUCIONES, LA QUÍMICA ANALÍTICA MARINA Y EL MANEJO DE DATOS (FIGURA 1). LOS MODELOS QUÍMICOS PROPUESTOS TIENEN UNA GRAN INFLUENCIA Y TENDENCIA HACIA LOS MÉTODOS DESARROLLADOS POR LA FÍSICOQUÍMICA DE LAS SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS. ALGUNAS DE ESTAS TENDENCIAS SE DAN EN LA TABLA 1. LA

---

OTRAS REFERENCIAS SON:

- C) 17, 18, 26, 27, 30-32, 34, 47, 49, 56, 60, 62, 65, 70, 71, 83, 92, 118, 137, 141, 142, 152, 163, 165, 171, 172.  
 D) 15, 19, 28, 35, 64, 66, 72, 88, 105, 124, 134-137, 153, 159.  
 E) 68, 74, 86, 87, 90, 109, 156  
 F) 69, 81, 85, 89, 110, 138, 140, 154, 173, 175-177, 179, 182, 184.

T A B L A 1

TENDENCIAS DE LOS METODOS DESARROLLADOS EN LA INTERPRETACION DE LAS INTERACCIONES IONICAS EN QUIMICA MARINA Y FISICOQUIMICA.

QUÍMICA MARINA	MODELO	FISICOQUÍMICA
<u>COMPOSICIÓN CONSTANTE</u> (FORCHAMMER, 1865; DITMAR, 1884)	SALES NO IONIZADAS MÁS IONES	<u>IONIZACIÓN DE SALES</u> (ARRHENIUS, 1887)
<u>DATOS DEL EQUILIBRIO</u> <u>ÁCIDO - BASE</u> (BUCH, 1930; LYMAN, 1940)	ACTIVIDAD DE IONES.	<u>LEY LIMITANTE DE LA</u> <u>TEORÍA DE LAS INTER-</u> <u>ACCIONES IÓNICAS</u> (DEBYE-HÜCKEL, 1923)
<u>DATOS DE SOLUBILIDAD</u> <u>DISPONIBLES Y APLICA-</u> <u>CIÓN DEL MODELO DEL</u> <u>PAR-IÓNICO</u> (SILLEN, 1959; GARRELS Y THOM- SON, 1962)	ACTIVIDADES DE IONES Y  PAR IÓNICO	<u>EXTENSIONES DE LA</u> <u>LEY LIMITANTE</u> (BJERRUM, 1926; GU- GGENHEIM, 1935)
<u>DATOS ANALÍTICOS DIS-</u> <u>PONIBLES PARA ACTIVI-</u> <u>DADES, USANDO ELECTRO-</u> <u>DOS ESPECÍFICOS DE</u> <u>IONES</u> (PYTKOWICZ, ET. AL., 1967)	PAR IÓNICO	<u>IMPORTANCIA DE LAS</u> <u>INTERACCIONES AGUA-</u> <u>AGUA Y IÓN-AGUA,</u> (FRANK, ET. AL., 1940)
<u>APLICACIÓN AL AGUA DE</u> <u>MAR DE LAS TEORÍAS DE</u> <u>LAS SOLUCIONES, FORMA-</u> <u>DAS POR DIVERSOS ELEC-</u> <u>TROLITOS.</u> (MILLERO ET. AL, 1969; LEYENDEKKERS, 1973; WHITFIELD, 1973; WOOD ET. AL., 1972)	HIDRATACIÓN DE IONES, PA- RES IÓNICOS: CATION-ANIÓN, CATION-CATION Y ANIÓN- ANIÓN	<u>DESARROLLO DE LA ME-</u> <u>CÁNICA ESTADÍSTICA</u> <u>EN LAS TEORÍAS DE</u> <u>LAS SOLUCIONES FOR-</u> <u>MADAS POR DIVERSOS</u> <u>ELECTROLITOS,</u> (SCATCHARD, 1968; YOUNG, 1951; FRIED- MAN, 1959)

APLICACIÓN DE UN MODELO QUÍMICO PARA EXAMINAR LAS INTERACCIONES IÓNICAS EN AGUAS NATURALES SE HA CONFINADO A DOS ÁREAS :

- 1) DONDE ESTÁN RELACIONADAS CON LOS PROCESOS TERMODINÁMICOS Y LAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE DEL AGUA DE MAR Y
- 2) DONDE ESTÁN RELACIONADAS CON EL EFECTO DEL AGUA DE MAR, SOBRE LA ACTIVIDAD DE LOS SOLUTOS DISUELTOS. ÉSTAS DOS ÁREAS SE DISCUTIRÁN A CONTINUACIÓN.

## 2.1 LA FISICOQUÍMICA DEL AGUA DE MAR, DE ESTUARIOS Y RÍOS

UNO DE LOS CONCEPTOS ÚTILES AL EXAMINAR LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLUCIONES ES EL DE LAS PROPIEDADES MOLALES APARENTES. ÉSTAS PROPIEDADES ESTÁN RELACIONADAS CON LOS CAMBIOS FISICOQUÍMICOS QUE OCURREN CUANDO SE FORMA UNA SOLUCIÓN. POR EJEMPLO SI SE MEZCLAN AGUA Y SAL PARA FORMAR AGUA DE MAR



SE OBTIENE UN CAMBIO DE VOLUMEN ( $\Delta V$ ) Y UN CAMBIO DE CALOR ( $\Delta H$ ) DADO POR

$$\Delta V = V_{\text{SW}} - V_{\text{H}_2\text{O}} \quad (2)$$

$$\Delta H = H_{SW} - H_{H_2O} \quad (3)$$

DONDE  $V_{SW}$  Y  $V_{H_2O}$  SON EL VOLUMEN DEL AGUA DE MAR Y EL AGUA PURA RESPECTIVAMENTE Y  $H_{SW}$  Y  $H_{H_2O}$  SON EL CONTENIDO CALORÍFICO DEL AGUA DE MAR Y DEL AGUA PURA. EL VOLUMEN MOLAL APARENTE Y LA ENTALPÍA SON DEFINIDOS POR

$$\phi_V = \Delta V / n_T \quad (4)$$

$$\phi_H = \Delta H / n_T \quad (5)$$

DONDE  $n_T$  ES EL NÚMERO DE MOLES DE SAL ADICIONADAS PARA FORMAR LA SOLUCIÓN. ÉSTO PERMITE DETERMINAR LAS PROPIEDADES MOLALES APARENTES DE OTRAS CANTIDADES FÍSICOQUÍMICAS EN UNA FORMA SIMILAR Y EN FORMA GENERAL SE TIENE:

$$\phi = (P - P_{H_2O}^0) / n_T \quad (6)$$

DONDE  $\phi$  ES LA PROPIEDAD MOLAL APARENTE,  $P$  ES LA PROPIEDAD DE LA SOLUCIÓN,  $P^0$  ES LA PROPIEDAD DEL AGUA Y  $n_T$  ES EL NÚMERO TOTAL DE MOLES ( O EQUIVALENTES) DE SAL ADICIONADOS PARA FORMAR LA SOLUCIÓN.

UNA DE LAS GENERALIZACIONES MÁS ÚTILES DESARROLLADAS PARA ESTIMAR  $\phi$  EN SOLUCIONES FORMADAS POR DIVERSOS ELECTROLITOS ES LA REGLA DE YOUNG (180, 181) Y SUS MODIFICACIONES, REALIZADAS POR WOOD ET AL. (143, 178) Y MILLERO (98). LA REGLA DE YOUNG

PARA UNA SOLUCIÓN FORMADA POR DIVERSOS ELECTROLITOS SE ENUNCIA EN LA SIGUIENTE FORMA

$$\phi = \sum_i (n_i / n_T) \phi_i \quad (7)$$

DONDE  $n_i$  SON LAS MOLES (O EQUIVALENTES) DEL SOLUTO  $i$ ,  $n_T = \sum_i n_i$  SON LAS MOLES TOTALES DE LOS COMPONENTES Y  $\phi_i$  ES LA PROPIEDAD MOLAL (O EQUIVALENTE) DEL SOLUTO  $i$  A LA FUERZA IÓNICA DE LA SOLUCIÓN. ÉSTA RELACIÓN EN UNA PRIMERA APROXIMACIÓN ESTABLECE QUE LAS PROPIEDADES EN EXCESO DE UNA MEZCLA DE SALES A UNA FUERZA IÓNICA CONSTANTE PUEDEN SER DESPRECIADAS. ÉSTA RELACIÓN ES MUY ÚTIL CUANDO SE APLICA A SOLUCIONES FORMADAS POR MÁS DE UN ELECTROLITO. EL SIGNO DE SUMATORIA EN LA ECUACIÓN (7) NOS INDICA QUE SE NECESITAN USAR TODAS LAS COMBINACIONES POSIBLES QUE PUEDAN EXISTIR EN LA SOLUCIÓN ÉSTO ES, SE INCLUYEN TODAS LAS INTERACCIONES  $\oplus$ — $\ominus$  DE LA SOLUCIÓN. AL DETERMINAR LOS TÉRMINOS IÓNICOS EN ESTA FORMA ESENCIALMENTE SE ELIMINAN LAS INTERACCIONES EN EXCESO  $\oplus$ — $\ominus$  (DEBIDO POSIBLEMENTE A LA FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS). PARA UNA SOLUCIÓN QUE CONTIENE DIVERSOS COMPONENTES IÓNICOS ES POSIBLE USAR LA REGLA DE YOUNG, POR EJEMPLO PARA LAS SALES MÁS ABUNDANTES EN EL AGUA DE MAR ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$ ) se tiene

$$\Phi = E_{NaCl} \phi_{NaCl} + E_{MgSO_4} \phi_{MgSO_4} \quad (8)$$

$$\Phi = E_{\text{Na}_2\text{SO}_4} \phi_{\text{Na}_2\text{SO}_4} + E_{\text{MgCl}_2} \phi_{\text{MgCl}_2} \quad (9)$$

$$\Phi = E_{\text{NaCl}} \phi_{\text{NaCl}} + E_{\text{Na}_2\text{SO}_4} \phi_{\text{Na}_2\text{SO}_4} + \quad (10)$$

$$E_{\text{MgSO}_4} \phi_{\text{MgSO}_4} + E_{\text{MgCl}_2} \phi_{\text{MgCl}_2}$$

DONDE  $E_i$  ES LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL COMPONENTE  $i$  Y  $\phi(i)$  ES LA PROPIEDAD MOLAL EQUIVALENTE DE  $i$  A LA FUERZA IÓNICA DE LA MEZCLA.

WOOD Y ANDERSON (178) HAN SUGERIDO QUE LA ECUACIÓN (10) ES LA MEJOR FORMA DE TOMAR EN CUENTA TODAS LAS POSIBLES INTERACCIONES ENTRE CATIONES Y ANIONES. EN UN TRABAJO MÁS RECIENTE REILLY Y WOOD (144) INDICAN UNA FORMA MÁS GENERAL PARA REPRESENTAR LA REGLA DE YOUNG

$$\Phi = \sum_{MX} E_M E_X \phi_{MX} \quad (11)$$

DONDE  $E_M$  ES LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL CATION  $M$  Y  $E_X$  ES LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL ANIÓN  $X$ . ESTA ECUACIÓN LLEVÓ A UNA PRIMERA MEZCLA DE TODAS LAS SALES DE UN CATION A UNA FUERZA IÓNICA CONSTANTE DE TAL MANERA QUE SE PRODUCE LA COMPOSICIÓN DEL CATION DE LA MEZCLA FINAL. ESTE PASO ES REPETIDO PARA CADA CATION Y ENTONCES TODAS LAS SOLUCIONES CATIONICAS RESULTANTES FUERON MEZCLADAS PARA OBTENER LA MEZCLA FINAL. MILLERO



(98, 99) BASADO EN ESTE PROCEDIMIENTO ELABORÓ UN MODELO PARA EL AGUA DE MAR. AL HACER LA SUMATORIA TOTAL DE SUS SALES POSIBLES PARA CADA CATION SE OBTIENE LA CONTRIBUCIÓN DEL PESO EQUIVALENTE DEL CATION

$$\begin{aligned} \Phi (M \sum X_i) = & E_M E_{Cl} \phi_{MCl} + E_M E_{SO_4} \phi_{MSO_4} + \\ & E_M E_{HCO_3} \phi_{MHCO_3} + E_M E_{Br} \phi_{MBr} + \\ & E_M E_{CO_3} \phi_{MCO_3} + E_M E_{B(OH)_4} \phi_{MB(OH)_4} + \\ & E_M E_F \phi_{MF} \end{aligned} \quad (12)$$

EL COMPONENTE IÓNICO TOTAL PARA LA FUERZA IÓNICA ES DADO POR

$$\begin{aligned} \sum_{MX} E_M E_X \phi_{MX} = & \phi (Na \sum X_i) + \phi (Mg \sum X_i) + \\ & \phi (Ca \sum X_i) + \phi (K \sum X_i) + \\ & \phi (Sr \sum X_i) \end{aligned} \quad (13)$$

DEBIDO A QUE EL AGUA DE MAR CONTIENE AL ÁCIDO BÓRICO UN NO-ELECTROLITO COMO UNO DE SUS COMPONENTES MAYORES (ES UN SOLUTO DISUELTO CUYA CONCENTRACIÓN ES MAYOR A UNA PARTE POR MILLÓN), MILLERO (98, 99) HA USADO UNA FORMA REVISADA DE LA REGLA DE YOUNG

$$\Phi = \sum_{MX} E_M E_X \phi_{MX} + E_B \phi_B \quad (14)$$

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. ESTA EXTENSIÓN DE LA REGLA DE YOUNG A SOLUCIONES DE NO-ELECTROLITOS-ELECTROLITOS HA DEMOSTRADO SER CONFIABLE PARA SOLUCIONES DE NaCl-ÁCIDO BÓRICO EN UN INTERVALO AMPLIO DE CONCENTRACIONES (164). DEBIDO A QUE ALGUNAS SALES NO SON SOLUBLES A LA FUERZA IÓNICA DEL AGUA DE MAR ( $CaSO_4$ ,  $CaCO_3$ , ETC.), UNO PUEDE ESTIMAR SUS PROPIEDADES APARENTES USANDO EL MÉTODO ADITIVO

$$\phi (CaSO_4) = \phi (CaCl_2) + \phi (MgSO_4) - \phi (MgCl_2) \quad (15)$$

Y LAS PROPIEDADES APARENTES DE LAS SALES SOLUBLES.

SE PUEDE DIVIDIR LA PROPIEDAD MOLAL O EQUIVALENTE APARENTE, ENTRE UN TÉRMINO DE DILUCIÓN INFINITA ( $\phi^0$ ) Y UNO O MÁS TÉRMINOS DE CONCENTRACIÓN (S O b)

$$\phi = \phi^0 + S I^{1/2} \quad (16)$$

$$\phi = \phi^0 + S I^{1/2} + b I \quad (17)$$

DONDE  $\phi^0$  ES LA PROPIEDAD MOLAL APARENTE A DILUCIÓN INFINITA Y ESTÁ RELACIONADA A LAS INTERACCIONES AGUA-IÓN,  $S$  ES LA PENDIENTE TEÓRICA DE LA LEY DE DEBYE-HÜCKEL Y ESTÁ RELACIONADA A LAS INTERACCIONES IDEALES IÓN-IÓN DE INTERVALO LARGO,  $b$  ES UN TÉRMINO RELACIONADO A LA DESVIACIÓN DE LA LEY LIMITANTE Y TAMBIÉN ESTÁ RELACIONADO CON LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN Y

$I = 1/2 \sum m_i z_i^2$  ( $m_i$  y  $z_i$  SON LA MOLALIDAD Y LA CARGA DEL IÓN  $i$ ),

LAS ECUACIONES (16) Y (17) PUEDEN SER ESCRITAS EN TÉRMINOS DE LA FUERZA IÓNICA MOLAR  $I_V$  ( $I_V = 1/2 \sum m_i z_i^2 \cdot d$ , DONDE  $d$  ES LA DENSIDAD DE LA SOLUCIÓN),

$$f = f^0 + s I_V^{1/2} \quad (18)$$

$$f = f^0 + s I_V^{1/2} + b I_V \quad (19)$$

OBTENIENDO  $P$  DE LA ECUACIÓN (6)

$$P = P_{H_2O}^0 + f n_T \quad (20)$$

Y SUSTITUYENDO LA ECUACIÓN (17) EN (20) Y COMO

$$n_T = k C_1 (^\circ/oo) \quad (21)$$

$$I = k' C_1 (^\circ/oo) \quad (22)$$

(DONDE  $k$  Y  $k'$  SON CONSTANTES PARA UNA MEZCLA DADA) SE TIENE

$$P = P_{H_2O}^0 + A C_1 (^\circ/oo) + B C_1 (^\circ/oo)^{3/2} + C C_1 (^\circ/oo)^2 \quad (23)$$

DONDE  $C_1 (^\circ/oo)$  ES LA CLORINIDAD EN PARTES POR MIL,  $A = k \Phi^0$ ,  
 $B = k (k')^{1/2}$  Y  $C = k k' b$ .

ESTA ÚLTIMA ECUACIÓN NOS INDICA COMO LAS PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR DEPENDEN DE LA CONCENTRACIÓN INCLUYENDO LAS SOLUCIONES DILUIDAS (CON AGUA PURA) DEL AGUA DE MAR Y TAMBIÉN SE USA PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR A PARTIR DE LAS PROPIEDADES DE LAS SALES COMPONENTES. PUESTO QUE  $\phi^0$  ESTÁ RELACIONADO A LAS INTERACCIONES AGUA-IÓN, Y  $\underline{S}$  Y  $\underline{B}$  ESTÁN RELACIONADAS A LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN, ENTONCES CADA PROPIEDAD QUÍMICA DEL AGUA DE MAR PUEDE SER DADA POR

$$P_{\text{SOLUCIÓN}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^0 + \sum \text{INTERACCIONES AGUA-IÓN} + \sum \text{INTERACCIONES IÓN-IÓN} \quad (24)$$

EL SEGUNDO TÉRMINO DE ESTA ECUACIÓN ES UNA PERTURBACIÓN DEBIDA A LAS INTERACCIONES AGUA-IÓN Y EL TERCER TÉRMINO ES UNA PERTURBACIÓN DEBIDA A LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN DE LAS SALES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR, ESTUARIO, LAGUNA O RÍO. EL TÉRMINO DE LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN PUEDE SER DIVIDIDO EN UN TÉRMINO DEBIDO A LA LEY LIMITANTE DE DEBYE-HÜCKEL Y OTRO TÉRMINO DEBIDO A LA DESVIACIÓN DE LA LEY LIMITANTE.

$$\sum \text{INTERACCIONES IÓN-IÓN} = \text{TÉRMINO DE DEBYE-HÜCKEL} + \sum \text{DE LAS DESVIACIONES DE DEBYE-HÜCKEL} \quad (25)$$

ESTA ECUACIÓN SE HA DEMOSTRADO QUE ES VÁLIDA PARA PREDECIR Y REPRESENTAR COMO LAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE Y LAS TERMODI-

NÁMICAS DEL AGUA DE MAR, LAGOS, RÍOS Y ESTUARIOS DEPENDEN DE LA CONCENTRACIÓN (38, 98, 102-104, 112). UN EJEMPLO DEL USO DE LAS ECUACIONES (11) Y (14) ES EN LA ESTIMACIÓN DE LA ENTALPÍA DE DILUCIÓN DE SOLUCIONES DEL AGUA DE MAR (75, 98), LA ENTALPÍA EQUIVALENTE APARENTE RELATIVA DE SOLUCIONES DEL AGUA DE MAR Y DE SOLUCIONES DILUIDAS DE SALES MARINAS A 30°C HA SIDO FIJADA POR UNA ECUACIÓN DERIVADA DE LA TEORÍA DE DEBYE-HUCKEL,

$$\phi_L = S_H I^{1/2} \left[ (1 + I^{1/2})^{-1} - (\sigma/3) \right] + B_H I + \frac{C_H I^{3/2}}{I^{3/2}} \quad (26)$$

DONDE  $S_H = w \cdot 743 \text{ cal eq}^{-1}$  ( $w = 0.5 \sum \nu_i z_i^2$ ,  $\nu_i$  ES EL NÚMERO DE IONES DEL TIPO  $i$  Y CARGA  $z_i$ ),  $B$  Y  $C$  SON CONSTANTES EMPÍRICAS Y  $\sigma = \left[ (3/I^{3/2}) \right] \left[ (1 + I^{1/2}) - (1 + I^{1/2})^{-1} - 2 \ln (1 + I^{1/2}) \right]$ .

AUNQUE LA REGLA DE YOUNG PREDICE PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR QUE TIENEN UNA PRECISIÓN ACEPTABLE AL SER COMPARADAS CON LOS VALORES MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE; PARA UNA DETERMINACIÓN MÁS EXACTA DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS ES NECESARIO CONOCER LAS PROPIEDADES EN EXCESO DE LAS MEZCLAS DE LAS SALES MARINAS, POR EJEMPLO, LA REGLA DE YOUNG PREDICE ENTALPIAS PARA AGUA DE MAR CON SALINIDADES DE 35 ‰ QUE DIFIEREN DE LOS VALORES EXPERIMENTALES POR 14 cal eq<sup>-1</sup> O 9,5% COMPARADAS CON LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS DE 1 cal·eq<sup>-1</sup> O 0,7% (29, 75, 98),

LA DESVIACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES APARENTES CALCULADAS Y MEDIDAS PARA UNA SOLUCIÓN FORMADA POR DIFERENTES ELECTROLITOS ESTÁ RELACIONADA A EL EXCESO DE MEZCLA DE LOS DIVERSOS COMPONENTES A UNA FUERZA IÓNICA CONSTANTE. POR EJEMPLO, EL CALOR DE MEZCLA ESTÁ DADO POR

$$\Delta H_m / e_T = \bar{\phi}_L - \sum_{MX} E_M E_X \phi_{MX} \quad (27)$$

DONDE  $\bar{\phi}_L$  ES LA ENTALPIA EQUIVALENTE APARENTE RELATIVA. DE VALORES MEDIDAS DE  $\Delta H_m$  PARA LOS COMPONENTES IÓNICOS MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  Y  $\text{MgSO}_4$ ) LOS VALORES DE  $\bar{\phi}_L$  PUEDEN SER CALCULADOS DE

$$\bar{\phi}_L = \sum_{MX} E_M E_X \phi_L (MX) + \sum E_M E_N E_X \Delta H_m (M + N)_X / e_T + \sum E_X E_Y E_M \Delta H_m (X + Y)_M / e_T \quad (28)$$

VALORES DE  $\bar{\phi}_L$  CALCULADOS DE ESTA ECUACIÓN PRESENTAN UNA EXCELENTE EXACTITUD CON LOS VALORES MEDIDOS DIRECTAMENTE (29).

LAS PROPIEDADES EN EXCESO SON PARÁMETROS DE INTERACCIÓN QUE TAMBIÉN PUEDEN SER UTILIZADOS PARA ESTUDIAR LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN EN MEZCLAS DE SOLUCIONES SALINAS (44, 55, 127, 129, 143, 147, 149, 150, 178-181). SI LAS MEDIDAS SE HACEN A UNA FUERZA IÓNICA CONSTANTE LOS EFECTOS DE LA ATMÓSFERA IÓNICA

SON CANCELADOS (SUPUESTAMENTE). SI LAS MEDIDAS SE HACEN ENTRE ELECTROLITOS QUE TENGAN UN IÓN COMÚN LOS EFECTOS DE CARGAS OPUESTAS IÓN-PAR SE CANCELAN. ASÍ, LAS INTERACCIONES DOBLES (CATION-CATION, ANION-ANION) Y TRIPLES (CATION-ANION-CATION, ETC.) DE LOS IONES CARGADOS PUEDEN SER ESTUDIADAS. AUNQUE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE EXCESO PARA LAS SALES MARINAS SON PEQUEÑAS EL RESULTADO PUEDE SER MUY RELEVANTE PARA EL ENTENDIMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL AGUA DE MAR Y DE LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN QUE OCURREN EN EL AGUA DE MAR.

OTRA APLICACIÓN DE LAS ECUACIONES (11) Y (14) HA SIDO EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD. EL VOLUMEN EQUIVALENTE APARENTE DEL AGUA DE MAR ESTÁ RELACIONADO A LA DENSIDAD (D) POR

$$\bar{v}_V = 1000 (d^0 - d) / e_T d^0 + M / d^0 \quad (29)$$

DONDE  $\bar{d}^0$  ES LA DENSIDAD DEL AGUA,  $e_T$  ES LA NORMALIDAD (EQUIVALENTE/LITRO) Y  $M$  ES EL PESO EQUIVALENTE PROMEDIO DE LAS SALES MARINAS. AL COMBINAR ESTA ECUACIÓN CON  $\bar{v}_V$  (DEPENDIENDO ESTE ÚLTIMO DE LA CONCENTRACIÓN, ECUACIÓN 19) SE OBTIENE (HACIENDO NOTAR QUE  $e_T = 0.0312803 \text{ Cl}_V$  Y  $I_V = 0.0360145 \text{ Cl}_V$ )

$$d = d^0 + A_V \text{Cl}_V + B_V \text{Cl}_V^{3/2} + C_V \text{Cl}_V^2 \quad (30)$$

DONDE  $A_V = (M - d^0 \bar{v}_V^0) \times 3.12803 \times 10^{-5}$ ,  $B_V = S_V d^0 \times 5.93621 \times 10^{-6}$  Y  $C_V = -b_V d^0 \times 4.78277 \times 10^{-7}$ . LOS CALCULOS DE  $\bar{v}_V^0$  Y

$b_V$  PARA LAS SALES DEL AGUA DE MAR USANDO LOS DATOS DE VOLU-  
MEN MOLAL SE DAN EN LA TABLA 2.

T A B L A 2<sup>A</sup>

CALCULO DE  $\phi_V^0$  Y  $b_V$  PARA SALES DE AGUA DE MAR A 25° C

SOLUTO	$E_i$	$\phi_V^0(i)$	$E_i \phi_V^0(i)$	$b_V$	$E_i b_V(i)$
Na <sup>+</sup>	0.77268	- 1.21	-0.935	1.078	0.833*
Mg <sup>2+</sup>	0.17573	-10.59	-1.861	-0.197	-0.035
Ca <sup>2+</sup>	0.03390	- 8.93	-0.303	0.242	0.008
K <sup>+</sup>	0.01684	9.03	0.152	1.129	0.019
Sr <sup>2+</sup>	0.00030	- 9.08	-0.003	0.569	0.000 <sub>2</sub>
Cl <sup>-</sup>	0.90078	17.83	16.061	-1.030	-0.928
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.09318	6.99	0.651	0.134	0.013
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00318	24.28	0.077	0.302	-0.010
Br <sup>-</sup>	0.00139	24.71	0.034	-1.107	-0.001
B(OH) <sub>3</sub>	0.00054	39.22	0.021	1.300	0.001
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.00067	- 1.89	-0.001	-0.780	-0.001
B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.00014	21.84	0.003	3.630	0.001
F <sup>-</sup>	0.00011	- 1.16	<u>-0.001</u>	-0.538	<u>-0.0001</u>
$\Sigma$			13.896		-0.101

A) DATOS CONSULTADOS EN (98)

COMBINANDO ESTOS VALORES DE  $\phi^0$  Y  $b_V$  CON  $S_V = 2.150$  Y  $M=58.034$

(51) SE OBTIENE LA ECUACIÓN



$$d = 0.997075 + 1.38192 \times 10^{-3} \text{cl}_V - 1.27255 \times 10^{-5} \text{cl}_V^{3/2} + 4.82142 \times 10^{-3} \text{cl}_V^2 \quad (31)$$

LAS DENSIDADES CALCULADAS POR ESTA ECUACIÓN PARA SALINIDADES DE 5 A 35 ‰ SON COMPARADAS CON LOS VALORES MEDIDOS (106) EN LA TABLA 3.

T A B L A 3<sup>A</sup>

COMPARACION DE LAS DENSIDADES CALCULADAS Y MEDIDAS DE SOLUCIONES DE AGUA DE MAR A 25°C.

SALINIDAD	cl <sub>V</sub>	(d - d <sup>o</sup> ) 10 <sup>3</sup>		Δ, PPM
		MEDIDA	CALCULADA	
5 ‰	2.770	3.765	3.769	- 4
10	5.561	7.511	7.518	- 7
15	8.372	11.254	11.261	- 7
20	11.205	15.002	15.007	- 5
25	14.058	18.757	18.756	1
30	16.932	22.523	22.512	11
35	19.827	26.300	26.276	<u>24</u>
				± 8

A) DATOS CONSULTADOS EN (102)

LA PRECISIÓN ES BASTANTE ACEPTABLE SI SE CONSIDERA QUE LOS DATOS DE LA DENSIDAD DE LAS SOLUCIONES (FORMADAS POR UNA SAL) A CONCENTRACIONES ALTAS, TIENEN UNA PRECISIÓN DE  $\pm 10 \times 10^{-6}$  g.cm<sup>-3</sup>, EN ESTE MOMENTO NO ES POSIBLE ESTABLECER CON CERTEZA SI LAS DESVIACIONES A CONCENTRACIONES ALTAS SE DEBEN A QUE LOS DATOS INDIVIDUALES DE LAS SALES SON POCO CONFIABLES O SON UNA OMISIÓN DE LA REGLA DE YOUNG. OTROS ESTUDIOS SON NECESARIOS PARA EXAMINAR EL VOLUMEN EN EXCESO DE LA MEZCLA DE LAS SALES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR.

$$\Delta V_m = [ \bar{v}_V (\text{medido}) - \bar{v}_V (\text{calculado}) ] / e_T \quad (32)$$

EN INTERVALOS DE SALINIDADES BAJAS, LAS DENSIDADES ESTIMADAS PRESENTAN UN EXCELENTE PRECISIÓN CON RESPECTO A LOS VALORES MEDIDOS, DEBIDO A QUE LOS TÉRMINOS DE MAYOR ORDEN ( $B_V c_V^{3/2}$  y  $c_V c_V^2$ ) NO SON SIGNIFICATIVOS.

LA ECUACIÓN (29) PUEDE SER EXPRESADA EN LA SIGUIENTE FORMA

$$d = d^0 + 10^{-3} (M_T - d^0 \bar{v}_V^0) N_T - 10^{-3} S_V d^0 N_T^{1/2} - 10^{-3} b_V d^0 N_T \quad (33)$$

LAS DENSIDADES RELATIVAS DE VARIOS RÍOS Y DEL LAGO TANGANYKA FUERON CALCULADAS POR MEDIO DE LA ECUACIÓN (32) LOS RESULTADOS ESTÁN DADOS EN LA TABLA 4 (112).

COMO YA SE MENCIONÓ ANTERIORMENTE LAS DENSIDADES DE VARIOS RÍOS (Y EL LAGO TANGANYKA) PRESENTAN UNA BUENA PRECISIÓN ( $\pm 3.2$  PPM) CUANDO SE COMPARAN CON LAS OBTENIDAS POR LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR (106) A LA MISMA SALINIDAD VERDADERA ( $S$  (°/00)<sub>T</sub> O  $g_T$ ). ESTOS CÁLCULOS INDICAN QUE LAS DENSIDADES (ASÍ COMO OTRAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS) DE LA MAYORÍA DE LOS RÍOS Y LAGOS SON IGUALES A LA DEL AGUA DE MAR CON LA MISMA CANTIDAD DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.

T A B L A 4<sup>A</sup>

DENSIDADES RELATIVAS DEL LAGO TANGANYKA Y VARIOS RIOS A 25°C

AGUA	$g_T$ (ppm)	$(d - d^0) 10^6$		
		CALCULADO	AGUA DE MAR	$\Delta$
LAGO TANGANYKA	580	440.0	438.0	2.0
AGUA DE RÍO (PROMEDIO MUNDIAL)	126.8	94.9	96.0	-1.1
RÍOS DE NORTE AMÉ RICA	147.8	118.3	111.8	6.5
RÍOS DE SUR AMÉRI CA	75.1	51.7	57.0	-5.3
RÍOS EUROPEOS	185.4	150.3	149.6	0.7
RÍOS ASIÁTICOS	148.8	112.8	112.5	-0.3
RÍOS AFRICANOS	133.8	94.7	101.2	-6.5
RÍOS AUSTRALIANOS	61.4	43.5	46.8	-3.3
			MEDIA $\pm$	3.2

A) DATOS CONSULTADOS EN (103)

LA DENSIDAD DE UN ESTUARIO FORMADO POR UNA MEZCLA DE AGUA DE RÍO (PROMEDIO MUNDIAL) Y AGUA DE MAR TAMBIÉN HA SIDO CALCULADA (102) POR LOS  $I_V$  DETERMINADOS DE

$$\phi_V (\text{ESTUARIO}) = E_R \phi_V (R) + E_{SW} \phi_V (SW) \quad (34)$$

DONDE  $E_R$  Y  $E_{SW}$  SON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LAS SALES PRESENTES EN EL AGUA DE RÍO Y EN EL AGUA DE MAR,  $\phi_V (R)$  Y  $\phi_V (SW)$  SON LOS VOLÚMENES EQUIVALENTES APARENTES DE LAS SALES PRESENTES EN EL AGUA DE RÍO Y EN EL AGUA DE MAR A LA FUERZA IÓNICA DE ESTAS SOLUCIONES ( $I_T = E_R I_R + E_{SW} I_{SW}$ ). LA DENSIDAD RELATIVA DE UN ESTUARIO CALCULADA DE LOS  $\phi_V$ ,  $M_T = E_R M_R + E_{SW} M_{SW}$  Y  $N_T = E_R N_R + E_{SW} N_{SW}$ , FUE DETERMINADA DE LA ECUACIÓN

$$(\bar{d} - d^0) 10^3 = (M_T - d^0 \phi_V) N_T \quad (35)$$

LAS DENSIDADES CALCULADAS SE DAN EN LA TABLA 5 Y SE COMPARAN CON LAS DENSIDADES OBTENIDAS POR LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR A LA MISMA  $g_T$  O  $s(^{\circ}/\infty)_T$ . EN UN INTERVALO AMPLIO DE FRACCIÓN POR PESO DEL AGUA DE MAR LAS DENSIDADES CALCULADAS PARA EL ESTUARIO SE AJUSTAN BIEN ( $\pm 1.9$  ppm), CON LOS VALORES DETERMINADOS DE LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR A LA MISMA  $s(^{\circ}/\infty)_T$  O  $g_T$ .

## 2.2 PROPIEDADES DE LOS SOLUTOS IONICOS EN EL AGUA DE MAR

PARA OBTENER UN ENTENDIMIENTO DE COMO EL AGUA DE MAR O CUALQUIER SOLUCIÓN (FORMADA POR VARIOS ELECTROLITOS) AFECTAN A UNA REACCIÓN QUÍMICA

T A B L A 5<sup>A</sup>

COMPARACION DE LAS DENSIDADES CALCULADAS DE AGUAS ESTUARINAS CON LAS DETERMINADAS POR LA ECUACION DE ESTADO DEL AGUA DE MAR.

$X_{SW}$	$\sigma_T$	$(d - d^0) 10^3$		$\Delta, ppm$
		ESTUARIO	AGUA DE MAR	
0	0.127	0.095	0.096	- 1
0.02	0.827	0.622	0.622	0
0.04	1.529	1.149	1.148	1
0.06	2.229	1.675	1.672	3
0.08	2.931	2.200	2.197	3
0.10	3.631	2.725	2.720	5
0.20	7.136	5.339	5.335	4
0.30	10.640	7.951	7.947	4
0.40	14.144	10.560	10.558	2
0.50	17.649	13.172	13.172	0
0.60	21.153	15.788	15.789	- 1
0.70	24.657	14.408	14.410	- 2
0.80	28.161	21.034	21.035	- 1
0.90	31.666	23.665	23.666	- 1
1.00	35.171	26.301	26.301	0
PROMEDIO $\pm$				1.9

A) DATOS CONSULTADOS EN (102)



ES NECESARIO EXAMINAR EL COMPORTAMIENTO NO IDEAL DE LAS ESPECIES REACTIVAS. ESTE COMPORTAMIENTO NO IDEAL PUEDE SER ESTUDIADO AL EXAMINAR LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD ( $\gamma_T$ ) DE LAS ESPECIES REACTIVAS, ASÍ COMO LA DEPENDENCIA DE ÉSTE CON RESPECTO A LA PRESIÓN  $\bar{V} - \bar{V}^0 = RT (\partial \ln \gamma_T / \partial P)$ , Y A LA TEMPERATURA  $\bar{H} - \bar{H}^0 = RT^2 (\partial \ln \gamma_T / \partial T)$  (102). LA ACTIVIDAD TERMODINÁMICA DE EL SOLUTO  $\pm$  ESTÁ RELACIONADA A LA CONCENTRACIÓN Y AL COEFICIENTE DE ACTIVIDAD POR

$$a_{\pm} = [i]_T \gamma_T (i) \quad (37)$$

DONDE EL SUBÍNDICE T ES USADO PARA INDICAR LA CONCENTRACIÓN TOTAL. HAY TRES TIPOS DE MODELOS QUE HAN SIDO USADOS PARA EXAMINAR EL COMPORTAMIENTO NO IDEAL DE UN ELECTROLITO: (1) EL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA, (2) EL MODELO DEL PAR IÓNICO Y (3) EL MODELO DE AGLOMERACIONES (CLUSTER). EN LAS SIGUIENTES SECCIONES SE REVISARÁN BREVEMENTE ESTOS MODELOS. UNA DISCUSIÓN MÁS COMPLETA DE ESTOS MODELOS SE PUEDE CONSULTAR EN: 3, 77, 98, 109, 170, 175, 179. EL PUNTO DE PARTIDA DE TODOS ESTOS MODELOS DE INTERACCIÓN IÓNICA ES LA TEORÍA DE DEBYE-HÜCKEL. LA TEORÍA PREDICE QUE EL COEFICIENTE DE ACTIVIDAD PROMEDIO DE UN ELECTROLITO ESTÁ DADO POR (54, 76, 146).

$$-\ln \gamma_{\pm} (MX) = A Z_M Z_X I^{1/2} / (1 + B a I^{1/2}) \quad (38)$$

DONDE A Y B SON CONSTANTES RELACIONADAS A LA CONSTANTE DIELECTRICA DEL AGUA PURA Y A LA TEMPERATURA (A = 0,509, B = 0,329 A 25° C),  $Z_M$  Y  $Z_X$  SON LAS CARGAS ELECTROSTÁTICAS DEL CATION M Y EL ANION X, Y  $a$  ES UN PARÁMETRO IÓNICO RELACIONADO CON EL TAMAÑO DEL IÓN. LOS MÉTODOS CLÁSICOS (98) QUE HAN SIDO USADOS PARA EXAMINAR LAS CARACTERÍSTICAS NO IDEALES DE UN ELECTROLITO, EXAMINAN LAS DESVIACIONES DE LA LEY LIMITANTE DE DEBYE-HUCKEL (EN DIVERSAS FORMAS QUE INVOLUCRAN UNA O MÁS CONSTANTES ARBITRARIAS). LA DIFERENCIA ENTRE ESTA FORMA Y LOS DATOS EXPERIMENTALES ES ATRIBUIDA A EFECTOS NO COULÓMBICOS.

MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA. EN EL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA DESARROLLADO POR GUGGENHEIM (52) SE USA LA SIGUIENTE ECUACIÓN

$$-\log \gamma_{\pm} (MX) = \log \gamma (\text{elect}) + \sqrt{\beta_{MX} m} \quad (39)$$

DONDE EL  $\log \gamma (\text{elect})$  ESTÁ DADO POR LA ECUACIÓN (38) CON  $\beta_a = 1.0$ ,  $\sqrt{i} = (2 \sqrt{M} / \sqrt{X}) / (\sqrt{M} + \sqrt{X})$ , ( $\sqrt{i}$  ES EL NÚMERO DE ESPECIES  $\pm$ ),  $\beta_{MX}$  ES UNA CONSTANTE Y  $m$  ES LA MODALIDAD. PARA USAR EL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE ACTIVIDAD TOTAL LAS SIGUIENTES ECUACIONES SE USAN (175)

$$\log \gamma_T (MX) = \log \gamma (\text{elect}) + \left( \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{X}} \right) \sum_X \beta_{MX} [X]_T + \left( \frac{\sqrt{X}}{\sqrt{M}} \right) \sum_M \beta_{MX} [M]_T \quad (40)$$

$$\log \tau_T (M) = (z_M / z_X) \log \tau (\text{elect}) + \sum_M \beta_{MX} \left[ X \right]_T \quad (41)$$

$$\log \tau_T (X) = (z_X / z_M) \log \tau (\text{elect}) + \sum_M \beta_{MX} \left[ M \right]_T \quad (42)$$

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD TOTALES CALCULADOS USANDO EL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA PARA LAS SALES Y LOS IONES MÁS ABUNDANTES EN EL AGUA DE MAR SE DAN EN LAS TABLAS 6 Y 7 (109). LOS VALORES ESTIMADOS DE  $\tau_T$  PARA LOS IONES DADOS EN LA TABLA 7 (109) SE APROXIMAN BASTANTE A LOS VALORES MEDIDOS. PITZER (127) HA RECIENTEMENTE DESARROLLADO UN CONJUNTO DE ECUACIONES QUE AMPLÍAN AL MODELO DE INTERACCIONES ESPECÍFICAS A CONCENTRACIONES ALTAS Y TAMBIÉN CONSIDERAN LAS INTERACCIONES IÓNICAS  $\oplus \text{---} \oplus$  Y  $\ominus \text{---} \ominus$ , ESTAS ECUACIONES SIN EMBARGO NO MEJORAN LAS ESTIMACIONES HECHAS CON UNA ECUACIÓN MÁS SIMPLE DESARROLLADA POR GUGGENHEIM (52).

ROBINSON Y STOKES (147) HAN DESARROLLADO UN MODELO DE HIDRATACIÓN PARA EXAMINAR LAS DIFERENCIAS ENTRE  $\log \tau_{\pm}$  (MEDIDO) Y  $\log \tau (\text{elect})$ .

$$\log \tau_{\pm} (MX) = \log \tau (\text{elect}) - (\lambda / \sqrt{I}) \ln a_w + \ln \left\{ [1 - (\lambda - \sqrt{I}) m] / 55.51 \right\} \quad (43)$$

DONDE  $a_w$  ES LA ACTIVIDAD DEL AGUA ( $a_w = p/p_0$  DONDE  $p$  Y  $p_0$  SON LA PRESIÓN DE VAPOR DE LA SOLUCIÓN Y DEL AGUA). RECIENTEMENTE ELQUIST Y WEDBORG (35) HAN USADO ESTE MÉTODO PARA ESTI-



MAR EL COEFICIENTE DEL  $\text{SO}_4^{2-}$  A UNA FUERZA IÓNICA GRANDE.

T A B L A 6<sup>A</sup>

COMPARACION DE LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD ESTEQUIOMETRICOS PARA LAS SALES MAS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR A 25°C Y UNA FUERZA IONICA DE 0.7.

SAL	FUERZA IÓNICA	PAR IONICO	INTERACCIÓN ESPECÍFICA	CLUSTER
HCl	0.774	0.683	0.683	0.696
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.201	0.379	-	0.386
NaCl	0.666	0.664	0.668	0.668
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.349	0.366	0.370	0.374
MgCl <sub>2</sub>	0.480	0.463	0.466	0.463
MgSO <sub>4</sub>	0.121	0.158	0.157	0.160
KCl	0.624	0.624	0.647	0.641
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.336	0.337	0.350	0.345
CaCl <sub>2</sub>	0.460	0.444	0.455	0.448
CaSO <sub>4</sub>	-	0.148	0.157	0.159
NaHCO <sub>3</sub>	-	0.549	0.612	-
CaCO <sub>3</sub>	-	0.066	0.069	-

A) DATOS CONSULTADOS EN (103).

T A B L A 7

COMPARACION DE LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD TOTALES CALCULADOS Y MEDIDOS PARA LOS IONES MAS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR A 25°C Y I = 0.7

IÓN	MEDIDA	FUERZA IÓNICA	MODELO DEL PAR IÓNICO	MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA
H <sup>+</sup>	0.74	0.85	0.74	0.74
Na <sup>+</sup>	0.68	0.71	0.70	0.68
Mg <sup>2+</sup>	0.23	0.29	0.25	0.23
Ca <sup>2+</sup>	0.21	0.26	0.22	0.21
K <sup>+</sup>	0.64	0.63	0.62	0.63
Sr <sup>2+</sup>	-	0.25	0.22	-
Cl <sup>-</sup>	0.68	0.63	0.63	0.66
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.11	0.22	0.10	0.11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.55	0.68	0.43	0.59
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.02	0.21	0.02	0.03
F <sup>-</sup>	-	0.68	0.31	-
OH <sup>-</sup>	-	0.65	0.11	0.56
B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.26	0.68	0.38	-

MODELO DEL PAR IÓNICO (FIGURA 2). EL MÉTODO MÁS POPULAR PARA TRATAR LAS DESVIACIONES DE LA TEORÍA DE DEBYE-HUCKEL EN SOLUCIONES CONCENTRADAS ES EL MÉTODO DEL PAR IÓNICO. ESTE MÉTODO

ASUME QUE LAS INTERACCIONES ELECTROSTÁTICAS DE INTERVALO CORTO PUEDEN SER REPRESENTADAS POR LA FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS



LA CUAL TIENE UNA CONSTANTE DE ASOCIACIÓN CARACTERÍSTICA

$$K_A = a_{MX} / a_M a_X = \left\{ [MX^0] / [M^+] [X^-] \right\} \left( r_{MX^0} / r_M + r_{X^-} \right) \quad (45)$$

ESTE MODELO FUE ORIGINALMENTE FORMULADO POR BJERRUM (112) EL MODELO DEL PAR IÓNICO SE APLICÓ TRATANDO AL SOLVENTE COMO UNA CONTINUIDAD. CUATRO CLASES DE PARES IÓNICOS ESTRUCTURALES HAN SIDO DISTINGUIDOS (FIGURA 2): 1) COMPLEJOS -DONDE LOS IONES ESTÁN RETENIDOS MEDIANTE UN ENLACE COVALENTE 2) PAR IÓNICO DE CONTACTO- DONDE LOS IONES SE ENCUENTRAN INTERACCIONANDO ENTRE SÍ Y UNIDOS ELECTROSTÁTICAMENTE (CON ENLACES NO COVALENTES) 3) UNIÓN PARCIAL ENTRE EL PAR IÓNICO Y EL SOLVENTE -DONDE LOS IONES ESTÁN UNIDOS ELECTROSTÁTICAMENTE Y SEPARADOS POR UNA MOLÉCULA DE AGUA Y 4) SEPARACIÓN DEL PAR IÓNICO DEL SOLVENTE- DONDE LOS IONES SE ENCUENTRAN UNIDOS ELECTROSTÁTICAMENTE Y SEPARADOS POR MÁS DE UNA MOLÉCULA DE AGUA.

AL APLICAR EL MODELO DEL PAR IÓNICO SE ASUME QUE

$$a_M = [M^+]_F r_F (M^+) \quad (46)$$

DONDE  $[M^+]_F$  ES LA CONCENTRACIÓN LIBRE DEL METAL Y  $\gamma_F (M^+)$  ES EL COEFICIENTE DE ACTIVIDAD DE EL IÓN LIBRE. COMBINANDO ESTA ECUACIÓN CON LA ECUACIÓN (37) SE OBTIENE

$$\gamma_T (M^+) = ([M^+]_F / [M^+]_T) \gamma_F (M^+) \quad (47)$$

$$\gamma_T (X^-) = ([X^-]_F / [X^-]_T) \gamma_F (X^-) \quad (48)$$

LA FRACCIÓN DE LOS IONES LIBRES  $[M^+]_F / [M^+]_T$  Y  $[X^-]_F / [X^-]_T$  SE DETERMINA DE

$$[M^+]_F / [M^+]_T = 1 / (1 + \sum K_A^* (i) [X^-]_F) \quad (49)$$

$$[X^-]_F / [X^-]_T = 1 / (1 + \sum K_A^* (i) [M^+]_F) \quad (50)$$

DONDE  $K_A^*$  ES LA CONSTANTE DE ASOCIACIÓN ESTEQUIOMÉTRICA

$$K_A^* = K_A ( \gamma_M \gamma_X / \gamma_{MX} ) = [MX^0] / [M^+]_F [X^-]_F \quad (51)$$

LA  $K_A^*$  PUEDE SER DETERMINADA EN UN MEDIO IÓNICO O ESTIMADA POR EL USO DE LAS CONSTANTES TERMODINÁMICAS ( $K_A$ ) A DILUCIÓN INFINITA, AMBOS MÉTODOS DEBERÁN DE PROPORCIONAR VALORES SEMEJANTES QUE PUEDAN SER DETERMINADOS POR  $\gamma_F$ .

LOS VALORES DE  $\gamma_T$  DETERMINADOS PARA LOS IONES Y SALES MÁS ABUNDANTES EN EL AGUA DE MAR SE DAN EN LAS TABLAS 6 Y 7. EL MÉTODO DEL PAR IÓNICO PREDICE VALORES DE  $\gamma_T$  QUE ESTÁN DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA Y LOS MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE. CUANDO SE

APLICA EL MODELO DEL PAR IÓNICO SE ASUME QUE VARIOS TIPOS DE PARES IÓNICOS EXISTEN EN SOLUCIÓN. ESTO ES NOMBRADO FORMAS DE ESPECIACIÓN DE CATIONES Y ANIONES. SE DETERMINA USANDO LA SIGUIENTE ECUACIÓN

$$[MX_1] / [M^+]_T = K_A^* (i) [X_1^-]_F / (1 + \sum K_A^* (i) [X_1^-]_F) \quad (52)$$

$$[MX_1] / [X^-]_T = K_A^* (i) [M_1^+]_F / (1 + \sum K_A^* (i) [M_1^+]_F) \quad (53)$$

PARA LOS IONES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR LAS FORMAS DETERMINADAS POR DIVERSOS TRABAJOS MEDIANTE ESTAS ECUACIONES SE ENCUENTRAN BASTANTE APROXIMADAS ENTRE SÍ (99).

LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES EN EL AGUA DE MAR SE ENCUENTRA REPRESENTADA EN LA FIGURA 3 (99). LA MAYORÍA DE LOS CATIONES PREDOMINAN EN FORMA LIBRE Y LA MAYOR PARTE DE LOS PARES IÓNICOS SE FORMAN CON EL IÓN SULFATO. LA ESPECIACIÓN DE LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES EN EL AGUA DE MAR SE REPRESENTA EN LA FIGURA 4. APROXIMADAMENTE 50% DE LOS IONES  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  Y  $B(OH)_4^-$  SE ENCUENTRAN FORMANDO COMPLEJOS EN EL AGUA DE MAR PRINCIPALMENTE CON LOS IONES  $Na^+$  Y  $Mg^{2+}$ ; PARA EL IÓN  $CO_3^{2-}$  CERCA DEL 90% ESTÁ FORMANDO COMPLEJOS CON LOS IONES  $Ca^{2+}$  Y  $Mg^{2+}$ ; PARA LOS ANIONES  $F^-$  Y  $OH^-$  LOS PARES IÓNICOS QUE EN MÁS ABUNDANCIA SE FORMAN SON DEBIDOS AL CATION  $Mg^{2+}$ .

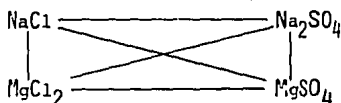
ES NECESARIO PUNTUALIZAR QUE AUNQUE LA EXAMINACIÓN DE LA ESPE-

CIACIÓN DE LOS IONES DEL AGUA DE MAR SEA CONVENIENTEMENTE HECHA, AL EXAMINAR LOS PARÁMETROS DE INTERACCIÓN ENTRE LOS CATIONES Y ANIONES NO SE PUEDE APROBAR O DESAPROBAR LA EXISTENCIA DE PARES IÓNICOS, USANDO SÓLO DATOS TERMODINÁMICOS. ES NECESARIO HECHAR MANO DE OTRAS MEDIDAS FISCOQUÍMICAS (COMO POR EJEMPLO, ESPECTROS RAMA, ABSORCIÓN ULTRASÓNICA, ETC.) PARA CONFIRMAR LA EXISTENCIA DE UN PAR IÓNICO (99).

MODELO DE EXPANSIÓN POR AGLOMERACIÓN (CLUSTER) (FIGURA 2). LA MÁS RECIENTE TEORÍA DE AGLOMERACIÓN DE FRIEDMAN (44) NO HACE EL INTENTO POR SEPARAR LAS INTERACCIONES ELECTROSTÁTICAS Y LAS NO ELECTROSTÁTICAS. SIN EMBARGO CONSIDERA IMPORTANTE TODAS LAS INTERACCIONES QUE SE PUEDAN SUCEDER (CATION-CATION, ANIÓN-ANIÓN Y CATION-ANIÓN). POR EJEMPLO, PARA LAS SALES MÁS ABUNDANTES ( $\text{NaCl} + \text{MgSO}_4$ ) DEL AGUA DE MAR HAY DIFERENTES INTERACCIONES A CONSIDERAR

INTERACCION	TIPO POSIBLE
⊕    ⊕	Na - Na, Mg - Mg, Na - Mg
⊖    ⊖	Cl - Cl, $\text{SO}_4$ - $\text{SO}_4$ , Cl - $\text{SO}_4$
⊕    ⊖	Na - Cl, Mg - $\text{SO}_4$ , Mg - Cl, Na - $\text{SO}_4$

ESTAS INTERACCIONES PUEDEN SER REPRESENTADAS POR EL SIGUIENTE DIAGRAMA



AL ESTUDIAR ESTE DIAGRAMA POR SUS LADOS SE PUEDE OBTENER ALGUNA INFORMACIÓN ACERCA DE LAS INTERACCIONES  $\oplus$ — $\oplus$  Y  $\ominus$ — $\ominus$ , AL ESTUDIAR EN FORMA INDIVIDUAL A CADA SAL Y AL SUMAR LOS VÉRTICES DE ESTE DIAGRAMA ( $MgSO_4 = MgCl_2 + Na_2SO_4 - 2NaCl$ ) SE PUEDEN ESTUDIAR LAS INTERACCIONES  $\oplus$ — $\ominus$ , LAS LÍNEAS CRUZADAS REPRESENTAN LA MEZCLA DE SALES SIMPLES DEL AGUA DE MAR.

EL COEFICIENTE DE ACTIVIDAD TOTAL DE UN ELECTROLITO ES DADO POR

$$\log \gamma_T (MX) = \log \gamma^\circ (MX) + \sum \text{DE LOS TÉRMINOS } \oplus\text{—}\oplus + \sum \text{DE LOS TÉRMINOS } \ominus\text{—}\ominus \quad (54)$$

DONDE  $\log \gamma^\circ (MX)$  ES EL VALOR PARA  $MX$  A LA MISMA FUERZA IÓNICA DE LA MEZCLA, LOS OTROS TÉRMINOS ESTÁN RELACIONADOS A LOS TÉRMINOS DE EXCESO DE MEZCLA. POR EJEMPLO, PARA EL  $NaCl$  EN AGUA DE MAR

$$\sum \oplus\text{—}\oplus = (Na - Mg) + (Na - K) + (Na - Ca) + \dots \quad (55)$$

$$\sum \ominus\text{—}\ominus = (Cl - SO_4) + (Cl - HCO_3) + (Cl - Br) + \dots \quad (56)$$

DONDE LOS TÉRMINOS EN EL PARÉNTESIS REPRESENTAN LOS PESOS DE

ACUERDO A LA COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA. ROBINSON Y WOOD (148) HAN APLICADO ESTA TEORÍA A LOS CONSTITUYENTES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR Y A ALGUNOS CONSTITUYENTES MENORES (166).

LOS RESULTADOS PARA LAS SALES MÁS ABUNDANTES PRESENTES EN EL AGUA DE MAR SE DAN EN LA TABLA 6. ESTOS VALORES SE APROXIMAN A LOS OBTENIDOS USANDO EL MODELO DE INTERACCIÓN ESPECÍFICA Y AL MODELO DEL PAR IÓNICO. ESTO NO ES SORPRESA YA QUE LOS TÉRMINOS DEBIDO A LAS INTERACCIONES  $\oplus \text{---} \oplus$  Y  $\ominus \text{---} \ominus$  SON PEQUEÑOS PARA LAS ENERGÍAS LIBRES DE LA MEZCLA.

TODOS ESTOS MODELOS QUE ESTIMAN LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD TOTALES SE BASAN EN LAS PROPIEDADES DE LOS ELECTROLITOS EN AGUA PURA, LA ESTIMACIÓN PUEDE SER HECHA CON RELATIVA FACILIDAD SI SE TOMA EN CUENTA LO DIFÍCIL QUE ES MEDIR DIRECTAMENTE EL  $\gamma_T$ . COMO TODOS LOS MÉTODOS PRODUCEN VALORES SIMILARES (TABLAS 6 Y 7), NO ES POSIBLE DECIR CUAL MÉTODO ES MÁS CONFIABLE. HASTA AHORA ESTOS MÉTODOS NO HAN SIDO APLICADOS EN LA OBTENCIÓN DE LOS VOLÚMENES MOLALES PARCIALES O ENTALPÍAS DE SOLUTOS EN EL AGUA DE MAR, LO QUE DARÍA UNA EVALUACIÓN CRÍTICA DE LOS MODELOS USADOS PARA PREDECIR LAS PROPIEDADES DEL SOLUTO EN EL AGUA DE MAR.



### 2.3 COMPOSICION QUIMICA DE AGUAS DE RÍOS, ESTUARIOS, LAGOS, LAGUNAS Y AGUA DE MAR.

UN ESTUARIO ES DEFINIDO POR PRITCHARD (133) COMO "UN CUERPO DE AGUA COSTERO SEMIENCERRADO, ÉL CUAL TIENE UNA COMUNICACIÓN LIBRE CON EL MAR ABIERTO Y DENTRO DEL CUAL EL AGUA DE MAR ES DILUIDA POR EL AGUA DE RÍO PROVENIENTE DEL DRENAJE TERRESTRE". LANKFORD (73) DEFINE EL TÉRMINO DE LAGUNA COSTERA COMO "UNA ZONA COSTERA DE DEPRESIÓN DEBAJO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR, QUE TIENE UNA COMUNICACIÓN PERMANENTE O EFÍMERA CON EL MAR, PERO QUE ESTÁ PROTEGIDA DEL MAR POR ALGÚN TIPO DE BARRERA". ALGUNAS VECES ESTAS LAGUNAS SE ENCUENTRAN CONECTADAS A RÍOS (37) COMO EN EL CASO DE LA LAGUNA DE TÉRMINOS. COMO LA COMPOSICIÓN DE UN RÍO QUE DRENA HACIA UN ESTUARIO O LAGUNA PUEDE SER DIFERENTE ES NECESARIO PRIMERAMENTE EXAMINAR LA COMPOSICIÓN DE VARIOS RÍOS.

LIVINGSTONE (79) HA CONSTRUIDO VARIAS TABLAS EN DONDE LA COMPOSICIÓN DE LOS CONSTITUYENTES MÁS ABUNDANTES EN LOS RÍOS SE MUESTRA. UNA COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE ESTOS CONSTITUYENTES SE PUEDE OBSERVAR EN LA FIGURA 5. AUNQUE LA ENTRADA DE SÓLIDOS TOTALES DE DIVERSOS RÍOS VARÍA DE 70 A 200 PPM LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LA MAYORÍA DE LOS RÍOS ES SIMILAR, COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LA FIGURA 5. UNA COMPARACIÓN

DE LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS CONSTITUYENTES MÁS ABUNDANTES DE UN RÍO, LAGO, LAGUNA Y AGUA DE MAR SE DA EN LA TABLA 8 Y EN LA FIGURA 6.

LOS SÓLIDOS TOTALES DE EL RÍO SON  $0,127 \text{ g kg}^{-1}$ , DEL LAGO  $0,580 \text{ g kg}^{-1}$ , DE LA LAGUNA  $44,788 \text{ g kg}^{-1}$  Y DEL AGUA DE MAR  $35,170 \text{ g kg}^{-1}$ . LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES PARA EL RÍO SON  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  Y  $\text{Na}^+$ ; PARA EL LAGO SON  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  Y  $\text{Ca}^{2+}$ ; PARA LA LAGUNA Y EL AGUA DE MAR SON  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  Y  $\text{Ca}^{2+}$ . LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES PARA EL RÍO SON  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{SO}_4^{2-}$  Y PARA LA LAGUNA Y EL AGUA DE MAR SON  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{SO}_4^{2-}$ . PARA EL CASO DE LAS LAGUNAS COSTERAS Y EL AGUA DE MAR COMO ERA DE ESPERARSE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES SON LOS MISMOS.

LAS AGUAS DE RÍO CONTIENEN UNA FRACCIÓN ALTA DE  $\text{SiO}_2$ , EL CUAL PREDOMINA EN LA FORMA NO IONIZADA DE  $\text{Si(OH)}_4$  A UN PH DE 7.3 A 8.0, QUE PRESENTAN LA MAYORÍA DE LOS RÍOS.

UNA COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES DE UN RÍO, LAGO, LAGUNA Y AGUA DE MAR ESTÁ MOSTRADA EN LA FIGURA 7. ESTA COMPARACIÓN DEMUESTRA QUE LOS CONSTITUYENTES MÁS ABUNDANTES DEL RÍO ( $\text{Ca}^{2+}$  Y  $\text{HCO}_3^-$ ) Y DEL LAGO ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  Y  $\text{HCO}_3^-$ ) SON COMPLETAMENTE DIFERENTES A LOS DE UNA LAGUNA Y DEL AGUA DE MAR ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{SO}_4^{2-}$ ). ESTO SE VE REFORZADO CUANDO SE COMPARAN LAS FRACCIONES EQUIVA

T A B L A 8

FRACCION EQUIVALENTE DE LOS SOLUTOS MAS ABUNDANTES DE UN RIO, LAGO, LAGUNA Y AGUA DE MAR.

SOLUTO	RIO <sup>A</sup>	LAGO <sup>B</sup>	LAGUNA <sup>C</sup>	AGUA DE MAR <sup>D</sup>
Na <sup>+</sup>	17.25%	38.07%	77.33%	77.27%
Mg <sup>2+</sup>	20.54	46.54	17.84	17.57
Ca <sup>2+</sup>	45.64	4.71	3.36	3.39
K <sup>+</sup>	3.60	10.68	1.47	1.68
Sr <sup>2+</sup>	-	-	-	0.03
Cl <sup>-</sup>	13.41	8.36	90.34	90.08
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14.20	1.01	9.25	9.32
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	57.89	88.02	0.27	0.32
Br <sup>-</sup>	-	-	0.15	0.14
B(OH) <sub>3</sub>	-	-	-	0.05
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.24	2.61	-	0.06
B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	0.01
F <sup>-</sup>	-	-	-	0.01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.98	-	-	-
Si(OH) <sub>4</sub>	12.98	-	-	-
Si(OH) <sub>3</sub> O <sup>-</sup>	0.30	-	-	-

DATOS CONSULTADOS EN: (A) 79; (B) 25; (C) 39; (D) 103.

LENTES DE LOS COMPONENTES MÁS ABUNDANTES DE AGUAS DEL MAR BÁL  
TICO (112) Y DEL LAGO DE ZEMPOALA (161) CON LAS FRACCIONES  
EQUIVALENTES DEL AGUA DE MAR Y LA DE UN PROMEDIO MUNDIAL DE  
AGUA DE RÍO (FIGURA 8). DESPUÉS DE ESTAS COMPARACIONES SE  
PUEDE ESPERAR QUE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN RÍO, LAGO, LA  
GUNA, AGUA DE MAR Y UN ESTUARIO SEAN COMPLETAMENTE DIFERENTES.

LA COMPOSICIÓN PARA UN LITRO DE AGUA DE RÍO PROMEDIO MUNDIAL  
SE DÁ EN LA TABLA 9 (102). LA MOLARIDAD DEL RÍO ES IGUAL A  
 $1.299 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  Y LA FUERZA IÓNICA ES IGUAL A  $2.089 \times$   
 $10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . PUESTO QUE LOS GRAMOS DE AGUA SON APROXIMADA-  
MENTE IGUAL A 1000.00, LA MOLALIDAD Y LA FUERZA IÓNICA SON  
IGUAL A LOS VALORES MOLARES (LA DENSIDAD DEL AGUA DE RÍO A  
25°C ES IGUAL A  $0.997075 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ).

LA COMPOSICIÓN DE UN LITRO DE AGUA DEL LAGO DE ZEMPOALA SE DÁ  
EN LA TABLA 10. DE DONDE  $\sigma_T = 108.28 \times 10^{-3} \text{ g kg}^{-1}$  ó  $107.979 \times$   
 $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$  (CUANDO LA DENSIDAD ES  $0.997159 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$  a 25°C),  
LA MOLALIDAD DEL LAGO ES IGUAL A  $1.179 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$  Y LA  
FUERZA IÓNICA MOLAL ES IGUAL A  $1.412 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$ .

LA COMPOSICIÓN DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE LAGUNA COSTERA (LA-  
GUNA DE APOZAHUALCO, 39) SE ENCUENTRA EN LA TABLA 11.

LOS GRAMOS TOTALES DE LOS SOLUTOS MÁS ABUNDANTES PARA ESTA LA

T A B L A 9<sup>A</sup>

COMPOSICION DE UN LITRO DE AGUA DE RIO (PROMEDIO MUNDIAL)

IÓN	$g_i 10^3$	$n_i 10^3$	$e_i 10^3$	$I_i 10^3$			
Na <sup>+</sup>	6.5	0.283	0.283	0.283			
Mg <sup>2+</sup>	4.1	0.169	0.337	0.674			
Ca <sup>2+</sup>	15.0	0.374	0.749	1.496			
K <sup>+</sup>	2.3	0.059	0.059	0.059			
Cl <sup>-</sup>	7.8	0.220	0.220	0.220			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11.2	0.117	0.233	0.466			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	58.4	0.950	0.950	0.950			
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	0.002	0.004	0.008			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.0	0.016	0.016	0.016			
Si(OH) <sub>3</sub> O <sup>-</sup>	-	0.005	0.005	0.005			
1/2 $\Sigma$		1.086	1.428	2.089			
Si(OH) <sub>4</sub>	20.5	0.213	0.213	-			
$g_T =$	126.8	$n_T =$	1.299	$e_T =$	1.641	$I_T =$	2.089

A) DATOS CONSULTADOS EN (100).

T A B L A 10<sup>A</sup>

COMPOSICIONES DEL LAGO DE ZEMPOALA (PARA UN KILOGRAMA DE AGUA)

IÓN	$g_i \cdot 10^3$	$n_i \cdot 10^3$	$e_i \cdot 10^3$	$I_i \cdot 10^3$
Na <sup>+</sup>	4.811	0.209	0.209	0.209
Mg <sup>2+</sup>	5.268	0.217	0.434	0.867
Ca <sup>2+</sup>	6.487	0.162	0.324	0.647
K <sup>+</sup>	1.055	0.027	0.027	0.027
Cl <sup>-</sup>	9.989	0.282	0.282	0.282
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.830	0.040	0.080	0.160
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14.876	0.244	0.244	0.244
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.069	0.388	0.388	0.388
1/2 $\Sigma$		0.785	0.994	1.412
Si(OH) <sub>4</sub>	37.902	0.394	0.394	-
$g_T = 108.287$	$n_T = 1.179$	$e_T = 1.388$	$I_T = 1.412$	

A) DATOS CONSULTADOS EN (161).

T A B L A 11<sup>A</sup>

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE LAGUNA COSTERA\*

IÓN	$g_i/Cl(^{\circ}/\infty\infty)$	$n_i/Cl(^{\circ}/\infty\infty)$	$e_i/Cl(^{\circ}/\infty\infty)$	$I_i/Cl(^{\circ}/\infty\infty)$
Na <sup>+</sup>	0.55311	0.024059	0.024059	0.024059
Mg <sup>2+</sup>	0.06745	0.002775	0.005550	0.011100
Ca <sup>2+</sup>	0.02097	0.000523	0.001046	0.002093
K <sup>+</sup>	0.01788	0.000457	0.000457	0.000457
Cl <sup>-</sup>	0.99647	0.028107	0.028107	0.028107
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.13816	0.001438	0.002877	0.005753
Br <sup>-</sup>	0.00353	0.000044	0.000044	0.000044
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00518	0.000085	0.000085	0.000085
$1/2 \sum$		0.028744	0.031113	0.035849
$g_T =$	1.802745			

A) DATOS CONSULTADOS EN (39)

\*  $Cl(^{\circ}/\infty\infty) = 24.8441$

GUNA SON  $44,7876 \text{ g kg}^{-1}$ . LAS MOLES TOTALES SON DADAS POR

$$n_T = 0.028744 \quad (24,8441) \quad (57)$$

DE DONDE SE OBTIENE  $714,12 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$ , LOS EQUIVALEN-  
TES TOTALES CORRESPONDIENTES A LOS SOLUTOS MÁS ABUNDANTES DEL  
AGUA DE MAR ESTÁN DADOS POR

$$n_T' = 0.031113 \quad (24,8441) \quad (58)$$

DE DONDE SE OBTIENE  $772,97 \times 10^{-3} \text{ eq kg}^{-1}$ , LA FUERZA IÓNICA  
TOTAL ( $I_T$ ) ES DADA POR

$$I_T = 0.035849 \quad (24,8441) \quad (59)$$

SE OBTIENEN  $890,64 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$ .

LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DE MAR HA SIDO ADECUADAMENTE DEMOSTRA  
DA POR VARIOS TRABAJOS (20, 84, 145). UNA REVISIÓN COMPLETA  
DE LA ESTEQUIOMETRÍA Y COMPOSICIÓN DEL AGUA DE MAR ES DESARRO  
LLADA POR MILLERO (98).



## 2.4 LA DENSIDAD DE LAGOS, RÍOS, LAGUNAS Y ESTUARIOS

LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA SOLUCIÓN FORMADA POR VARIOS ELECTROLITOS COMO EL AGUA DE MAR, UN ESTUARIO, ETC., PUEDEN SER ESTIMADAS A PARTIR DE LOS DATOS DE LOS ELECTROLITOS BINARIOS. SE HAN USADO ESTOS MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAGOS (99, 161), RÍOS (104), LAGUNAS (39) Y ESTUARIOS (104).

EN ESTA SECCIÓN SE EXAMINARÁ LA DENSIDAD DE LAGOS, RÍOS, LAGUNAS Y ESTUARIOS DETERMINADA POR EL USO DE LA REGLA DE YOUNG, LA ECUACIÓN PROPUESTA POR MILLERO (103) Y LA MOLALIDAD (80). PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE UN RÍO, UN LAGO, ETC., USANDO EL MÉTODO ADITIVO SE DEBERÁ DETERMINAR EL  $\phi^0$ ,  $S_V$  Y  $b_V$  ASÍ COMO EL PESO EQUIVALENTE PROMEDIO  $M_T$  PARA LAS SALES DEL RÍO Y LAGO. UNA MUESTRA DEL CÁLCULO DE  $\phi^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA AGUA DE RÍO PROMEDIO MUNDIAL Y EL LAGO TANGANYKA SE DAN EN LA TABLA 12 Y 13. UN RESUMEN DE LOS VALORES DE  $\phi^0$ ,  $S_V$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA DIFERENTES RÍOS ASÍ COMO PARA EL AGUA DE MAR Y EL LAGO TANGANYKA ESTÁN DADOS EN LA TABLA 14.

PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE UNA SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA SE PUEDE USAR LA SIGUIENTE ECUACIÓN

$$d = d^0 + 10^{-3} (M_T - d^0 \sum v_i) e_T \quad (60)$$

DONDE  $d^0$  ES LA DENSIDAD DEL AGUA PURA (61),  $M_T = \sum E_i M_i$  ES EL PESO EQUIVALENTE PROMEDIO,  $\Phi_V = \sum E_i \phi_V(i)$  ES EL VOLU MEN APARENTE DE LAS SALES DEL RÍO, LAGO O ESTUARIO Y  $e_T$  ES LA NORMALIDAD TOTAL (eq l<sup>-1</sup>). EL  $\Phi_V$  ES FUNCIÓN DE LA CON- CENTRACIÓN PARA UN ELECTROLITO PUEDE SER REPRESENTADA POR

$$I_V = I_V^0 + S_V I_V^{1/2} + b_V I_V \quad (19)$$

DONDE  $I_V^0 = \sum E_i \phi_V^0(i)$  ES EL VOLUMEN EQUIVALENTE APARENTE A DILUCIÓN INFINITA,  $S_V = \sum E_i S_V(i)$  ES LA PENDIENTE DE LA LEY LIMITANTE DE DEBYE HUCKEL, Y  $b_V = \sum E_i b_V(i)$  ES UN PA- RÁMETRO RELACIONADO A LA DESVIACIÓN DE LA LEY LIMITANTE.

AL COMBINAR LA ECUACIÓN (19) CON LA ECUACIÓN (60), SE OBTIENE

$$d = d^0 + 10^{-3} (M_T - d^0 \Phi_V) e_T - 10^{-3} S_V d^0 e_T I_V^{1/2} - 10^{-3} b_V d^0 e_T I_V \quad (33)$$

6

$$10^3 (d - d^0) = (M_T - d^0 \Phi_V) e_T - S_V d^0 e_T I_V^{1/2} - b_V d^0 e_T I_V \quad (61)$$

EN DONDE  $e_T$  Y  $I_V$  SON PEQUEÑOS PARA LOS RÍOS Y LAGOS; LOS DOS ÚLTIMOS TÉRMINOS DE LA ECUACIÓN (33) NORMALMENTE NO SE NE CESITAN Y LAS DENSIDADES PUEDEN SER ESTIMADAS POR LOS VÓLUME- NES EQUIVALENTES APARENTES A DILUCIÓN INFINITA,  $I_V^0 = \sum E_i \phi_V^0$ .

T A B L A 12

CALCULO DE  $\bar{\phi}_V^0$ ,  $M_T$  Y  $b_V$ , PARA LAS SALES QUE FORMAN UN RIO A 25°C.

IÓN	$\bar{\phi}_V^0$	$E_i \phi_V^0$	$M_i$	$E_i M_i$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$
Ca <sup>+</sup>	- 8.93	-4.077	20.0400	9.150	0.242	0.110
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-2.175	12.1525	2.496	-0.197	-0.040
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.202	22.9898	3.839	1.078	0.180
K <sup>+</sup>	9.03	0.325	39.1020	1.408	1.129	0.041
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	14.171	61.0172	35.597	2.122	1.238
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.993	48.0288	6.820	0.134	0.019
Cl <sup>-</sup>	17.83	2.391	35.4530	4.754	-1.030	-0.138
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.257	62.0049	0.608	-1.000	-0.010
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0 <sup>a</sup>	7.974	96.1156	12.774	-	-
	$\bar{\phi}_V^0 = 19.657$		$M_T = 77.446$		$b_V = 1.400$	

A) DATO CONSULTADO EN (12).

T A B L A 13

CALCULO DE  $\bar{\phi}_V^0$ ,  $M_T$  Y  $b_V$  PARA SALES DEL LAGO TANGANYICA A 25°C<sup>A</sup>

IÓN	$\bar{\phi}_V^0$	$E_i \bar{\phi}_V^0$	$M_i$	$E_i M_i$	$b_V (i)$	$E_i b_V (i)$
Na <sup>+</sup>	- 1.21	- 0.461	22.9898	8.752	1.078	0.410
K <sup>+</sup>	9.03	0.964	39.1020	4.176	1.129	0.121
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	- 4.929	12.1525	5.656	-0.197	-0.092
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	- 0.421	20.0400	0.944	0.242	0.011
Cl <sup>-</sup>	17.83	1.491	35.4530	2.964	-1.030	-0.086
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.071	48.0288	0.485	0.134	0.001
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	21.380	61.0172	53.707	2.122	1.868
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	- 1.89	- 0.049	30.0046	0.783	-0.411	-0.011
	$\bar{\phi}_V^0 =$ 18.046		$M_T =$ 77.467		$b_V =$ 2.222	

A) BASADOS EN LOS VALORES DE  $\bar{\phi}_V^0$  Y  $b_V$  DADOS EN (91) Y (98).

T A B L A 14<sup>A</sup>

$\Phi_V^0$ ,  $S_V$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA SALES DE RIOS Y AGUA DE MAR A  
25°C

ZONA	$\Phi_V^0$	$S_V$	$b_V$	$M_T$
AMÉRICA DEL SUR	14.934	2.612	1.417	74.672
AMÉRICA DEL NORTE	25.168	2.055	1.339	80.734
EUROPA	14.512	2.739	1.523	76.407
ASIA	18.723	2.432	1.572	77.151
ÁFRICA	22.226	2.104	1.006	75.856
AUSTRALIA	23.008	2.276	1.273	78.540
PROMEDIO	19.657	2.371	1.400	77.446
AGUA DE MAR	13.896	2.150	-0.101	58.034
LAGO TANGANYKA	18.046	2.380	2.222	77.467

A) DATOS CONSULTADOS EN (103).

LOS VALORES DE  $\bar{\epsilon}_V^0$ ,  $s_V$  Y  $b_V$  PARA LAS SALES DE LOS RÍOS Y LAGOS SON SIMILARES Y COMPLETAMENTE DIFERENTES A LOS DE LAS SALES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR (TABLA 14).

LAS DENSIDADES RELATIVAS ( $d - d^0$ ) CALCULADAS PARA VARIOS RÍOS Y EL LAGO TANGANYKA SE DAN EN LA TABLA 4. EN ESTA TABLA SE ENCUENTRAN TAMBIÉN LAS DENSIDADES PARA SOLUCIONES DE AGUA DE MAR PREPARADAS POR DILUCIÓN CON AGUA PURA, CALCULADAS A LA MISMA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES, Y RELACIONADAS A LA SALINIDAD POR (98, 99 Y 108).

$$g_T = 1.004847 \text{ S (}^0/00\text{)} \quad (62)$$

LAS DENSIDADES CALCULADAS DE VARIOS RÍOS Y EL LAGO TANGANYKA PRESENTAN UNA BUENA APROXIMACIÓN CON AQUELLAS DETERMINADAS PARA EL AGUA DE MAR CON LA MISMA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES (EN UN PROMEDIO DE  $\pm 3.4 \times 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). ASÍ LAS DENSIDADES (COMO TAMBIÉN OTRAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS) DE RÍOS Y LAGOS SON IGUALES A LA DEL AGUA DE MAR CON LA MISMA CANTIDAD DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (102).

LA DENSIDAD DE UN ESTUARIO FORMADO POR UNA MEZCLA DE AGUA DE RÍO Y AGUA DE MAR PUEDE SER ESTIMADA POR EL  $\phi_V$  USANDO LA REGLA DE YOUNG (102).

$$\phi_V (\text{ESTUARIO}) = E_R \phi_V (R) + E_{SK} \phi_V (SW) \quad (34)$$

DONDE  $E_R$  Y  $E_{SW}$  SON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LAS SALES DEL RÍO Y EL AGUA DE MAR,  $\phi_V (R)$  Y  $\phi_V (SW)$  SON LOS VOLÚMENES EQUIVALENTES APARENTES A LA MISMA FUERZA IÓNICA DE LA MEZCLA ( $I = E_R I_R + E_{SW} I_{SW}$ ).

LOS VALORES DE  $\phi_V$  (ESTUARIO) CALCULADOS DE LA ECUACIÓN (34) ASÍ COMO  $M_T = E_R M_R + E_{SW} M_{SW}$  Y  $e_T = E_R N_R + E_{SW} N_{SW}$  HAN SIDO USADOS (102) PARA CALCULAR LA DENSIDAD DE UN ESTUARIO (USANDO LA ECUACIÓN (60)).  $M_T$ ,  $M_R$  Y  $M_S$  SON LOS PESOS EQUIVALENTES PROMEDIO PARA LOS SOLUTOS EN UN ESTUARIO, RÍO Y AGUA DE MAR RESPECTIVAMENTE Y  $N_T$ ,  $N_R$  Y  $N_S$  SON LAS NORMALIDADES CORRESPONDIENTES. LOS VALORES DE  $\phi_V$  (ESTUARIO),  $M_T$  Y  $N_T$  SE DAN EN LA TABLA 15 A DIFERENTES FRACCIONES POR PESO DE AGUA DE MAR. LAS DENSIDADES RELATIVAS DE UN ESTUARIO A DIFERENTES FRACCIONES POR PESO DE AGUA DE MAR SE DAN EN LA TABLA 5. EN ESTA TABLA SE DAN LAS DENSIDADES DEL AGUA DE MAR DILUIDAS CON AGUA PURA (106). EN TODO EL INTERVALO DE FRACCIÓN POR PESO DEL AGUA DE MAR LAS DENSIDADES CALCULADAS PARA UN ESTUARIO, ESTÁN DE ACUERDO CON LOS VALORES CALCULADOS POR LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR.

MEDIDAS DIRECTAS (104) EN AGUAS ARTIFICIALES DE RÍO Y EN UN ESTUARIO FORMADO POR MEZCLA DE AGUA ARTIFICIAL DE RÍO CON AGUA DE MAR ESTÁNDAR FUERON REALIZADAS POR MILLERO ET AL. (104). LOS RESULTADOS SE ENCUENTRAN EN LA TABLA 16. DE ESTAS COMPA-

T A B L A 15

VOLUMEN EQUIVALENTE APARENTE, PESO MOLECULAR PROMEDIO Y NORMALIDAD TOTAL DE SALES DE UN ESTUDIO A DIFERENTES FRACCIONES POR PESO DE AGUA DE MAR<sup>A</sup>,

$X_{SW}$	$E_S$	$\Phi_V$ (ESTUARIO)	$M_T$	$N_T$
0	0	19.768	77.446	0.00164
0.02	0.8827	14.866	63.310	0.01370
0.04	0.9392	14.644	59.215	0.02576
0.06	0.9594	14.608	58.822	0.03785
0.08	0.9698	14.617	58.620	0.04995
0.10	0.9762	14.641	58.496	0.06207
0.20	0.9893	14.806	58.242	0.12280
0.30	0.9937	14.962	58.156	0.18388
0.40	0.9960	15.098	58.112	0.24525
0.50	0.9973	15.217	58.086	0.30694
0.60	0.9982	15.323	58.069	0.36895
0.70	0.9988	15.418	58.057	0.43127
0.80	0.9993	15.508	58.047	0.49393
0.90	0.9997	15.590	58.040	0.55689
1.00	1.0000	15.671	58.034	0.62019

A) DATOS CONSULTADOS EN (102).



RACIONES SE OBSERVA QUE LAS DENSIDADES (Y OTRAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS) DEL AGUA DE MAR DILUIDA CON AGUA PURA PUEDEN SER IGUALES A LA DE LOS RÍOS, LAGOS, MARES Y ESTUARIOS (102).

SI SE CONOCE LA CANTIDAD TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS QUE TRAEN LAS AGUAS DE UN RÍO, LOS SÓLIDOS DISUELTOS DE UN ESTUARIO PUEDEN SER DETERMINADOS DE

$$g_T (\text{estuario}) = g_T (\text{rfo}) + b S(^{\circ}/\infty) \quad (63)$$

DONDE  $S(^{\circ}/\infty)$  ES LA SALINIDAD MEDIDA POR CONDUCTIVIDAD Y LA CONSTANTE  $b$  ES

$$b = [35.170 - g_T (\text{rfo})] / 35.000 \quad (64)$$

ESTAS ECUACIONES TAMBIÉN PUEDEN SER DADAS EN FUNCIÓN DE LA CLORINIDAD.

$$g_T (\text{estuario}) = g_T (\text{rfo}) + b Cl(^{\circ}/\infty) \quad (65)$$

DONDE  $g_T (\text{rfo})$  SE DA EN  $g \text{ kg}^{-1}$  DE COMPONENTES IÓNICOS, LA PENDIENTE  $b$  ES DADA POR

$$b = [g (\text{sw}) - g (\text{rfo})] / 19.374 \quad (66)$$

LA SALINIDAD DEL AGUA DE MAR EQUIVALENTE PARA EL CÁLCULO DE  $g_T$  (ESTUARIO) DE LA ECUACIÓN (63) PUEDE SER DETERMINADA DE

$$s(^{\circ}/\infty)_T = g_T (\text{estuario}) / 1.004847 \quad (67)$$

T A B L A 16

DENSIDADES RELATIVAS DE UN ESTUARIO ARTIFICIAL A 25° C

$X_{SW}$	$g_T^*$	MEDIDA	$(d - d^{\circ})10^3$ CALCULADA <sup>+</sup>	$\Delta$ , PPM
0.00000	0.106	0.082	0.081	1
0.02092	0.840	0.632	0.634	- 2
0.04008	1.512	1.137	1.139	- 2
0.06266	2.303	1.730	1.732	- 2
0.08293	3.014	2.262	2.264	- 2
0.10294	3.716	2.786	2.789	- 3
0.20371	7.250	5.426	5.427	- 1
0.30166	10.685	7.984	7.987	- 3
0.40325	14.248	10.642	10.642	0
0.50069	17.665	13.190	13.190	3
0.60117	21.189	15.823	15.820	- 1
0.70068	24.679	18.428	18.429	- 1
0.79905	28.129	21.012	21.013	- 1
0.90030	31.680	23.678	23.679	- 1
				$\pm 1.6$

\*  $g_T = 0.106 + 35.078 X_{SW}$

+ CALCULADA DE LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR DE MILLERO ET AL., (106).

LAS ECUACIONES (63) A (67) HAN SIDO USADAS POR MILLERO (102, 112) PARA EXAMINAR LAS DENSIDADES DEL MAR BÁLTICO. LAS MEDIDAS DE DENSIDAD OBTENIDAS SON SEMEJANTES A LAS OBTENIDAS POR LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR (106). ALGO INTERESANTE ENCONTRADO EN ESTE TRABAJO FUE QUE LAS PRIMERAS MEDIDAS DE DENSIDAD REALIZADAS POR KNUDSEN (106) EN EL MAR BÁLTICO A  $\sigma_T(\text{río}) = 0.073 \text{ g kg}^{-1}$  ESTÁN CERCANAS CON LOS PRIMEROS DATOS DE COMPOSICIÓN (84), MIENTRAS QUE LAS MEDIDAS MÁS RECIENTES EFECTUADAS POR COX *ET AL.* (16), Y KREMLING (106) A  $\sigma_T(\text{río}) = 0.120 \text{ g kg}^{-1}$  ESTÁN CERCANAS CON LOS DATOS DE COMPOSICIÓN MÁS RECIENTES (106) (TABLA 17).

LAS DENSIDADES DEL MAR ROJO Y MEDITERRÁNEO (106) TAMBIÉN SE APROXIMAN A LAS DENSIDADES QUE SE OBTIENEN CUANDO SE EVAPORA AGUA DE MAR HASTA LA MISMA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES ( $\sigma_T$ ) LOS CUALES SON OBTENIDOS DE LA ECUACIÓN (63). ASÍ, ESTOS MARES SE COMPORTAN COMO UN ESTUARIO EVAPORADO NO COMO AGUA DE MAR EVAPORADA.

EL HECHO DE QUE LA DENSIDAD DE RÍOS, LAGOS, ESTUARIOS, MARES Y AGUA DE MAR ESTÉ BASTANTE APROXIMADA A LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS, CREA UN PROBLEMA RELACIONADO CON LA NUEVA DEFINICIÓN DE SALINIDAD (106).

$$S (0/00) = 1.80655 C_1 (0/00) \quad (68)$$

T A B L A 17

COMPARACION DE LAS DENSIDADES MEDIDAS DE EL MAR BALTICO CON LAS OBTENIDAS AL DILUIR AGUA DE MAR CON AGUA PURA<sup>A</sup>.

MILLERO - COX ET AL., 0°C			MILLERO - KREMLING 0,36°C		
S(0/00)	No CORREGIDA	CORREGIDA	S(0/00)	No CORREGIDA	CORREGIDA
9.579	- 53	17	15.247	- 57	- 2
15.541	- 45	9	20.083	- 44	- 3
20.130	- 51	- 10	25.013	- 38	- 10
20.154	- 32	9	29.839	- 13	1
25.439	- 29	- 2	31.191	- 9	2
29.698	- 25	- 10	31.920	- 11	- 3
35.004	- 4	- 4	32.319	- 4	4
39.232	8	- 3	35.495	3	2
40.288	9	- 5	39.232	- 3	- 14
		± 7.7			± 4.5

A) DATOS CONSULTADOS EN (106).

ESTA NUEVA DEFINICIÓN CAUSA UNA DIFERENCIA ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA DE MAR DILUIDAS CON AGUA PURA Y LAS MEDIDAS HECHAS DIRECTAMENTE EN AGUAS NATURALES (DEBIDO A LA FALTA DE UN TÉRMINO QUE INVOLUCRE EL APORTE DEL RÍO). USANDO LA ECUACIÓN (63) Ó (65), O LA PROPUESTA POR KNUDSEN, ESTE PROBLEMA HA SIDO ELUDIDO. COMO LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA DE MAR DILUIDA CON AGUA PURA ES CASI EQUIVALENTE A LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA NATURAL A LA MISMA CANTIDAD DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (106), LA REDEFINICIÓN DE LA RELACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ( $R_{15}$ ) EN TÉRMINOS DE DILUCIÓN POR PESO O AGUA DE MAR EVAPORADA PRODUCIRÁ SALINIDADES POR PESO  $S(^{\circ}/_{00})_T$  VÁLIDAS PARA TODAS LAS AGUAS NATURALES (106).

$$S(^{\circ}/_{00})_T = 27.25860610 R_{15} + 19.0618570 R_{15}^2 - 27.23834557 R_{15}^3 + 27.09960846 R_{15}^4 - 14.19791134 R_{15}^5 + 3.01618532 R_{15}^6 \quad (69)$$

DEBIDO A LA SENSIBILIDAD DE LAS MEDIDAS DE CONDUCTIVIDAD, LA CONDUCTIVIDAD DE ESTUARIOS A BAJAS SALINIDADES SE DESVIARÁ CONSIDERABLEMENTE DEL AGUA DE MAR DILUIDA CON AGUA PURA (102).

LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS A DIFERENCIA DE LAS CONDUCTIVIDADES EQUIVALENTES DE SOLUCIONES, APROXIMAN VALORES A DILUCIÓN INFINITA QUE ESTÁN EN FUNCIÓN DE LA COMPOSICIÓN.

RECIENTEMENTE, LO SURDO ET AL. (80) HAN PROPUESTO UN MÉTODO

PARA ESTIMAR LA DENSIDAD DE SOLUCIONES FORMADAS POR VARIOS ELECTROLITOS QUE PRESENTAN CONCENTRACIONES DENTRO DEL INTERVALO DE  $0.1 \text{ mol kg}^{-1} \leq m \leq \text{SATURACIÓN}$  Y DE 273.15 A 323.15 K (LA LETRA  $m$  REPRESENTA LA MOLALIDAD DE LA SOLUCIÓN).

EN ESTE TRABAJO SE MIDIERON LAS DENSIDADES DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS DE  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$  Y  $\text{MgSO}_4$  DE 278.15 A 318.15K Y DESDE UNA MOLALIDAD DE  $0.1 \text{ mol kg}^{-1}$  A LA SATURACIÓN. LA DENSIDAD DE UNA SOLUCIÓN A UNA TEMPERATURA Y MOLALIDAD DADA PUEDE SER DETERMINADA POR LA SIGUIENTE ECUACIÓN

$$10^3 (d_i - d^0) / (\text{g cm}^{-3}) =$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^k A_{ij} (T/K - 273.15)^j (m/m^0)^{(i+1)/2} \quad (70)$$

LOS VALORES DE  $A_{ij}$  SE DAN EN LA TABLA 18. ESTA ECUACIÓN HA SIDO APLICADA A SOLUCIONES DE AGUA DE MAR EVAPORADA (162) OBTENIÉNDOSE LOS RESULTADOS DE LA TABLA 19. EN DONDE SE OBSERVA QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR LA ECUACIÓN (70) SE APROXIMAN MÁS A LOS VALORES DE DENSIDAD MEDIDOS QUE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS CALCULANDO EL VOLUMEN MOLAL APARENTE  $\Phi_V$ .

LA DENSIDAD DE LAS AGUAS DE UNA LAGUNA COSTERA, PUEDE SER ESTIMADA A PARTIR DE LA ECUACIÓN (60) O LA ECUACIÓN (61). LA PRIMERA ECUACIÓN HA SIDO USADA PARA OBTENER LA DENSIDAD DE

T A B L A 18

COEFICIENTES DE  $A_{1j}$  PARA LA ECUACION (70) DE DENSIDAD, EN FUNCION DE LA MOLALIDAD Y LA TEMPERATURA;  $m^* = 1 \text{ mol kg}^{-1}$ ; INTERVALO DE TEMPERATURA:  $273,15 \leq T/K \leq 323,15$

	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>
M/M*	45,5655	140,5456	84,5781	130,7616
(M/M*)(T/K-273,15)	- 0,2341	- 0,5927	- 0,2621	- 0,2830
(M/M*)(T/K-273,15) <sup>2</sup>	3,4128x10 <sup>-3</sup>	6,7728x10 <sup>-3</sup>	5,1799x10 <sup>-3</sup>	- 7,2571x10 <sup>-4</sup>
(M/M*)(T/K-273,15) <sup>3</sup>	- 2,7030x10 <sup>-5</sup>	3,6754x10 <sup>-6</sup>	- 2,5306x10 <sup>-5</sup>	1,4498x10 <sup>-4</sup>
(M/M*)(T/K-273,15) <sup>4</sup>	1,4037x10 <sup>-7</sup>	- 4,4001x10 <sup>-7</sup>	- 2,4962x10 <sup>-8</sup>	- 1,5109x10 <sup>-6</sup>
(M/M*) <sup>3/2</sup>	- 1,8527	- 14,7844	- 9,3139	-16,3408
(M/M*) <sup>3/2</sup> (T/K-273,15)	5,3956x10 <sup>-2</sup>	0,2762	7,1401x10 <sup>-2</sup>	0,1479
(M/M*) <sup>3/2</sup> (T/K-273,15) <sup>2</sup>	- 6,2635x10 <sup>-4</sup>	- 3,9819x10 <sup>-3</sup>	- 2,2615x10 <sup>-3</sup>	- 1,7733x10 <sup>-3</sup>
(M/M*) <sup>3/2</sup> (T/K-273,15) <sup>3</sup>	0	1,7098x10 <sup>-5</sup>	8,5950x10 <sup>-6</sup>	- 1,5043x10 <sup>-5</sup>
(M/M*) <sup>2</sup>	- 1,6368	- 4,2102	5,8414	4,1675
(M/M*) <sup>2</sup> (T/K -273,15)	- 9,5652x10 <sup>-4</sup>	0	2,6108x10 <sup>-2</sup>	- 2,5103x10 <sup>-2</sup>
(M/M*) <sup>2</sup> (T/K-273,15) <sup>2</sup>	5,2829x10 <sup>-5</sup>	0	2,5307x10 <sup>-4</sup>	8,2102x10 <sup>-4</sup>
(M/M*) <sup>5/2</sup>	0,2274	0	- 7,8391	- 2,2782
(M/M*) <sup>5/2</sup> (T/K-273,15)	0	0	- 9,4151x10 <sup>-3</sup>	0
(M/M*) <sup>3</sup>	0	0	3,2510	0
(M/M*) <sup>7/2</sup>	0	0	- 0,4518	0
S/(10 <sup>-6</sup> g·cm <sup>-3</sup> )	20,3	14,8	19,7	24,4
(m/m*)MAX	6,1	1,5	5,2	22

T A B L A 19

COMPARACION DE LAS DENSIDADES MEDIDAS Y CALCULADAS DE AGUA DE  
MAR EVAPORADA

SALINIDAD (‰) <sub>T</sub>	MEDIDA	CALCULADA <sup>A</sup>	Δ	CALCULADA <sup>B</sup>	Δ
34,540	25.995	25,833	0.162	25,818	0.177
48,864	36.826	36,599	0.227	36,556	0.270
97,792	73.488	74,197	0.709	73,942	-0.454
135,261	104.098	103,641	0.457	103,420	0.678
183,807	143.659	142,834	-0.825	143,525	0.133
241,651	190.827	191,556	0.729	190,910	-0.083
278,620	222.609	225,528	-2.919	224,280	-1.671
287,527	233.377	231,815	1.562	231,436	1.941
321,733	261.235	260,601	0.634	258,975	2.260

A) CALCULADAS DE LA ECUACIÓN (70)

B) CALCULADAS DE LA ECUACIÓN (60)



LA LAGUNA DE APOZAHUALCO (39) OBTENIÉNDOSE UN VALOR MUY PRÓXIMO AL MEDIDO ( $\Delta$ , 133 ppm). DEPENDIENDO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA, LA ECUACIÓN (33) Ó (60) SE PUEDE USAR.

## 2.5 ESPECIACION DE LOS IONES MAS ABUNDANTES EN RIOS, LAGOS Y AGUA DE MAR.

COMO LA COMPOSICIÓN DE LAGOS Y RÍOS ES COMPLETAMENTE DIFERENTE A LA DEL AGUA DE MAR, SE ESPERA QUE LAS REACCIONES QUÍMICAS TAMBIÉN SEAN DIFERENTES. EL CAMINO MÁS FÁCIL PARA EXAMINAR EL CÓMO AFECTA LA COMPOSICIÓN A LAS PROPIEDADES DEL SOLUTO (Y LAS REACCIONES QUÍMICAS) ES COMPARAR LA ESPECIACIÓN DE LOS SOLUTOS IÓNICOS EN RÍOS, LAGOS Y AGUA DE MAR. DEBIDO A QUE LA FUERZA IÓNICA DE LAGOS Y RÍOS ES MUY BAJA (0.002 A 0.009). ES POSIBLE ESTIMAR EL COEFICIENTE DE ACTIVIDAD DE LOS IONES LIBRES ( $\gamma_F$ ) Y DE LOS PARES IÓNICOS CARGADOS POR (22, 146)

$$\log \gamma_F = -0.509 \left[ z_+ z_- \right] \left[ I^{1/2} / (1+I^{1/2}) - 0.3 I \right] \quad (71)$$

ESTA ECUACIÓN DA VALORES DE  $\gamma_F = 0.951$  Y  $0.874$  PARA IONES MONOVALENTES Y  $\gamma_F = 0.817$  Y  $0.584$  PARA IONES DIVALENTES EN AGUA DE RÍO Y LAGO RESPECTIVAMENTE. LA CONSTANTE DE ASOCIACIÓN ESTEQUIOMÉTRICA DETERMINADA DE LAS CONSTANTES DE ASOCIA-

CIÓN TERMODINÁMICAS ES DADA POR

$$K_A^* = K_A \gamma_F (M^+) \gamma_F (A^-) / \gamma (MA^0) \quad (72)$$

LAS CONSTANTES DE ASOCIACIÓN ESTEQUIOMÉTRICAS DETERMINADAS POR ESTA ECUACIÓN, PARA LAS SALES MÁS ABUNDANTES DE UN RÍO Y UN LAGO SE DAN EN LAS TABLAS 20 Y 21 RESPECTIVAMENTE.

LA ESPECIACIÓN DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES EN AGUAS DE RÍO Y UN LAGO (TANGANYKA) USANDO ESTAS CONSTANTES ESTEQUIOMÉTRICAS SE REPORTAN EN LAS TABLAS 22 Y 23. LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES, Y ANIONES EN EL LAGO TANGANYKA ES COMPARADA CON LA DEL RÍO Y EL AGUA DE MAR EN LAS FIGURAS 9 Y 10. COMO EN EL AGUA DE MAR, LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES EN RÍOS Y LAGOS ESTÁN PREDOMINANTEMENTE EN FORMA LIBRE. LOS ANIONES CON EXCEPCIÓN DEL  $CO_3^{2-}$  PREVALECE EN FORMA LIBRE. LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD TOTALES PARA RÍOS, LAGOS Y AGUA DE MAR SE DAN EN LA TABLA 24.

PARA ENTENDER MEJOR CÓMO EL MEDIO AMBIENTE INFLUYE EN LOS PROCESOS QUÍMICOS (EJEMPLO: EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE, PROCESOS DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN, SOLUBILIDAD DE MINERALES Y PRECIPITACIÓN) QUE OCURREN EN LOS OCÉANOS, ESTUARIOS, LAGUNAS, LAGOS Y RÍOS ES NECESARIO DESARROLLAR TRABAJOS TENDIENTES A ESTUDIAR LAS INTERACCIONES IÓNICAS QUE SE SUCEDEN EN ESTAS AGUAS NATURALES. ALGUNOS INVESTIGADORES COMO KESTER ET AL. (67), MILLERO ET AL.

(103, 109, 114) HAN EMPEZADO A ANALIZAR ESTAS INTERACCIONES.

T A B L A 20<sup>A</sup>

CONSTANTES DE ASOCIACION ESTEQUIOMETRICAS PARA LAS SALES MAS ABUNDANTES DE UN RIO A 25° C.

	$K_A^*$					
	$SO_4^{2-}$	$HCO_3^-$	$CO_3^{2-}$	$NO_3^-$	$F^-$	$OH^-$
$Na^+$	4.3	1.3	2.9	0.2 <sub>3</sub>	0.5	0.2 <sub>4</sub>
$Mg^{2+}$	108	13.2	1272	-	54	310
$Ca^{2+}$	137	14.5	5552	1.5 <sub>5</sub>	9.0	15.2
$K^+$	7.4	-	-	0.5 <sub>7</sub>	-	-
$H^+$	78	-	-	-	-	-

A) DATOS CONSULTADOS EN (102).

T A B L A 21<sup>A</sup>

CONSTANTES DE ASOCIACION ESTEQUIOMETRICAS PARA LAS SALES MAS ABUNDANTES DE UN LAGO A 25°C.

	$K_A^*$			
	$SO_4^{2-}$	$HCO_3^-$	$CO_3^{2-}$	$OH^-$
$Na^+$	3.51	1.18	2.38	0.22
$Mg^{2+}$	72.7	10.85	855	254.6
$Ca^+$	91.6	11.93	3735	12.46
$K^+$	6.1	-	-	-
$H^+$	64.0	-	-	-

A) DATOS CONSULTADOS EN (103).

T A B L A 22<sup>A</sup>

ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES EN AGUA DE RIO A 25°C.

CATION	%M	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH
H <sup>+</sup>	99.98	0.02	-	-	-
Na <sup>+</sup>	99.83	0.05	0.12	-	-
Mg <sup>2+</sup>	97.54	1.15	1.21	0.08	0.01
Ca <sup>2+</sup>	96.89	1.45	1.32	0.33	0.01
K <sup>+</sup>	99.92	0.08	-	-	-
ANION	% X	%Na X	% MgX	%Ca X	% K X
Cl <sup>-</sup>	100.00	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	93.55	0.11	1.66	4.64	0.04
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.23	0.04	0.21	0.52	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	31.03	0.03	6.50	62.44	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.93	0.01	-	0.06	-
OH <sup>-</sup>	94.64	0.01	4.83	0.52	-
F <sup>-</sup>	98.79	0.01	0.88	0.32	-

A) DATOS CONSULTADOS EN (102).

T A B L A 23<sup>A</sup>

ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES EN EL LA  
GO TANGANYIKA A 25°C.

CATION	%M	%SO <sub>4</sub>	%HCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH
H <sup>+</sup>	99.79	0.21	-	-	-
Na <sup>+</sup>	99.23	0.01	0.75	0.01	-
K <sup>+</sup>	99.98	0.02	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	90.77	0.22	6.30	2.60	0.11
Ca <sup>2+</sup>	83.01	0.25	6.33	10.40	0.01
ANION	% X	%NaX	%K X	%MgX	%CaX
Cl <sup>-</sup>	100.00	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	87.56	0.86	9.99	1.17	0.42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	97.84	0.32	1.67	0.17	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	34.59	0.23	46.40	18.78	-
OH <sup>-</sup>	71.33	0.04	28.50	0.13	-

A) DATOS CONSULTADOS EN (103).

T A B L A 24

COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS IONES MAS ABUNDANTES EN UN RIO, UN LAGO Y EL AGUA DE MAR A 25°C.

IÓN	RIO <sup>A</sup>		LAGO <sup>A</sup>		AGUA DE MAR <sup>B</sup>	
	F	T	F	T	F	T
H <sup>+</sup>	0.951	0.951	0.905	0.903	0.967	0.688
Na <sup>+</sup>	0.951	0.949	0.905	0.898	0.707	0.690
Mg <sup>2+</sup>	0.817	0.797	0.670	0.608	0.285	0.255
Ca <sup>2+</sup>	0.817	0.792	0.670	0.556	0.256	0.228
Sr <sup>2+</sup>	-	-	-	-	0.248	0.231
K <sup>+</sup>	0.951	0.950	0.905	0.905	0.623	0.615
Cl <sup>+</sup>	0.951	0.951	0.905	0.905	0.623	0.628
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.817	0.764	0.670	0.587	0.219	0.085
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.951	0.944	0.965	0.885	0.673	0.536
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.817	0.254	0.670	0.232	0.205	0.029
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.951	0.950	-	-	0.490	0.489
B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	0.633	0.351
OH <sup>-</sup>	0.951	0.900	0.905	0.646	0.863	0.236

DATOS CONSULTADOS EN: (A) 102; (B) 103.

### 3. AREA DE ESTUDIO

#### 3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN

LA ZONA DE MANDINGA SE LOCALIZA EN EL LITORAL MEXICANO DEL GOLFO DE MÉXICO A 18 km AL SUR DEL PUERTO DE VERACRUZ. ESTÁ LIMITADA POR LOS PARALELOS 19° 00' Y 19° 06' DE LATITUD NORTE Y LOS MERIDIANOS 96° 02' Y 96° 06' DE LONGITUD OESTE (FIGURA 11).

LA ZONA DE MANDINGA CONSTA DE DOS LAGUNAS: LA DE MANDINGA Y LA REDONDA COMUNICADAS ENTRE SÍ MEDIANTE CANALES. DESEMBOCAN DO AL MAR EN CONEXIÓN CON EL RÍO JAMAPA (FIGURA 11). SU COMUNICACIÓN CON EL MAR ES PERMANENTE. LA LAGUNA DE MANDINGA TIENE UNA SUPERFICIE DE 20 Km<sup>2</sup> Y UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE 2 m. UN CANAL DE APROXIMADAMENTE 1,6 Km DE LONGITUD DENOMINADO ESTUARIO DE MANDINGA COMUNICA A LA LAGUNA DE MANDINGA CON LA LAGUNA LA REDONDA. ESTA LAGUNA TIENE UNA SUPERFICIE DE 4 Km<sup>2</sup> Y UNA PROFUNDIDAD MEDIA DE 0,90 m. LA LAGUNA LA REDONDA SE CONTINÚA CON UN CANAL DE APROXIMADAMENTE 10 Km DE LONGITUD DENOMINADO ESTERO DEL CONCHAL, EN DONDE SE LOCALIZAN LOS PRINCIPALES BANCOS OSTRÍCOLAS DE LA REGIÓN. ESTE ESTERO SE COMUNICA EN FORMA PERMANENTE CON EL MAR (FIGURA 11).



### 3.2 CLIMA

LAS LAGUNAS DE MANDINGA SE LOCALIZAN EN UNA ZONA QUE PRESENTA UN CLIMA DEL TIPO A(w2''')(w)(i'), ES DECIR CÁLIDO Y HÚMEDO CON ÉPOCA SECA LARGA Y LLUVIAS EN VERANO (GARCÍA Y AMARO 1964). LA TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ES DE 36.3°C Y LA MÍNIMA EXTREMA DE 11.7°C. LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL TIENE UN VALOR DE 1775 mm. ESTA ZONA PRESENTA UNA ÉPOCA SECA BIEN DEFINIDA, QUE CORRESPONDE A LA ÉPOCA FRÍA, ASÍ COMO UNA TEMPORADA DE LLUVIAS, LAS CUALES SE MANIFIESTAN CON MAYOR INTENSIDAD A FINES 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 86% Y UN VALOR MÍNIMO EXTREMO DE 71% (159).

LOS VIENTOS DOMINANTES SON LOS PROVENIENTES DEL NORTE, AUNQUE LOS VIENTOS DEL OESTE TIENEN TAMBIÉN BASTANTE INFLUENCIA SOBRE LA ZONA. LOS VIENTOS DOMINANTES SON DE APROXIMADAMENTE 11 Km/h, SIN EMBARGO DURANTE LOS MESES DE DICIEMBRE Y ENERO SE PRESENTAN VIENTOS QUE ALCANZAN HASTA 70 Km/h, COINCIDIENDO CON LA ÉPOCA DE NORTES. EL VOLUMEN DE AGUA QUE ENTRA Y SALE DIARIAMENTE DE LAS LAGUNAS DEPENDEN ESENCIALMENTE DE LA VARIACIÓN DE NIVEL PROVOCADO POR LAS MAREAS. LAS MAREAS SON DE TI

PO DIURNO REGULAR, PRESENTÁNDOSE UNA PLEAMAR Y UNA BAJAMAR EN CADA DÍA DE MAREAS. GENERALMENTE EN CADA MES SE PRESENTAN DOS PERÍODOS DE UNOS TRES DÍAS CADA UNO EN LOS QUE LA MAREA ADQUIERE CARACTERÍSTICAS DE SEMIDIURNA IRREGULAR. EN ESTOS PERÍODOS QUE CORRESPONDEN A LOS CUARTOS LUNARES, ES CUANDO SE HABLA DE MAREAS MUERTAS, A DIFERENCIA DE LOS DE MÁXIMA AMPLITUD O DE MAREAS VIVAS QUE SE PRESENTAN VARIOS DÍAS ANTES Y DESPUÉS DEL CAMBIO DE LUNA.

### 3.3 VEGETACIÓN

LA VEGETACIÓN DE LA ZONA CORRESPONDE A LA SABANA TROPICAL, SIN EMBARGO GRAN PARTE DE LOS BORDES DEL SISTEMA DE MANDINGA ESTÁN OCUPADOS POR LA VEGETACIÓN DE MANGLAR. EXCEPTO LA PARTE SUROESTE DE LA LAGUNA DE MANDINGA Y LA PARTE SUR DE LA LAGUNA LA REDONDA EN CUYOS BORDES LA VEGETACIÓN ESTÁ COMPUESTA POR GRAMÍNEAS.

### 3.4 SEDIMENTOS

LA DESEMBOCADURA DE ESTE SISTEMA DE MANDINGA Y LA PARTE SUR DE LA LAGUNA LA REDONDA, PRESENTAN SEDIMENTOS DONDE LA FRACCIÓN DE ARENA ES MAYOR AL 90%. DEBIDO A QUE SON ZONAS DONDE

EL MOVIMIENTO DE AGUA ES INTENSO. LA LAGUNA DE 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 DE ESTA LAGUNA 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.

#### 4. PARTE EXPERIMENTAL

FUERON REALIZADOS TRES MUESTREOS, UNO CADA CUATRO MESES, LAS MUESTRAS SE COLECTARON EN JUNIO Y OCTUBRE DE 1981 Y EN MARZO DE 1982. EN CADA MUESTREO SE COLECTARON TRES MUESTRAS A 0.50 m DE PROFUNDIDAD. SE MUESTREÓ EN: (1) EL RÍO JAMPA A 8 Km APROXIMADAMENTE DE LA BOCA (A, FIGURA 11), (2) EN LA ZONA DE MEZCLA (B, FIGURA 11), (3) EN LA LAGUNA LA REDONDA Y EN LA DE MANDINGA, DE LAS CUALES SE HIZO UNA MEZCLA ( $X = 0.5$ ) CON LA MISMA FRACCIÓN POR PESO (C, FIGURA 11), CADA MUESTRA FUE COLECTADA EN FRASCOS DE PLÁSTICO (3.5 l) Y FILTRADAS INMEDIATAMENTE CON PREFILTROS MILLIPORE Y FILTROS MILLIPORE DE 0.45  $\mu$ m. LAS MUESTRAS FUERON SELLADAS CON PARAFILM "1" Y TRANSPORTADAS AL LABORATORIO DE QUÍMICA MARINA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA DE LA UNAM.

##### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD POR EVAPORACIÓN

$S(0/00)_{EVAP}$  (DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA). EL MÉTODO SEGUIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE  $S(0/00)_{EVAP}$ , ES EL RECOMENDADO POR MORRIS Y RILEY (120). SE PESARON DE 0.1 A 0.2 g DE FLUORURO DE SODIO EN UN CRISOL DE PORCELANA DE 25  $cm^3$ . INMEDIATAMENTE EL CRISOL SE COLOCÓ EN UNA MUFLA Y SE CALENTÓ A 650°C. DESPUÉS DE 20 MINUTOS SE SACÓ EL CRISOL, SE DEJÓ ENFRIAR AL VA-

cío y se pesó, esta operación se repitió hasta obtener un peso constante (variación de  $\pm 0.0002$  g). Una vez a peso constante se adicionaron 10 g de muestra y nuevamente se pesó el crisol. El agua fue evaporada bajo la acción de rayos infrarrojos, hasta un volumen de 2 cm<sup>3</sup>, al llegar a este volumen el crisol se enfrió lentamente y se adicionaron 10 cm<sup>3</sup> de alcohol etílico. Se continuó la evaporación bajo el haz de rayos infrarrojos hasta sequedad. El crisol se pasó a una mufla donde se calentó a 650°C durante 20 minutos, al final de este período el crisol se llevó a un desecador de vacío y se mantuvo durante 40 minutos, pesándose finalmente. La fórmula usada en el cálculo de  $S(^{\circ}/_{\infty})_{\text{EVAP}}$  fue:

$$S(^{\circ}/_{\infty})_{\text{evap}} = \frac{\text{PESO AL VACIO DE LA SAL EN g}}{\text{PESO AL VACIO DE LA MUESTRA EN g}}$$

$$-0.00348 \times \frac{35.453}{79.904} \text{ Cl } (^{\circ}/_{\infty}) \quad (73)$$

PARA LAS MUESTRAS DEL RÍO NO SE USÓ FLUORURO DE SODIO, LA MUESTRA FUE PESADA JUNTO CON EL CRISOL A PESO CONSTANTE.

CADA MUESTRA FUE ANALIZADA POR TRIPPLICADO O HASTA ALCANZAR UN COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE 0.026%.

#### 4.2 DETERMINACIÓN DE SALINIDAD POR MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE CONDUCTIVIDAD, $S(^{\circ}/\infty)_{COND}$ .

SE USÓ UN SALINÓMETRO DE INDUCCIÓN BECKMAN (MODELO RS-7B), CALIBRÁNDOLO CON AGUA DE MAR ESTÁNDAR DE COPENHAGUE. LOS VALORES DE RELACIÓN DE CONDUCTIVIDAD OBTENIDOS FUERON CORREGIDOS A 15°C MEDIANTE LA ECUACIÓN PROPUESTA POR COX ET AL. (16)

$$R_{15} = R_t + 10^{-5} R_t (R_t - 1) (t - 15^{\circ}C) \cdot [96.7 - 72.0 R_t + 37.3 R_t^2 - (0.63 + 0.21 R_t^2) (t - 15^{\circ}C)] \quad (74)$$

Y LAS SALINIDADES FUERON DETERMINADAS EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DESARROLLADA POR MILLERO ET AL. (106), ECUACIÓN (69).

#### 4.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

LAS MEDIDAS DE DENSIDAD FUERON EFECTUADAS EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA MARINA DE LA ESCUELA DE CIENCIAS MARINAS Y ATMOSFÉRICAS DE ROSSENTIEL DE LA UNIVERSIDAD DE MIAMI, A CARGO DEL DR. FRANK J. MILLERO.

LAS MEDIDAS DE DENSIDAD FUERON EFECTUADAS CON UN DENSITÓMETRO VIBRACIONAL DE FLUJO (126). LAS DIFERENCIAS DE DENSIDAD ( $d - d^{\circ}$ ) FUERON DETERMINADAS DE LAS MEDIDAS DE LOS PERÍODOS

DE LAS VIBRACIONES  $\tau$  USANDO

$$d - d^0 = k(\tau^2 - \tau_0^2) \quad (75)$$

DONDE  $k$  ES UNA CONSTANTE DEL INSTRUMENTO A UNA TEMPERATURA DADA (EN ESTE TRABAJO SE DETERMINARON A 25°C). EL VALOR DE  $k$  ES OBTENIDO AL CALIBRAR EL APARATO CON DOS SOLUCIONES DE DENSIDAD CONOCIDA, EN ESTE CASO SE USÓ AGUA PURA Y AGUA DE MAR ESTÁNDAR, LA PRECISIÓN RELATIVA DEL DENSITÓMETRO ES DE  $\pm 3 \times 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , MIENTRAS QUE LA EXACTITUD RELATIVA ES  $5 \times 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (104).

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE CLORINIDAD, Cl (‰)

FUE DETERMINADA MEDIANTE UNA TITULACIÓN POR PESO, USANDO NITRATO DE PLATA Y DICROMATO DE POTASIO COMO INDICADOR. LA SOLUCIÓN DE NITRATO DE PLATA FUE VALORADA CON AGUA DE MAR ESTÁNDAR DE COPENHAGUE, SOLUCIÓN PATRÓN DE CLORURO DE SODIO Y UNA SOLUCIÓN DE TIOCIANATO DE AMONIO (9).

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE SULFATOS

EN LAS MUESTRAS CON SALINIDADES ALTAS LOS SULFATOS FUERON DE-

TERMINADOS POR UNA TITULACIÓN CON HCl EN DIMETILSULFÓXIDO (59). PARA LAS MUESTRAS CON SALINIDADES POR DEBAJO DE 1(0/00) LOS SULFATOS FUERON PRECIPITADOS CON CLORURO DE BARIO EN MEDIO ÁCIDO.

#### 4.6 DETERMINACIÓN DE BROMUROS

LA CONCENTRACIÓN DE BROMUROS FUE DETERMINADA POR EL MÉTODO DE MORRIS Y RILEY (121). EN ESTE MÉTODO EL IÓN BROMURO ES OXIDADO A IÓN BROMATO POR UNA SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO EN UNA SOLUCIÓN BUFFER DE pH = 6 (DE FOSFATO DIHIDRÓGENO DE SODIO). DESPUÉS DE REDUCIR EL EXCESO DE HIPOCLORITO CON FORMIATO DE SODIO; YODURO DE POTASIO Y ÁCIDO SE ADICIONAN PARA LIBERAR AL YODO, EL CUAL SE TITULA CON TIOSULFATO DE SODIO.

#### 4.7 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD

LA ALCALINIDAD TOTAL FUE DETERMINADA POR UN MÉTODO POTENCIOMÉTRICO (33). LAS TITULACIONES SE HICIERON EN UNA CELDA DE VIDRIO CON UNA CAMISA DE AGUA A 25°C, CON AGITACIÓN MAGNÉTICA Y SE ADICIONÓ HCl VALORADO MEDIANTE UNA MICROBURETA. SE UTILIZÓ EL MÉTODO DE GRAN (51) PARA ENCONTRAR LOS PUNTOS DE EQUIVALENCIA.



#### 4.8 DETERMINACIÓN DE POTASIO

EL POTASIO FUE DETERMINADO POR PRECIPITACIÓN CON TETRAFENIL BORATO DE POTASIO EN MEDIO ÁCIDO Y A 0-2°C. LAS MUESTRAS DEL RÍO TAMBIÉN FUERON ANALIZADAS MEDIANTE UN FLAMÓMETRO CORNING (400), OBTENIÉNDOSE VALORES SEMEJANTES.

#### 4.9 DETERMINACIÓN DE ESTRONCIO

ESTE ELEMENTO FUE ANALIZADO MEDIANTE UN ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA VARIAN AA-475.

#### 4.10 DETERMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO

EL CALCIO, MAGNESIO Y ESTRONCIO FUERON DETERMINADOS MEDIANTE UNA TITULACIÓN COLORIMÉTRICA (21) USANDO EDTA. POSTERIORMENTE EL CALCIO FUE ANALIZADO POR OTRA TITULACIÓN COLORIMÉTRICA (43) USANDO EGTA. EL MAGNESIO FUE DETERMINADO POR DIFERENCIA.

#### 4.11 DETERMINACIÓN DE SODIO

EL SODIO FUE DETERMINADO POR UN BALANCE DE EQUIVALENTES DE LOS CATIONES Y LOS ANIONES.

#### 4.12 DETERMINACIÓN DE NITRATOS Y SILICATOS

LOS NITRATOS Y SILICATOS FUERON DETERMINADOS EN UN AUTOANALIZADOR TECHNICON II. LOS NITRATOS SON DETERMINADOS MEDIANTE UNA REDUCCIÓN (EN UNA COLUMNA DE CADMIO) DE NITRATOS A NITRITOS, LOS CUALES REACCIONAN CON LA SULFANILAMIDA PRODUCIENDO UN "AZO" COMPUESTO EL CUAL INMEDIATAMENTE REACCIONA CON EL CLORURO DE N-(1-NAFTIL)-ETILENDIAMINA, DANDO FINALMENTE OTRO COMPUESTO "AZO" DE COLOR ROSA-PÚRPURA (119). LA SÍLICE REACTIVA FUE ANALIZADA POR EL MÉTODO PROPUESTO POR MULLING Y RILEY (123) EL CUAL SE BASA EN LA REDUCCIÓN DE UN COMPUESTO SILICOMÓLIBDATO EN SOLUCIÓN ÁCIDA, PARA OBTENER UN COMPLEJO DE COLOR AZUL.

TODAS LAS MUESTRAS FUERON ANALIZADAS POR TRIPLICADO O HASTA ALCANZAR LA PRECISIÓN REPORTADA EN EL MÉTODO SEGUIDO.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 SALINIDAD

LA SALINIDAD FUE DETERMINADA POR DIVERSOS MÉTODOS PARA LAS LAGUNAS DE MANDINGA, LA ZONA DE MEZCLA Y EL RÍO JAMAPA (FIGURA 11). LA COMPARACIÓN DE ESTAS DETERMINACIONES SE DA EN LA TABLA 25.

DE ESTOS DATOS SE PUEDE OBSERVAR QUE EN LA ZONA DE LA LAGUNA LA SALINIDAD SE INCREMENTA HACIA LA ÉPOCA DE SECAS (160). EN LA ZONA DE MEZCLA SE OBSERVA UN TÍPICO AMBIENTE ESTUARINO. LA SALINIDAD DISMINUYE EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS EN EL RÍO JAMAPA. ESTOS RESULTADOS DEMUESTRAN QUE LAS REACCIONES QUÍMICAS, LAS INTERACCIONES IÓNICAS, ETC., PRESENTARÁN CAMBIOS INTERESANTES LO QUE LE DA RELEVANCIA AL PRESENTE TRABAJO.

LOS VALORES DE  $S_{EVAP}$ ,  $S_{COND}$  Y  $S_{DENS}$  ESTÁN EN CONCORDANCIA CON LA  $S_T$  EN  $\pm 54$ ,  $\pm 43$  Y  $\pm 42$  ppm RESPECTIVAMENTE.

LOS VALORES ALTOS DE  $S_{EVAP}$  SE DEBEN PROBABLEMENTE A QUE NO SE USO UN BUEN AGENTE DESECANTE (PERCLORATO DE MAGNESIO ANHIDRO) PARA ENFIAR LOS CRISOLES DE PORCELANA O A LA HIDRATACIÓN DE LAS SALES Y DEL CRISOL DURANTE EL PROCESO DE PESADO. ESTO SE OBSERVA CUANDO SE CONVIERTEN LOS BICARBONATOS A OXIDOS (TA

T A B L A 25

COMPARACION DE LA SALINIDAD DETERMINADA POR VARIOS METODOS

MUESTRA	$S(^{\circ}/_{00})_T$	$S(^{\circ}/_{00})_{EVAP}$	$A_{\Delta}$	$S(^{\circ}/_{00})_{COND}$	$B_{\Delta}$	$S(^{\circ}/_{00})_{DENS}$	$C_{\Delta}$
LAGUNA							
JUNIO	11.50	11.44	0.05	11.45	0.05	11.47	0.03
OCTUBRE	15.62	15.65	-0.03	15.64	-0.02	15.58	0.04
MARZO	25.39	25.33	0.06	25.40	-0.01	25.27	0.12
MEZCLA							
JUNIO	0.12	0.19	-0.07	0.10	0.02	0.13	-0.01
OCTUBRE	13.69	13.62	0.06	13.65	0.04	13.61	-0.08
MARZO	11.09	11.01	0.08	11.11	-0.02	11.13	-0.04
Rfo							
JUNIO	0.13	0.14	0.02	0.11	0.02	0.16	-0.03
OCTUBRE	1.61	1.64	-0.02	1.68	-0.07	1.83	-0.22
MARZO	0.87	0.81	0.06	0.80	0.07	0.91	-0.04

- A)  $S(^{\circ}/_{00})_T - S(^{\circ}/_{00})_{EVAP}$   
 B)  $S(^{\circ}/_{00})_T - S(^{\circ}/_{00})_{COND}$   
 C)  $S(^{\circ}/_{00})_T - S(^{\circ}/_{00})_{DENS}$

BLA 26) Y SE RESTAN A LA  $S_T$ . SE OBTIENEN VALORES TEÓRICOS MÁS BAJOS DE  $S_{EVAP}$ .

LA ECUACIÓN (69) USADA PARA OBTENER LA  $S_{COND}$  CAUSA DIFERENCIAS DE 0.08 ‰ A SALINIDADES BAJAS Y A SALINIDADES DE 33 A 37 ‰ LAS DIFERENCIAS ESTÁN EN EL INTERVALO DE  $\pm 0.004$ ‰ (106). ESTO EXPLICA LAS DISCREPANCIAS OBTENIDAS ENTRE LA  $S_T$  Y  $S_{COND}$ . LAS MAYORES DISPARIDADES SE OBSERVAN A SALINIDADES BAJAS (TABLA 25).

LAS DESVIACIONES DE  $S_{DENS}$  PROBABLEMENTE SE DEBEN A PEQUEÑAS PRECIPITACIONES DE  $CaCO_3$  (104), A LA EVAPORACIÓN SUFRIDA POR LAS MUESTRAS (TABLA 25) O QUE A SALINIDADES POR DEBAJO DE 30 ‰ LA DESVIACIÓN DE LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR DISMINUYE, PRINCIPALMENTE EN ZONAS EN DONDE EL APORTE DE RÍOS Y LLUVIAS TIENE GRAN SIGNIFICACIÓN (106).

LAS MEDIDAS DE CONDUCTIVIDAD, DENSIDAD, EVAPORACIÓN Y SALINIDAD VERDADERA (TABLA 25) PUEDEN RELACIONARSE CON LA  $Cl$  (‰) DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES ECUACIONES

$$s(^{\circ}/\infty)_T = 0.2950 + 1.7936 Cl(^{\circ}/\infty) \quad r = 0.99997 \quad (76)$$

$$s(^{\circ}/\infty)_{evap} = 0.2389 + 1.7949 Cl(^{\circ}/\infty) \quad r = 0.99998 \quad (77)$$

T A B L A 26

CALCULO DE LA SALINIDAD PARA EL SISTEMA DE MANDINGA

MUESTRA	SAL ANTES DE LA EVAPORACIÓN (g kg <sup>-1</sup> )	SAL DESPUÉS DE LA EVAPORACIÓN (g kg <sup>-1</sup> )	SAL PÉRDIDA	S <sub>EVAP</sub> (TEÓRICA)
LAGUNA	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
JUNIO	0.1006	0.0132	0.0874	11.41
OCTUBRE	0.1161	0.0152	0.1009	15.52
MARZO	0.1526	0.0200	0.1326	25.26
ZONA DE MEZCLA				
JUNIO	0.0642	0.0024	0.0558	0.06
OCTUBRE	0.1281	0.0162	0.1113	13.57
MARZO	0.1493	0.0196	0.1297	10.96
RÍO JAMAPA				
JUNIO	0.0616	0.0081	0.0535	0.07
OCTUBRE	0.1418	0.0186	0.1232	1.49
MARZO	0.1502	0.0192	0.1310	0.74

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{cond}} = 0.2519 + 1.7975 C1(^{\circ}/\infty) \quad (78)$$

$$r = 0.99996$$

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{dens}} = 0.3710 + 1.7789 C1(^{\circ}/\infty) \quad (79)$$

$$r = 0.99996$$

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{T}} = 0.1251 + 1.7834 C1(^{\circ}/\infty) \quad (80)$$

$$r = 0.99372$$

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{evap}} = 0.1456 + 1.7546 C1(^{\circ}/\infty) \quad (81)$$

$$r = 0.99872$$

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{cond}} = 0.0857 + 1.8764 C1(^{\circ}/\infty) \quad (82)$$

$$r = 0.99887$$

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{dens}} = 0.1300 + 2.0126 C1(^{\circ}/\infty) \quad (83)$$

$$r = 0.99786$$

LAS ECUACIONES ( 76 ) A ( 79 ) SE USAN PARA EL CÁLCULO DE LA SALINIDAD EN EL INTERVALO DE 10 ‰ A 26 ‰. DE LA ECUACIÓN ( 80 ) A LA ( 83 ) SE CALCULA A LA SALINIDAD, EN MUESTRAS CON UNA CONCENTRACIÓN DE 0.1 ‰ A 2 ‰. ESTAS ECUACIONES DETERMINAN EL VALOR DE LA SALINIDAD (EN SUS DIFERENTES EXPRESIONES) EN  $\pm 0.046$  ‰.

SE PUEDE ESTABLECER UNA RELACIÓN ENTRE LA  $S(^{\circ}/\infty)_{\text{T}}$  Y LOS VALORES DE SALINIDAD DETERMINADOS ( TABLA 25 ):

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{T}} = 0.05670 + 0.99920 S(^{\circ}/\infty)_{\text{evap}} \quad (84)$$

$$r = 0.99997$$

$$S(^{\circ}/\infty)_{\text{T}} = 0.04395 + 0.99779 S(^{\circ}/\infty)_{\text{cond}} \quad (85)$$

$$r = 0.99999$$

$$S(^{\circ}/\infty)_T = -0.07859 + 1.00820 S(^{\circ}/\infty)_{\text{dens}} \quad (86)$$

$$r = 0.99998$$

$$S(^{\circ}/\infty)_T = -0.02461 + 1.01890 S(^{\circ}/\infty)_{\text{evap}} \quad (87)$$

$$r = 0.99742$$

$$S(^{\circ}/\infty)_T = 0.04164 + 0.95336 S(^{\circ}/\infty)_{\text{cond}} \quad (88)$$

$$r = 0.99787$$

$$S(^{\circ}/\infty)_T = 0.00783 + 0.88877 S(^{\circ}/\infty)_{\text{den}} \quad (89)$$

$$r = 0.99881$$

DE LA ECUACIÓN (84) A LA (86) SE ESTIMA LA  $S(^{\circ}/\infty)_T$  EN EL INTERVALO DE 10 ‰ A 26 ‰ Y A SALINIDADES DE 0.1 ‰ A 2 ‰. LA  $S(^{\circ}/\infty)_T$  SE CALCULA A PARTIR DE LAS ECUACIONES (87) A (89). ESTAS ECUACIONES DETERMINAN A LA  $S(^{\circ}/\infty)_T$  EN  $\pm 0.036$  ‰. LAS ECUACIONES PROPUESTAS (DE (76) A (89) ) SON VÁLIDAS CUANDO LA COMPOSICIÓN QUÍMICA HA SIDO DETERMINADA.

DE ESTOS RESULTADOS SE PUEDE CONCLUIR QUE DE TODOS LOS MÉTODOS USADOS EN ESTE TRABAJO PARA DETERMINAR LA SALINIDAD, EL DE CONDUCTIVIDAD ES EL QUE MEJOR SE APROXIMA A LA SALINIDAD VERDADERA ( $S(^{\circ}/\infty)_T$ ).

## 5.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

LOS ELEMENTOS MÁS ABUNDANTES ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  Y  $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) DE LAS LAGUNAS DE MANDIN-



GA, ZONA DE MEZCLA Y EL RÍO JAMAPA FUERON ANALIZADOS. LOS RESULTADOS SE DAN DE LA TABLA 27 A LA TABLA 35.

LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LOS CATIONES Y ANIONES OBTENIDOS PARA LAS MUESTRAS DE LA LAGUNA DE MANDINGA, SON COMPARADAS CON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DEL AGUA DE MAR, MAR CASPIO Y LA LAGUNA DE APOZAHUALCO EN LAS FIGURAS 12 Y 13.

LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  PRESENTES EN LA LAGUNA DE MANDINGA SON IGUALES A LOS ENCONTRADOS EN EL AGUA DE MAR, LAGUNA DE APOZAHUALCO Y EL MAR CASPIO. LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DE  $\text{Mg}^{2+}$  ES LIGERAMENTE MAYOR CON RESPECTO A EL AGUA DE MAR Y A LA LAGUNA, DEBIDO AL APORTE DEL RÍO JAMAPA (160). TAMBIÉN SE ESPERARÍA QUE LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DEL  $\text{Ca}^{2+}$  FUESE MAYOR. COMO SE PUEDE OBSERVAR (FIGURA 12) ES LIGERAMENTE MENOR A LA DEL AGUA DE MAR Y LA LAGUNA DE APOZAHUALCO Y AÚN MÁS BAJA CUANDO SE COMPARA CON LA DEL MAR CASPIO. ESTA DISMINUCIÓN EN LA CONCENTRACIÓN RELATIVA DEL  $\text{Ca}^{2+}$  TAL VEZ SEA DEBIDA A LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN Y PRECIPITACIÓN QUE SE SUCCEDEN EN LA LAGUNA; SE NECESITARÁN HACER ESTUDIOS POSTERIORES PARA CONFIRMAR ÉSTO.

LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES EN LA LAGUNA DE MANDINGA (FIGURA 13)  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  SON IGUALES A LOS DEL AGUA DE MAR, LAGUNA DE APOZAHUALCO Y MAR CASPIO. NO SE OBSERVÓ NINGÚN INCREMENTO EN LA

T A B L A 27

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE LA LAGUNA DE MANDINGA  
(JUNIO),

IONES	g/kg	$n_i$	$e_i$	$I_i$	$E_i$
Na <sup>+</sup>	3.4908	0.1518	0.1518	0.1518	0.7674
Mg <sup>2+</sup>	0.4439	0.0183	0.0365	0.0731	0.1845
Ca <sup>2+</sup>	0.1220	0.0030	0.0061	0.0122	0.0308
Sr <sup>2+</sup>	0.0029	0.0000 <sub>3</sub>	0.0000 <sub>7</sub>	0.0001	0.0004
K <sup>+</sup>	0.1256	0.0032	0.0032	0.0032	0.0162
Cl <sup>-</sup>	6.2632	0.1767	0.1767	0.1767	0.8933
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.9152	0.0095	0.0191	0.0381	0.0966
Br <sup>-</sup>	0.0214	0.0003	0.0003	0.0003	0.0015
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1006	0.0016	0.0016	0.0016	0.0081
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0031	0.0000 <sub>5</sub>	0.0000 <sub>5</sub>	0.0000 <sub>5</sub>	0.0003
1/2Σ		0.1822	0.1977	0.2286	
Si(OH) <sub>4</sub>	0.0098	0.0001	0.0001	-	0.0005
$g_T=11.4985$ $n_T=0.1823$ $e_T=0.1978$ $I_T=0.2286$					

T A B L A 28

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE LA LAGUNA DE MANDINGA  
(OCTUBRE).

IONES	g/kg	$n_i$	$e_i$	$I_i$	$E_i$
Na <sup>+</sup>	4.7750	0.2077	0.2077	0.2077	0.7727
Mg <sup>2+</sup>	0.5850	0.0241	0.0481	0.0963	0.1789
Ca <sup>2+</sup>	0.1691	0.0042	0.0084	0.0169	0.0313
Sr <sup>2+</sup>	0.0040	0.0000 <sub>5</sub>	0.0001	0.0002	0.0004
K <sup>+</sup>	0.1708	0.0044	0.0044	0.0044	0.0164
Cl <sup>-</sup>	8.5508	0.2412	0.2412	0.2412	0.8973
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.2039	0.0125	0.0251	0.0501	0.0934
Br <sup>-</sup>	0.0356	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1161	0.0019	0.0019	0.0019	0.0071
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0001	0.0000 <sub>2</sub>	0.0000 <sub>2</sub>	0.0000 <sub>2</sub>	0.0000 <sub>1</sub>
1/2 $\Sigma$		0.2482	0.2687	0.3096	
Si(OH) <sub>4</sub>	<u>0.0107</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0001</u>	<u>-</u>	<u>0.0004</u>
$g_T=15.6211$ $n_T=0.2483$ $e_T=0.2688$ $I_T=0.3096$					

T A B L A 29

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE LA LAGUNA MANDINGA (MARZO).

IONES	g/kg	$n_i$	$e_i$	$I_i$	$E_i$
Na <sup>+</sup>	7.6111	0.3311	0.3311	0.3311	0.7540
Mg <sup>2+</sup>	1.0802	0.0444	0.0889	0.1778	0.2025
Ca <sup>2+</sup>	0.2366	0.0059	0.0118	0.0236	0.0269
Sr <sup>2+</sup>	0.0026	0.0000 <sub>3</sub>	0.0001	0.0001	0.0002
K <sup>+</sup>	0.2751	0.0070	0.0070	0.0070	0.0159
Cl <sup>-</sup>	13.9704	0.3941	0.3941	0.3941	0.8975
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.0019	0.0208	0.0417	0.0834	0.0950
Br <sup>-</sup>	0.0458	0.0006	0.0006	0.0006	0.0014
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1526	0.0025	0.0025	0.0025	0.0057
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0009	0.0000 <sub>1</sub>	0.0000 <sub>1</sub>	0.0000 <sub>1</sub>	0.0057
1/2Σ		0.4032	0.4389	0.5101	
Si(OH) <sub>4</sub>	<u>0.0154</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0002</u>	<u>-</u>	<u>0.0005</u>
$g_T=25.3926 \quad n_T=0.4034 \quad e_T=0.4391 \quad I_T=0.5101$					

T A B L A 30

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE ZONA DE MEZCLA (JUNIO)

IONES	g/kg	$n_i \cdot 10^3$	$e_i \cdot 10^3$	$I_i \cdot 10^3$	$E_i$
Na <sup>+</sup>	0.0100	0.4340	0.4340	0.4340	0.2512
Mg <sup>2+</sup>	0.0115	0.4732	0.9463	1.8926	0.5478
Ca <sup>2+</sup>	0.0055	0.1360	0.2721	0.5442	0.1575
Sr <sup>2+</sup>	0.0001	0.0012	0.0023	0.0047	0.0013
Cl <sup>-</sup>	0.0213	0.6008	0.6008	0.6008	0.3478
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.0000 <sub>1</sub>	0.0001	0.0001	0.0002	0.0048
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0642	1.0522	1.0522	1.0522	0.6091
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0001	0.0016	0.0016	0.0016	0.0009
1/2Σ		1.3496	1.6547	2.2652	
Si(OH) <sub>4</sub>	<u>0.0070</u>	<u>0.0728</u>	<u>0.0728</u>	<u>-</u>	<u>0.0421</u>
$g_T=0.1197$ $n_T=1.4224$ $e_T=1.7275$ $I_T=2.2652$					

T A B L A 31

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE ZONA DE MEZCLA (OCTUBRE).

IONES	g/kg	$n_i$	$e_i$	$I_i$	$E_i$
Na <sup>+</sup>	4.2055	0.1829	0.1829	0.1829	0.7786
Mg <sup>2+</sup>	0.4938	0.0203	0.0406	0.0813	0.1728
Ca <sup>2+</sup>	0.1492	0.0037	0.0074	0.0149	0.0315
Sr <sup>2+</sup>	0.0034	0.0000 <sub>4</sub>	0.0000 <sub>8</sub>	0.0002	0.0003
K <sup>+</sup>	0.1527	0.0039	0.0039	0.0039	0.0166
Cl <sup>-</sup>	7.4427	0.2099	0.2099	0.2099	0.8936
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.0792	0.0112	0.0225	0.0449	0.0958
Br <sup>-</sup>	0.0305	0.0004	0.0004	0.0004	0.0017
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1281	0.0021	0.0021	0.0021	0.0089
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0006	0.0000 <sub>1</sub>	0.0000 <sub>1</sub>	0.0000 <sub>1</sub>	0.0000 <sub>4</sub>
1/2Σ		0.2172	0.2349	0.2703	
Si(OH) <sub>4</sub>	<u>0.0001</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>	-	-
$g_T=13.6858 \quad n_T=0.2172 \quad e_T=0.2349 \quad I_T=0.2703$					

T A B L A 32

COMPOSICION DE UN KILOGRAMO DE AGUA DE ZONA DE MEZCLA (MARZO)

IONES	g/kg	$n_i$	$e_i$	$I_i$	$E_i$
Na <sup>+</sup>	3.2982	0.1435	0.1435	0.1435	0.7509
Mg <sup>2+</sup>	0.4941	0.0203	0.0407	0.0813	0.2130
Ca <sup>2+</sup>	0.0741	0.0018	0.0037	0.0074	0.0194
Sr <sup>2+</sup>	0.0017	0.0000 <sub>2</sub>	0.0000 <sub>4</sub>	0.0001	0.0002
K <sup>+</sup>	0.1231	0.0031	0.0031	0.0031	0.0162
Cl <sup>-</sup>	6.0009	0.1693	0.1693	0.1693	0.8859
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.9187	0.0096	0.0191	0.0383	0.0999
Br <sup>-</sup>	0.0193	0.0002	0.0002	0.0002	0.0010
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1493	0.0024	0.0024	0.0024	0.0126
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0025	0.0000 <sub>4</sub>	0.0000 <sub>4</sub>	0.0000 <sub>4</sub>	0.0002
1/2Σ		0.1751	0.1910	0.2228	
Si(OH) <sub>4</sub>	<u>0.0113</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0001</u>	-	<u>0.0005</u>
g <sub>T</sub> =11.0932    n <sub>T</sub> =0.1752    e <sub>T</sub> =0.1911    I <sub>T</sub> =0.2228					

T A B L A 33

COMPOSICION DE LOS IONES MAS ABUNDANTES EN UN KILOGRAMO DE AGUA DEL RIO JAMAPA (JUNIO).

IONES	$g/kg10^3$	$n_i 10^3$	$e_i 10^3$	$I_i 10^3$	$E_i$
$Na^+$	10.7477	0.4675	0.4675	0.4675	0.2722
$Mg^{2+}$	5.0680	0.2085	0.4170	0.8341	0.2428
$Ca^{2+}$	13.9150	0.3472	0.6944	1.3887	0.4043
$Sr^{2+}$	0.0950	0.0011	0.0022	0.0043	0.0013
$Cl^-$	16.8947	0.4765	0.4765	0.4765	0.2775
$SO_4^{2-}$	0.0055	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001
$HCO_3^-$	61.5682	1.0254	1.0254	1.0254	0.5971
$NO_3^-$	4.9069	0.0791	0.0791	0.0791	0.0461
$1/2 \Sigma$		1.3027	1.5811	2.1379	
$Si(OH)_4$	<u>13.1000</u>	<u>0.1363</u>	<u>0.1363</u>	<u>-</u>	<u>0.0794</u>
$g_T=126.3010 \quad n_T=1.4390 \quad e_T=1.7174 \quad I_T=2.1379$					



T A B L A 34

COMPOSICION DE LOS IONES MAS ABUNDANTES EN UN KILOGRAMO DE AGUA DEL RIO JAMAPA (OCTUBRE).

IONES	g/kg10 <sup>2</sup>	n <sub>i</sub> 10 <sup>2</sup>	e <sub>i</sub> 10 <sup>2</sup>	I <sub>i</sub> 10 <sup>2</sup>	E <sub>i</sub>
Na <sup>+</sup>	42.7311	1.8587	1.8587	1.8587	0.6839
Mg <sup>2+</sup>	6.3662	0.2619	0.5239	1.0477	0.1928
Ca <sup>2+</sup>	4.5656	0.1139	0.2278	0.4556	0.0838
Sr <sup>2+</sup>	0.0677	0.0008	0.0015	0.0031	0.0006
K <sup>+</sup>	2.0545	0.0525	0.0525	0.0525	0.0193
Cl <sup>-</sup>	86.0559	2.4273	2.4273	2.4273	0.8932
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.0118	0.0001	0.0002	0.0005	0.0001
Br <sup>-</sup>	0.2796	0.0035	0.0035	0.0035	0.0013
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14.1828	0.2324	0.2324	0.2324	0.0855
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0628	0.0010	0.0010	0.0010	0.0004
1/2 Σ		2.4761	2.6644	3.0412	
Si(OH) <sub>4</sub>	<u>5.1090</u>	<u>0.0532</u>	<u>0.0532</u>	<u>-</u>	<u>0.0196</u>
g <sub>T</sub> =161.4870 n <sub>T</sub> =2.5293 e <sub>T</sub> =2.7176 I <sub>T</sub> =3.0412					

T A B L A 35

COMPOSICION DE LOS IONES MAS ABUNDANTES EN UN KILOGRAMO DE AGUA DEL RIO JAMAPA (MARZO).

IONES	$g/kg 10^3$	$n_i 10^3$	$e_i 10^3$	$I_i 10^3$	$E_i$
$Na^+$	221.5688	9.6377	9.6377	9.6377	0.6897
$Mg^{2+}$	33.5280	1.3795	2.7589	5.5179	0.1974
$Ca^{2+}$	28.7650	0.7177	1.4354	2.8708	0.1027
$Cl^-$	352.0320	9.9295	9.9295	9.9295	0.7105
$SO_4^{2-}$	58.8530	0.6127	1.2254	2.4507	0.0877
$Br^-$	0.9207	0.0115	0.0115	0.0115	0.0008
$HCO_3^-$	150.7719	2.4710	2.4710	2.4710	0.1768
$NO_3^-$	12.0667	0.1946	0.1946	0.1946	0.0139
$1/2 \Sigma$		12.4771	13.8320	16.5419	
$Si(OH)_4$	<u>13.700</u>	<u>0.1425</u>	<u>0.1425</u>	<u>-</u>	<u>0.0102</u>
$g_T = 872.2061 \quad n_T = 12.6196 \quad e_T = 13.9745 \quad I_T = 16.5419$					

CONCENTRACIÓN RELATIVA DEL  $\text{SO}_4^{2-}$ , TAL VEZ PORQUE EL RÍO JAMA PA DURANTE ESTE PERÍODO APORTÓ MUY POCOS IONES  $\text{SO}_4^{2-}$  AL SISTEMA.

LOS SÓLIDOS TOTALES DE LA LAGUNA DE MANDINGA EN EL MES DE JUNIO FUERON DE  $11.4985 \text{ g kg}^{-1}$ , EN EL MES DE OCTUBRE DE  $15.6211 \text{ g kg}^{-1}$  Y EN EL MES DE MARZO DE  $25.3926 \text{ g kg}^{-1}$ . RESULTADOS QUE INDICAN UNA CLARA INFLUENCIA DE LA ÉPOCA DE LLUVIAS (160) Y EL PROCESO DE EVAPORACIÓN. LA MOLALIDAD ENCONTRADA EN LA LAGUNA DE MANDINGA FUE DE  $0.1823 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.2483 \text{ mol kg}^{-1}$  Y DE  $0.4034 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  EN JUNIO, OCTUBRE Y MARZO RESPECTIVAMENTE. LA FUERZA IÓNICA CALCULADA FUE DE  $0.2286 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  EN JUNIO, DE  $0.3096 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  EN OCTUBRE Y PARA MARZO DE  $0.5101 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LOS CATIONES Y ANIONES OBTENIDAS PARA LAS MUESTRAS DE LA ZONA DE MEZCLA SON COMPARADAS CON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DEL AGUA DE MAR, RÍO BÁLTICO Y AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL", EN LAS FIGURAS 14 Y 15. DURANTE EL MES DE JUNIO EN ESTA ZONA SE OBSERVA UN EFECTO CLARO DEL RÍO JAMA PA YA QUE SE OBTIENE UNA  $S(\text{‰})_T$  O  $g_T$  DE  $119.7 \times 10^3 \text{ g kg}^{-1}$ ; LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES SON  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  Y  $\text{Ca}^{2+}$  Y LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES SON  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{HCO}_3^-$ , NO SE REGISTRÓ EN ESTE MES EL IÓN  $\text{K}^+$  PROBABLEMENTE DEBIDO A LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN E HIDRÓLISIS (125) QUE SE SUCEDEN EN ESTE SISTEMA

Y LOS CUALES REQUERIRÁN DE UN ESTUDIO POSTERIOR.

PARA LOS MESES DE OCTUBRE Y MARZO LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES SON  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  Y LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES SON  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{SO}_4^{2-}$  IGUALES A LOS IONES MÁS ABUNDANTES QUE PRESENTA EL AGUA DE MAR.

LOS SÓLIDOS TOTALES OBTENIDOS FUERON DE 11.0932  $\text{g kg}^{-1}$  Y 13.6858  $\text{g kg}^{-1}$  PARA MARZO Y OCTUBRE RESPECTIVAMENTE. LAS MOLALIDADES OBTENIDAS DURANTE LOS MESES DE JUNIO, OCTUBRE Y MARZO SON  $1.4224 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$ ,  $0.2172 \text{ mol kg}^{-1}$  Y  $0.1752 \text{ mol kg}^{-1}$  RESPECTIVAMENTE. LA FUERZA IÓNICA MOLAL ES DE  $2.2652 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$  DURANTE JUNIO, DE  $0.2703 \text{ mol kg}^{-1}$  EN OCTUBRE Y DE  $0.2208 \text{ mol kg}^{-1}$  EN MARZO.

LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LOS IONES MÁS ABUNDANTES PRESENTES EN EL RÍO JAMAPA SON COMPARADAS CON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DEL AGUA DE MAR, RÍO BÁLTICO Y AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL" EN LAS FIGURAS 16 Y 17.

DURANTE EL MES DE JUNIO LOS SÓLIDOS TOTALES OBTENIDOS FUERON DE  $126.301 \times 10^{-3} \text{ g kg}^{-1}$ , LA MOLALIDAD FUE DE  $1.4390 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$  Y LA FUERZA IÓNICA MOLAL DE  $2.1379 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$ ,

LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES SON  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES SON  $\text{HCO}_3^-$  Y  $\text{Cl}^-$  SEMEJANTES A LOS IONES

MÁS ABUNDANTES PRESENTES EN EL AGUA DE UN RÍO (102). LA AUSEN-  
CIA DEL IÓN  $K^+$ , COMO YA SE APUNTÓ ANTERIORMENTE ES DEBIDA PRO-  
BABLEMENTE A LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN, HIDRÓLISIS Y PRECIPITA-  
CIÓN (125) QUE SE SUCEDEN EN ESTE SISTEMA Y LOS CUALES NECESI-  
TAN DE UN ESTUDIO POSTERIOR.

DURANTE ESTE MES SE OBTUVO UNA CONCENTRACIÓN MUY BAJA DEL IÓN  
 $SO_4^{2-}$  ( $< 0.1$  ppm) COMPARADA CON LA ENCONTRADA EN EL AGUA DE  
RÍO PROMEDIO MUNDIAL (11.2 ppm) O CON LA DEL RÍO BÁLTICO  
(6.8 ppm). ESTA CONCENTRACIÓN BAJA TAL VEZ SEA DEBIDA A LOS  
PROCESOS DE ADSORCIÓN, HIDRÓLISIS Y PRECIPITACIÓN QUE SE EFEC-  
TÚAN EN ESTE SISTEMA.

LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUN-  
DANTES EN EL RÍO JAMAPA, DURANTE EL MES DE OCTUBRE, SON COMPA-  
RADAS CON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DEL AGUA DE MAR, RÍO BÁL-  
TICO Y AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL", EN LAS FIGURAS 16 Y 17.

LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES FUERON EL  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$ . LOS  
ANIONES MÁS ABUNDANTES FUERON  $Cl^-$  y  $HCO_3^-$ .

LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES ENCONTRADOS RESULTARON SER DIFEREN-  
TES A LOS DE UN RÍO PERO SEMEJANTES A LOS DEL AGUA DE MAR (FI-  
GURA 16). ESTO SE DEBE A LA INFLUENCIA DEL AGUA DE MAR (160)  
Y CUYA CUÑA SALINA PENETRA EN EL RÍO A GRAN DISTANCIA. DURAN-

TE ESTE MES ESTA CUÑA FUE PERFECTAMENTE DETECTADA YA QUE SE ENCONTRÓ EN EL AGUA DE ESTE RÍO CONCENTRACIONES DE  $\text{Sr}^{2+}$  Y  $\text{Br}^-$  (TABLA 34), IONES QUE SÓLAMENTE SON APORTADOS POR EL AGUA DE MAR O CONTAMINACIÓN. ESTO LLEVA A PROPONER UN ESTUDIO EN EL CUAL SE BUSQUE HASTA DONDE LLEGA EL INFLUJO DEL AGUA DE MAR EN EL RÍO JAMAPA DURANTE DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO.

EL IÓN  $\text{K}^+$  FUE ANALIZADO DURANTE ESTE MES AUNQUE CON UNA FRACCIÓN EQUIVALENTE MENOR A LA ENCONTRADA EN OTROS RÍOS (102).

LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{HCO}_3^-$  ENCONTRADOS (FIGURA 16) AUNQUE SON SEMEJANTES A LOS DE LOS RÍOS SU FRACCIÓN EQUIVALENTE NO ES IGUAL (102; TABLA 34). LA FRACCIÓN EQUIVALENTE ENCONTRADA DEL IÓN  $\text{SO}_4^{2-}$  ES SEMEJANTE A LA REPORTADA EN EL MES DE JUNIO (FIGURA 17).

DURANTE EL MES DE OCTUBRE SE OBTUVO UN VALOR DE  $g_T = 161.487 \times 10^{-2} \text{ g kg}^{-1}$ , UNA MOLALIDAD DE  $2.5293 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$ , Y UNA FUERZA IÓNICA MOLAL DE  $3.0412 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$ . LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DE LOS CATIONES Y ANIONES OBTENIDAS DURANTE EL MES DE MARZO SON COMPARADAS CON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DEL AGUA DE MAR, MAR BÁLTICO Y AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL" EN LAS FIGURAS 16 Y 17.

LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES ENCONTRADOS FUERON  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  Y

$\text{Ca}^{2+}$ , LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES ENCONTRADOS FUERON  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  Y  $\text{SO}_4^{2-}$ .

AUNQUE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES ENCONTRADOS EN EL RÍO JAMAPA DURANTE ESTE MES CORRESPONDEN A LOS DE UN RÍO, AL OBSERVAR LA FIGURA 16 SE NOTA QUE LAS FRACCIONES EQUIVALENTES SON MÁS SEMEJANTES A LAS DEL AGUA DE MAR, DEBIDO A QUE EL CATION MÁS ABUNDANTE ES EL IÓN  $\text{Na}^+$  Y NO EL IÓN  $\text{Ca}^{2+}$  COMO ERA DE ESPERAR SE. ESTO MISMO SUCEDE CON LOS ANIONES (FIGURA 17) DE LOS CUALES EL MÁS ABUNDANTE ES EL IÓN  $\text{Cl}^-$  Y NO EL IÓN  $\text{HCO}_3^-$ . DE ESTA COMPARACIÓN NUEVAMENTE SE PUEDA OBSERVAR UNA INFLUENCIA DEL AGUA DE MAR; QUE ES CORROBORADA DEBIDO AL HECHO DE QUE SE DETECTÓ AL IÓN  $\text{Br}^-$  EN ESTA AGUA DE RÍO (TABLA 35). LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL IÓN  $\text{SO}_4^{2-}$  ES SEMEJANTE A LA DEL AGUA DE MAR (103; TABLA 35). ESTO TAMBIÉN CONFIRMA EL EFECTO DEL AGUA DE MAR. EN ESTE MES NO FUE DETECTADO POTASIO, TAL VEZ DEBIDO A LOS PROCESOS DE HIDRÓLISIS Y ADSORCIÓN (125) QUE SE SUCEDEN EN EL RÍO JAMAPA.

LOS SÓLIDOS TOTALES ENCONTRADOS FUERON DE  $872.2061 \times 10^{-3}$  g  $\text{kg}^{-1}$ , LA MOLALIDAD FUER DE  $12.6192 \times 10^{-3}$  mol  $\text{kg}^{-1}$  Y LA FUERZA IÓNICA MOLAL FUE DE  $16.5419 \times 10^{-3}$  mol  $\text{kg}^{-1}$ . LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL IÓN  $\text{NO}_3^-$  PARA LA LAGUNA DE MANDINGA (TABLA 27, 28 Y 29) RESULTÓ SER POCO SIGNIFICATIVA AÚN DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS. ESTO TAMBIÉN SE OBSERVÓ EN EL ESTUARIO (TABLAS 30, 31 Y 32).

EN EL RÍO JAMAPA LA MAYOR FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL IÓN  $\text{NO}_3^-$  FUE DETECTADA DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS (TABLA 33; FIGURA 17) Y LA MENOR FRACCIÓN EN OCTUBRE (TABLA 34; FIGURA 17).

LA FRACCIÓN EQUIVALENTE ENCONTRADA DE  $\text{Si}(\text{OH})_4$  EN LA LAGUNA DE MANDINGA ES BAJA (TABLAS 27, 28 Y 29), COMO ANTERIORMENTE HA SIDO REPORTADO (160), EL pH PROMEDIO FUE DE 7.694 LO CUAL CONFIRMA LA PRESENCIA DE LA ESPECIE  $\text{Si}(\text{OH})_4$  (102); EN LA ZONA DE MEZCLA SÓLAMENTE DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS SE OBSERVÓ UNA FRACCIÓN EQUIVALENTE SIGNIFICATIVA (TABLA 30) A UN pH DE 8.194.

EN EL RÍO JAMAPA LA MAYOR FRACCIÓN EQUIVALENTE DE  $\text{Si}(\text{OH})_4$  SE ENCONTRÓ DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS (TABLA 33) AUNQUE ES UN POCO MENOR A LA OBTENIDA EN EL AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL". LAS FRACCIONES EQUIVALENTES ENCONTRADAS EN LOS MESES DE OCTUBRE Y MARZO SON AÚN MÁS BAJAS CON RESPECTO A ESTA FRACCIÓN DEL "PROMEDIO MUNDIAL" (TABLAS 34 Y 35), EL pH PROMEDIO FUE DE 8.128. ESTE VALOR BAJO EN LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DEL  $\text{Si}(\text{OH})_4$  TAL VEZ SE DEBA A LOS PROCESOS DE HIDRÓLISIS, PRECIPITACIÓN Y ADSORCIÓN (125) QUE SUCEDEN EN EL RÍO. DE TODOS ESTOS DATOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA SE PUEDE CONCLUIR QUE EXISTE EN LA LAGUNA DE MANDINGA UNA INFLUENCIA CLARA DE LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y EL INFLUJO DE UNA CUÑA SALINA EN EL RÍO JAMAPA. ES NECESARIO REALIZAR ESTUDIOS POSTERIORES DE LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN, HI



DRÓLISIS Y PRECIPITACIÓN QUE SE EFECTÚAN EN ESTE SISTEMA, PARA TENER UN MEJOR ENTENDIMIENTO DE LA AUSENCIA O LAS CONCENTRACIONES BAJAS DE LOS IONES  $K^+$  Y  $SO_4^{2-}$ .

### 5.3 DENSIDAD

LAS DENSIDADES DE LA LAGUNA, ZONA DE MEZCLA, Y LA DEL RÍO JAMA PA FUERON DETERMINADAS POR MEDICIÓN DIRECTA, POR COMPOSICIÓN QUÍMICA (98), LA MOLALIDAD (80) Y LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR (106). LOS RESULTADOS SON TABULADOS EN LA TABLA 36.

LAS DIFERENCIAS DE DENSIDAD  $\Delta d$  FUERON CALCULADAS A UNA TEMPERATURA DE 25°C EN FUNCIÓN DE LA MOLALIDAD, MEDIANTE LA FÓRMULA

$$10^3 (d - d^0) / (g \text{ cm}^{-3}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^k A_{ij} (T/K - 273.15)^j (m/m^0)^{(i+1)/2} \quad (70)$$

LOS VALORES DE  $A_{ij}$  SE DAN EN LA TABLA 18, LA MOLALIDAD  $\underline{m}$  DE LAS SOLUCIONES SE DA EN LA TABLA 37,  $\underline{m}^0 = 1 \text{ mol kg}^{-1}$ ,  $\underline{d}$  ES LA DENSIDAD DE LA SOLUCIÓN Y  $\underline{d}^0$  PUEDE SER DETERMINADA DE (61)

$$\begin{aligned}
 d^0/(\text{g cm}^{-3}) = & 0.9998395 + 6.7914 \times 10^{-5} (T/K - 273.15) \\
 & - 9.0894 \times 10^{-6} (T/K - 273.15)^2 + 1.0171 \times 10^{-7} \\
 & (T/K - 273.15)^3 - 1.2846 \times 10^{-9} (T/K - 273.15)^4 \\
 & + 1.1592 \times 10^{-11} (T/K - 273.15)^5 - 5.0125 \times 10^{-14} \\
 & (T/K - 273.15)^6 \qquad (90)
 \end{aligned}$$

LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE ENCUENTRAN EN LA TABLA 36 Y FUERON COMPARADOS CON LOS MEDIDOS. SE ALCANZÓ UNA DESVIACIÓN DE  $45 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$ , VALOR QUE SE APROXIMA A LA DESVIACIÓN DE LA ECUACIÓN (70) ( $25 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$ ). LAS DIFERENCIAS OBTENIDAS PUEDEN SER DEBIDO A QUE NO SE ANALIZARON IONES COMO  $F^-$  Y  $B(OH)_4^-$  O A ALGÚN ERROR EN LOS DISTINTOS ANÁLISIS QUE SE REALIZARON EN LA DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESTO ÚLTIMO PUEDE OBSERVARSE EN LA MUESTRA DE RÍO (OCTUBRE) LA CUAL MOSTRÓ LA MAYOR DIFERENCIA ( $251 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$ ), SE NECESITARÁ DE UN ESTUDIO POSTERIOR PARA CONFIRMAR ÉSTO. LA MENOR DISCREPANCIA FUE DE  $1 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$ . ESTE RESULTADO INDICA QUE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD POR EL MÉTODO DE LA MOLALIDAD, PUEDE ALCANZAR UNA DESVIACIÓN BAJA. ESTE MÉTODO SÓLAMENTE DEPENDE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SOLUCIÓN, LO QUE REPRESENTA UNA GRAN VENTAJA COMO SE PODRÁ OBSERVAR EN LA SIGUIENTE SECCIÓN. LAS DENSIDADES RELATIVAS DE ESTE SISTEMA FUERON TAMBIÉN DETERMINADAS MEDIANTE UN PRINCIPIO ADITIVO (FRECUENTEMENTE NOMBRADO REGLA DE YOUNG, (180)). COMO LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ES CONOCIDA ESTE PRINCIPIO PUEDE SER APLICADO A ESTAS AGUAS.

T A B L A 36  
COMPARACION DE LA DENSIDAD OBTENIDA POR DIVERSOS METODOS A 25°C

MUESTRA	MEDIDA	1000 ( $d - d^0$ ), g.cm <sup>-3</sup>					
		CALCULADA <sup>A</sup>	$\Delta^a$	CALCULADA <sup>B</sup>	$\Delta^a$	CALCULADA <sup>C</sup>	$\Delta^a$
LAGUNA							
JUNIO	8,608	8,609	-0,001	8,618	-0,010	8,590	0,018
OCTUBRE	11,689	11,678	0,011	11,679	0,010	11,662	0,027
MARZO	18,958	19,051	-0,093	18,983	-0,025	18,959	-0,001
MEZCLA							
JUNIO	0,101	0,087	0,014	0,092	0,009	0,091	0,010
OCTUBRE	10,213	10,248	-0,035	10,235	-0,022	10,220	-0,007
MARZO	8,357	8,330	0,027	8,330	0,027	8,288	0,069
Rfo							
JUNIO	0,120	0,079	0,041	0,095	0,025	0,096	0,024
OCTUBRE	1,384	1,133	0,251	1,176	0,208	1,215	0,169
MARZO	0,690	0,641	0,049	0,656	0,036	0,657	0,033
			$\pm 0,045$		$\pm 0,023$		$\pm 0,023$

A) DE LA MOLALIDAD DE LA SOLUCIÓN.

B) A PARTIR DEL VOLUMEN EQUIVALENTE APARENTE.

C) DE LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR.

D)  $D \cdot 10^3$  (MEDIDA) -  $D \cdot 10^3$  (CALCULADA)

T A B L A 37

LA MOLALIDAD\* DE LOS IONES MAS ABUNDANTES DE LA LAGUNA DE MANDINGA, ZONA DE MEZCLA Y RIO JAMAPA.

SOLUTO	LAGUNA			ZONA DE MEZCLA			RIO		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO*	OCTUBRE	MARZO	JUNIO*	OCTUBRE†	MARZO*
Na <sup>+</sup>	0.1536	0.2110	0.3397	0.4341	0.1855	0.1451	0.4675	1.8617	9.6461
Mg <sup>2+</sup>	0.0185	0.0245	0.0456	0.4733	0.0206	0.0205	0.2085	0.2624	1.3807
Ca <sup>2+</sup>	0.0030	0.0043	0.0061	0.1860	0.0038	0.0018	0.3472	0.1141	0.7183
Sr <sup>2+</sup>	0.0000 <sub>3</sub>	0.0000 <sub>5</sub>	0.0000 <sub>3</sub>	0.0012	0.0000 <sub>4</sub>	0.0000 <sub>2</sub>	0.0011	0.0008	-
K <sup>+</sup>	0.0032	0.0045	0.0072	-	0.0040	0.0031	-	0.0526	-
Cl <sup>-</sup>	0.1788	0.2450	0.4044	0.6009	0.2128	0.1712	0.4765	2.4312	9.9382
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.0096	0.0127	0.0213	0.0001	0.0114	0.0097	0.0001	0.0001	0.6132
Br <sup>-</sup>	0.0003	0.0004	0.0006	-	0.0004	0.0002	-	0.0035	0.0115
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0016	0.0019	0.0026	1.0523	0.0021	0.0024	1.0254	0.2328	2.4732
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.0000 <sub>5</sub>	0.0000 <sub>2</sub>	0.0000 <sub>1</sub>	0.0016	0.0000 <sub>1</sub>	0.0004	0.0791	0.0010	0.1948
Si(OH) <sub>4</sub>	0.0001	0.0001	0.0002	0.0728	0.0000 <sub>1</sub>	0.0001	0.1363	0.0532	0.1426

\* (MOL/Kg DE H<sub>2</sub>O)

★ 1 x 10<sup>-3</sup>

† 1 x 10<sup>-2</sup>

EL PRINCIPIO ADITIVO ES DADO POR LA ECUACIÓN

$$\Phi_V = \sum_{MX} E_M E_X \phi_V (MX) \quad (11)$$

DONDE  $\Phi_V$  ES EL VOLUMEN MOLAL APARENTE DE LA SOLUCIÓN,  $E_M$  Y  $E_X$  SON LAS FRACCIONES EQUIVALENTES DEL CATIÓN Y ANIÓN RESPECTIVAMENTE Y  $\phi_V (MX)$  ES EL VOLUMEN MOLAL EQUIVALENTE DEL ELECTROLITO (MX). LA DENSIDAD DE LA LAGUNA DE MANDINGA, ZONA DE MEZCLA Y DEL RÍO JAMAPA FUE DETERMINADA POR LAS ECUACIONES (33) Y (60).

LOS VALORES CALCULADOS DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA ESTAS SOLUCIONES SE DAN DE LA TABLA 38 A LA 46. LOS VALORES DE  $\Delta d \cdot 10^3$  OBTENIDOS SE DAN EN LA TABLA 36 Y SE COMPARAN CON LAS DENSIDADES MEDIDAS. SE LOGRÓ UNA DESVIACIÓN DE  $23 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$  LA CUAL SE ENCUENTRA EN UNA CONCORDANCIA RAZONABLE CON LOS VALORES MEDIDOS.

LAS DIFERENCIAS OBTENIDAS SE PUEDEN DEBER A VALORES BAJOS O ALTOS DE  $\Phi_V$ , AL USAR VALORES DE  $b_V$  (PARA LAS SALES DEL RÍO, LA LAGUNA O ESTUARIO) CALCULADOS PARA EL AGUA DE MAR CON 35 (‰) DE SALINIDAD (98). ESTAS DISPARIDADES TAMBIÉN PUEDEN SER DEBIDAS A PEQUEÑAS PRECIPITACIONES DE  $\text{CaCO}_3$  Y  $\text{CaSO}_4$  (104) O A UN ERROR EN LOS DATOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. UNA VARIACIÓN DE 20 ppm EN LA COMPOSICIÓN PRODUCE UNA DESVIACIÓN DE  $16 \times 10^{-6}$

$g\ cm^{-3}$  EN LA DENSIDAD (104). ESTE ÚLTIMO HECHO ES ADVERTIDO EN LA MUESTRA DE RÍO (OCTUBRE) LA CUAL PRESENTÓ LA MÁXIMA DIFERENCIA ( $208 \times 10^{-6}\ g\ cm^{-3}$ ). LOS VALORES DE DENSIDAD RELATIVA OBTENIDOS POR LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR DE MILLERO ET AL. (106) SON COMPARADOS CON LOS VALORES DE DENSIDAD MEDIDOS EN LA TABLA 36. SE LOGRÓ UNA DESVIACIÓN DE  $23 \times 10^{-6}\ g\ cm^{-3}$ . LAS DIFERENCIAS ALCANZADAS ESTÁN EN EL INTERVALO DE  $1 \times 10^{-6}\ g\ cm^{-3}$  A  $169 \times 10^{-6}\ g\ cm^{-3}$ . COMO LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR (106) FUE PROPUESTA PARA UN INTERVALO DE 0.5 A 40 (‰) DE SALINIDAD, EN DONDE EL AGUA DE MAR FUE DILUIDA CON AGUA PURA O EVAPORADA. LAS DISCREPANCIAS OBTENIDAS AL USAR ESTA ECUACIÓN PUEDEN SER DEBIDAS A LA DIFERENTE COMPOSICIÓN QUÍMICA QUE PRESENTAN LAS MUESTRAS ANALIZADAS (TABLA 27 A 35) CON RESPECTO A LA DEL AGUA DE MAR USADA PARA PROPONER LA ECUACIÓN DE ESTADO (102). LOS VALORES DE  $\Phi_V^0$ ,  $S_V$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  OBTENIDOS, SON COMPARADOS CON LOS VALORES DEL AGUA DE MAR Y AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL" EN LA TABLA 47. DONDE SE PUEDE OBSERVAR QUE PARA SALINIDADES  $> 10$ (‰) LOS VALORES  $\Phi_V^0$ ,  $S_V$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  SON SIMILARES A LOS DEL AGUA DE MAR, PERO SON MENORES A LOS VALORES OBTENIDOS A SALINIDADES  $< 2$ (‰) Y LOS CUALES TIENDEN A LOS VALORES DEL AGUA DE RÍO "PROMEDIO MUNDIAL". DE ACUERDO A ESTOS DATOS DE DENSIDAD SE PUEDE INDICAR QUE LOS MÉTODOS USADOS PARA DETERMINARLA, PRESENTAN UNA GRAN CONCORDANCIA CON LOS VALORES MEDIDOS DE DENSIDAD. ESTO REITERA QUE EL MÉTODO DE LA MOLALIDAD (80), EL MÉTODO ADITIVO (180) Y EL DE

T A B L A 38

CALCULO DE  $\phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DE LA LAGUNA DE MANDINGA (JUNIO).

IÓN	$\phi_V^0(i)^A$	$E_i \phi_V^0(i)$	$b_V(i)^A$	$E_i B_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.9286	1.078	0.8273	22.9898	17.6424
Mg <sup>2+</sup>	10.59	-1.9539	-0.197	-0.0363	12.1525	2.2421
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-0.2750	0.242	0.0075	20.0400	0.6172
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0036	0.569	0.0002	43.8100	0.0175
K <sup>+</sup>	9.03	0.1463	1.129	0.0183	39.1020	0.6335
Cl <sup>+</sup>	17.83	15.9275	-1.030	-0.9201	35.4530	31.6702
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.6752	0.134	0.0129	48.0288	4.6396
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0371	-1.107	-0.0017	79.9040	0.1199
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23.39	0.1895	-1.026	-0.0083	61.0172	0.4942
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0079	-1.000	-0.0003	62.0049	0.0186
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0 <sup>b</sup>	0.0300	-	-	96.1156	0.0481
		$\phi_V^0 = 13.8524$		$b_V = -0.1005$		$M_T = 58.1433$

A) BASADO EN  $\phi_V(H^+) = 0$ , LOS DATOS SE CONSULTARON EN (89, 91, 98).

B) DATO CONSULTADO EN LA REFERENCIA (12).

T A B L A 39

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DE LA LAGUNA DE MANDINGA (OCTUBRE).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \Phi_V^0(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.9350	1.078	0.8330	22.9893	17.7642
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-1.8946	-0.197	-0.0352	12.1525	2.1741
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-0.2795	0.242	0.0076	20.0400	0.6273
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0036	0.569	0.0002	43.8100	0.0175
K <sup>+</sup>	9.03	0.1481	1.129	0.0185	39.1020	0.6413
Cl <sup>-</sup>	17.83	15.9989	-1.030	-0.9242	35.4530	31.8120
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.6529	0.134	0.0125	48.0288	4.4859
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0371	-1.107	-0.0017	79.9040	0.1199
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23.39	0.1661	-1.026	-0.0073	61.0172	0.4332
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0003	-1.000	-0.0000 <sub>1</sub>	62.0049	0.0006
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	0.0240	-	-	96.1156	0.0384
		$\Phi_V^0 = 13.9147$		$b_V = -0.0966$		$M_T = 58.1144$



T A B L A 40

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DE LA LAGUNA DE MANDINGA (MARZO).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \Phi_V^0(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$
Na <sup>+</sup>	-1.21	-0.9123	1.078	0.8128	22.9898	17.3343
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-2.1445	-0.197	-0.0399	12.1525	2.4609
Ca <sup>2+</sup>	-8.93	-0.2402	0.242	0.0065	20.0400	0.5391
Sr <sup>2+</sup>	-9.08	-0.0018	0.569	0.0001	43.8100	0.0088
K <sup>+</sup>	9.03	0.1436	1.129	0.0180	39.1020	0.6217
Cl <sup>-</sup>	17.83	16.0024	-1.030	-0.9244	35.4530	31.8191
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.6641	0.134	0.0127	48.0288	4.5627
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0346	-1.107	-0.0015	79.9040	0.1119
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23.39	0.1333	-1.026	-0.0058	61.0172	0.3478
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0005	-1.000	-0.0000 <sub>2</sub>	62.0049	0.0012
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	0.0300	-	-	96.1156	0.0481
	$\Phi_V^0 = 13.8524$		$b_V = -0.1216$		$M_T = 57.8556$	

T A B L A 41

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DE LA ZONA DE MEZCLA (JUNIO).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \phi_V(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.3040	1.078	0.2708	22.9898	5.7750
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-5.8012	-0.197	-0.1079	12.1525	6.6571
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-1.4065	0.242	0.0381	20.0400	3.1563
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0118	0.569	0.0007	43.8100	0.0570
Cl <sup>-</sup>	17.83	6.2013	-1.030	-0.3582	35.4530	12.3306
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.0007	0.134	0.0000 <sub>1</sub>	48.0288	0.0048
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	14.7950	2.122	1.2925	61.0172	37.1656
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0236	-1.000	-0.0009	62.0049	0.0549
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	2.5260	-	-	96.1156	4.0465
		$\Phi_V^0 = 16.0231$		$b_V = 1.1351$		$M_T = 69.2478$

T A B L A 42

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DE LA ZONA DE MEZCLA (OCTUBRE).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \phi_V(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$	
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.9421	1.078	0.8393	22.9898	17.8999	
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-1.8300	-0.197	-0.0340	12.1525	2.1000	
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-0.2813	0.242	0.0076	20.0400	0.6313	
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0027	0.569	0.0002	43.8100	0.0131	
K <sup>+</sup>	9.03	0.1499	1.129	0.0187	39.1020	0.6491	
Cl <sup>-</sup>	17.83	15.9329	-1.030	-0.9204	35.4530	31.6808	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.6696	0.134	0.0128	48.0288	4.6012	
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0420	-1.107	-0.0019	79.9040	0.1358	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23.39	0.2082	-1.026	-0.0091	61.0172	0.5431	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0010	-1.000	-0.0000 <sub>4</sub>	62.0049	0.0025	
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	0.0000 <sub>1</sub>	-	-	96.1156	0.0000 <sub>1</sub>	
	$\Phi_V^0 =$	13.9475		$b_V =$	-0.0868	$M_T =$	58.2568

T A B L A 43

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DE LA ZONA DE MEZCLA (MARZO).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \phi_V(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$	
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.9086	1.078	0.8095	22.9898	17.2630	
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-2.2557	-0.197	-0.0420	12.1525	2.5885	
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-0.1732	0.242	0.0047	20.0400	0.3888	
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0018	0.569	0.0001	43.8100	0.0088	
K <sup>+</sup>	9.03	0.1463	1.129	0.0183	39.1020	0.6335	
Cl <sup>-</sup>	17.83	15.7956	-1.030	-0.9125	35.4530	31.4078	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.6983	0.134	0.0134	48.0288	4.7981	
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0247	-1.107	-0.0011	79.9040	0.0799	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23.39	0.2947	-1.026	-0.0129	61.0172	0.7688	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0052	-1.000	-0.0002	62.0049	0.0124	
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	0.0300	-	-	96.1156	0.0481	
	$\Phi_V^0 =$	13.6308		$b_V =$	-0.1227	$M_T =$	57.9977

T A B L A 44

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DEL RIO JAMAPA (JUNIO)

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \Phi_V(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.3294	1.078	0.2934	22.9898	6.2578
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-2.5713	-0.197	-0.0478	12.1525	2.9506
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-3.6104	0.242	0.0978	20.0400	8.1022
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0118	0.569	0.0007	43.8100	0.0570
Cl <sup>-</sup>	17.83	4.9478	-1.030	-0.2858	35.4530	9.8382
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.0007	0.134	0.0000 <sub>1</sub>	48.0288	0.0048
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	14.5036	2.122	1.2670	61.0172	36.4334
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	1.2078	-1.000	-0.0461	62.0049	2.8584
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	4.7640	-	-	96.1156	7.6316
	$\Phi_V^0 = 18.9010$		$b_V = 1.2792$		$M_T = 74.1340$	

T A B L A 45

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DEL RIO JAMAPA (OCTUBRE).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \Phi_V(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.8275	1.078	0.7372	22.9898	15.7227
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-2.0418	-0.197	-0.0380	12.1525	2.3430
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-0.7483	0.242	0.0203	20.0400	1.6794
Sr <sup>2+</sup>	- 9.08	-0.0054	0.569	0.0003	43.8100	0.0263
K <sup>+</sup>	9.03	0.1743	1.129	-0.0218	39.1020	0.7547
Cl <sup>-</sup>	17.83	15.9258	-1.030	-0.9200	35.4530	31.6666
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.0007	0.134	0.0000 <sub>1</sub>	48.0288	0.0048
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0321	-1.107	-0.0014	79.9040	0.1039
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	2.0768	2.122	0.1814	61.0172	5.2170
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.0105	-1.000	-0.0004	62.0049	0.0248
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	1.1760	-	-	96.1156	1.8839
		$\Phi_V^0 = 15.7732$		$b_V = 0.0012$		$M_T = 59.4271$

T A B L A 46

CALCULO DE  $\Phi_V^0$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  PARA LAS SALES DEL RIO JAMAPA (MARZO).

IÓN	$\Phi_V^0(i)$	$E_i \Phi_V^0(i)$	$b_V(i)$	$E_i b_V(i)$	$M_i$	$E_i M_i$	
Na <sup>+</sup>	- 1.21	-0.8345	1.078	0.7435	22.9898	15.8561	
Mg <sup>2+</sup>	-10.59	-2.0905	-0.197	-0.0389	12.1525	2.3989	
Ca <sup>2+</sup>	- 8.93	-0.9171	0.242	0.0249	20.0400	2.0581	
Cl <sup>-</sup>	17.83	12.6682	-1.030	-0.7318	35.4530	25.1894	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	0.6130	0.134	0.0118	48.0288	3.8421	
Br <sup>-</sup>	24.71	0.0198	-1.107	-0.0009	79.9040	0.0639	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	4.2945	2.122	0.3752	61.0172	10.7878	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26.20	0.3642	-1.000	-0.0139	62.0049	0.8619	
Si(OH) <sub>4</sub>	60.0	0.6120	-	-	96.1156	0.9804	
	$\Phi_V^0 =$	14.7296		$b_V =$	0.3699	$M_T =$	62.0386

LA ECUACIÓN DE ESTADO DEL AGUA DE MAR (106) PUEDEN SER APLICADOS A ESTE SISTEMA DE MANDINGA.

#### 5.4 LA ESPECIACIÓN DE LOS IONES MAS ABUNDANTES

MEDIANTE EL USO DEL MODELO DE PAR IÓNICO (102, 109, 173) LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD PARA LA LAGUNA DE MANDINGA, ZONA DE MEZCLA Y EL RÍO JAMAPA FUERON CALCULADOS. LAS CONSTANTES DE ASOCIACIÓN ESTEQUIOMÉTRICAS ( $K_A^*$ ) PARA ESTE SISTEMA FUERON CALCULADAS, ASÍ COMO LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES.

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD ( $\gamma_F(i)$ ) DE LOS IONES LIBRES (i) O QUE NO ESTÁN FORMANDO UN COMPLEJO FUERON ESTIMADOS USANDO LA ECUACIÓN DE PITZER (128) PARA IONES

$$\ln \gamma_F(i) = z_j^2 f + I B_i^0 + B_i^1 f^1 + I^2 C_i \quad (91)$$

DONDE  $f$  y  $f^1$  ESTÁN EN FUNCIÓN DE LA FUERZA IÓNICA,  $B_i^0$ ,  $B_i^1$  Y  $C_i$  SON PARÁMETROS DETERMINADOS DE LOS COEFICIENTES DE PITZER Y MAYORGA (128). LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE DAN EN LA TABLA 48.

EN SOLUCIONES DILUIDAS POR DEBAJO DE  $I = 0.1$ , LOS COEFICIENTEN-



T A B L A 47

COMPARACION DE  $\phi_V^0$ ,  $S_V$ ,  $b_V$  Y  $M_T$  ENTRE LA LAGUNA DE MANDINGA  
 ZONA DE MEZCLA, RIO JAMAPA, AGUA DE MAR Y AGUA DE RIO, A 25°C.

Z O N A	$\phi_V^0$	$S_V$	$b_V$	$M_T$
<u>LAGUNA</u>				
JUNIO	13.852	2.159	-0.1005	58.143
OCTUBRE	13.915	2.151	-0.097	58.114
MARZO	13.852	2.171	-0.1216	57.856
<u>MEZCLA</u>				
JUNIO	16.023	2.449	1.135	69.248
OCTUBRE	13.948	2.149	-0.087	58.257
MARZO	13.631	2.284	-0.123	57.998
<u>RIO</u>				
JUNIO	18.901	2.390	1.279	74.134
OCTUBRE	15.773	2.090	0.0012	59.427
MARZO	14.730	2.211	0.370	62.039
<u>AGUA DE MAR</u>	13.896	2.150	-0.101	58.034
<u>AGUA DE RIO</u>	19.657	2.371	1.400	77.446

TES DE ACTIVIDAD PUEDEN SER DETERMINADOS POR LA ECUACIÓN DE DAVIES (22)

$$\log \gamma_F(i) = -0.509 \left| z + z^- \left[ I^{1/2} / (1 + I^{1/2}) - 0.3 I \right] \right| \quad (71)$$

Y LA ECUACIÓN DE KIELLAND (102)

$$\log \gamma_F(i) = -0.509 z_i^2 I^{1/2} / (1 + a^{0.33} I^{1/2}) \quad (92)$$

DONDE  $Z_i$  ES LA CARGA DEL IÓN,  $I$  ES LA FUERZA IÓNICA MOLAR Y  $a^0$  ES UN PARÁMETRO AJUSTABLE DE TAMAÑO PARA CADA IÓN (102). LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS ECUACIONES (71) Y (92) SE DAN EN LAS TABLAS 49 Y 50. DE ESTOS RESULTADOS SE OBSERVA QUE PARA LAS MUESTRAS CON UNA FUERZA IÓNICA MENOR A 0.1 LAS TRES ECUACIONES MENCIONADAS PRODUCEN VALORES SIMILARES; SIN EMBARGO PARA LAS MUESTRAS CON UNA FUERZA IÓNICA MAYOR A 0.1 EXISTEN UNA DIFERENCIA APRECIABLE ENTRE LOS  $\gamma_F(i)$  OBTENIDOS (102).

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE VARIOS TIPOS DE PARES IÓNICOS PARA EL SISTEMA DE MANDINGA FUERON CALCULADOS USANDO LAS CONSTANTES DE EQUILIBRIO TERMODINÁMICAS (129), LAS ESTEQUIOMÉTRICAS CALCULADAS (TABLA 51) Y LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS IONES LIBRES (TABLA 48). PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS PARES IÓNICOS NEUTROS, LA SIGUIENTE ECUACIÓN FUE USADA

$$\gamma_{MX^0} = (K_A / K_A^*) \gamma_M \gamma_X \quad (93)$$

LOS  $\gamma_{MX^-}$  FUERON OBTENIDOS DE

$$\gamma_{MX^-} = (K_A / K_A^*) (\gamma_{M^+} \gamma_{X^{2-}}) \quad (94)$$

Y LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS PARES IÓNICOS POSITIVOS SE ESTIMARON POR LA SIGUIENTE RELACIÓN

$$\gamma_{MX^+} = (K_A / K_A^+) (\gamma_{M^{2+}} \gamma_{X^-}) \quad (95)$$

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE VARIOS PARES IÓNICOS ESTIMADOS PARA LA ZONA DE MANDINGA SE DAN EN LA TABLA 52.

LAS CONSTANTES DE EQUILIBRIO ESTEQUIOMÉTRICAS FUERON ESTIMADAS POR LA ECUACIÓN

$$\ln K_A^* = \ln K_A + z_A^2 f + I B_{A^0} + f^1 B_{A^1} + I^2 C_A \quad (96)$$

DONDE  $Z_A^2 = Z_M^2 + Z_X^2 - Z_{MX^2}$ ,  $B_A = B_{M^0} + B_{X^0} - B_{MX^0}$  Y  $C_A = C_M + C_X - C_{MX}$  (M Y X SON LOS IONES LIBRES Y MX EL PAR IÓNICO) (103).

LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES EN EL RÍO JAMAPA, ZONA DE MEZCLA Y LA LAGUNA DE MANDINGA SE DETERMINÓ USANDO LAS CONSTANTES ESTEQUIOMÉTRICAS (TABLA 51) Y LA COM-

T A B L A 48

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS IONES LIBRES, DETERMINADOS POR EL METODO DE LA SAL PROMEDIO.

IÓN	JUNIO	L A G U N A		ZONA DE MEZCLA			JUNIO	RIO JANIAPA	
		OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO		OCTUBRE	MARZO
H <sup>+</sup>	0.823	0.836	0.890	0.950	0.829	0.822	0.952	0.865	0.889
Na <sup>+</sup>	0.741	0.728	0.711	0.948	0.733	0.743	0.933	0.852	0.882
Mg <sup>2+</sup>	0.331	0.312	0.291	0.811	0.320	0.333	0.759	0.540	0.613
Ca <sup>2+</sup>	0.318	0.296	0.268	0.811	0.305	0.320	0.758	0.536	0.611
Sr <sup>2+</sup>	0.317	0.294	0.263	0.811	0.303	0.319	0.759	0.536	-
K <sup>+</sup>	0.703	0.683	0.647	-	0.693	0.708	-	0.845	-
Cl <sup>-</sup>	0.703	0.683	0.647	0.948	0.693	0.708	0.931	0.845	0.878
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.326	0.294	0.246	0.813	0.308	0.328	0.763	0.552	0.623
Br <sup>-</sup>	0.714	0.693	0.662	-	0.703	0.716	-	0.847	0.879
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.739	0.721	0.692	0.949	0.729	0.740	0.933	0.854	0.883
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.298	0.270	0.229	0.813	0.282	0.300	0.817	0.532	0.609
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.701	0.665	0.580	0.948	0.682	0.704	0.932	0.850	0.881
OH <sup>-</sup>	0.797	0.799	0.823	0.950	0.797	0.797	0.951	0.862	0.888

T A B L A 49

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS IONES LIBRES DETERMINADOS POR LA ECUACION DE DAVIE

IÓN	L A G U N A			ZONA DE MEZCLA			RÍO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
H <sup>+</sup>	0.742	0.733	0.734	0.948	0.736	0.743	0.932	0.849	0.880
Na <sup>+</sup>	0.742	0.733	0.734	0.948	0.736	0.743	0.932	0.849	0.880
Mg <sup>2+</sup>	0.303	0.289	0.291	0.808	0.294	0.304	0.754	0.520	0.600
Ca <sup>2+</sup>	0.303	0.289	0.291	0.808	0.294	0.304	0.754	0.520	0.600
Sr <sup>2+</sup>	0.303	0.289	0.291	0.808	0.294	0.304	0.754	0.520	-
K <sup>+</sup>	0.742	0.733	0.734	-	0.736	0.743	-	0.849	-
Cl <sup>-</sup>	0.742	0.733	0.734	0.948	0.736	0.743	0.932	0.849	0.880
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.303	0.289	0.291	0.808	0.294	0.304	0.754	0.520	0.600
Br <sup>-</sup>	0.742	0.733	0.734	-	0.736	0.743	-	0.849	0.880
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.742	0.733	0.734	0.948	0.736	0.743	0.932	0.849	0.880
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.303	0.289	0.291	0.808	0.294	0.304	0.754	0.520	0.600
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.742	0.733	0.734	0.948	0.736	0.743	0.932	0.849	0.880
OH <sup>-</sup>	0.742	0.733	0.734	0.948	0.736	0.743	0.932	0.849	0.880

T A B L A 50

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS IONES LIBRES DETERMINADOS DE LA ECUACION DE KIELLAND

IÓN	L A G U N A			ZONA DE MEZCLA			RÍO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
H <sup>+</sup>	0.793	0.782	0.765	0.952	0.787	0.794	0.953	0.874	0.897
Na <sup>+</sup>	0.709	0.687	0.650	0.949	0.697	0.711	0.950	0.847	0.879
Mg <sup>2+</sup>	0.371	0.348	0.313	0.820	0.358	0.373	0.824	0.571	0.638
Ca <sup>2+</sup>	0.316	0.289	0.250	0.816	0.301	0.319	0.820	0.545	0.618
Sr <sup>2+</sup>	0.286	0.257	0.215	0.813	0.269	0.288	0.818	0.530	-
K <sup>+</sup>	0.684	0.657	0.612	-	0.669	0.686	-	0.840	-
Cl <sup>-</sup>	0.684	0.657	0.612	0.948	0.669	0.686	0.950	0.840	0.875
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.253	0.222	0.178	0.811	0.236	0.256	0.815	0.514	0.597
Br <sup>-</sup>	0.684	0.657	0.612	-	0.669	0.686	-	0.840	0.875
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.709	0.687	0.650	0.949	0.697	0.711	0.950	0.847	0.879
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.270	0.240	0.197	0.812	0.253	0.272	0.816	0.522	0.603
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.684	0.657	0.612	0.948	0.669	0.686	0.950	0.840	0.875
OH <sup>-</sup>	0.697	0.672	0.632	0.948	0.683	0.699	0.950	0.844	0.877

POSICIÓN QUÍMICA (TABLAS 27 A 35). LOS RESULTADOS SE REPORTAN DE LA TABLA 53 A 61 Y DE LA FIGURA 18 A LA FIGURA 26.

LA MAYOR PARTE DEL IÓN  $H^+$  SE ENCUENTRA EN FORMA LIBRE Y FORMA PRINCIPALMENTE AL COMPLEJO  $HSO_4^-$ . A SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰ SE OBTUVO DE 77.62% A 84.17% DEL IÓN  $H^+$  EN FORMA LIBRE Y COMO  $HSO_4^-$  SE CALCULÓ UN PORCENTAJE DE 15.83% A 22.38%. PORCENTAJES QUE SON SIMILARES A LOS REPORTADOS PARA EL AGUA DE MAR (99; FIGURA 3).

A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ (TABLAS 56, 59 A 61) EL IÓN  $H^+$  SE ENCUENTRA CASI TOTALMENTE EN FORMA LIBRE. SE OBTUVO UN PORCENTAJE DEL 96.97% AL 100%. VALORES QUE SON SIMILARES A LOS REPORTADOS PARA AGUAS DE RÍO (102; FIGURA 9).

EL IÓN  $Na^+$  EN SU MAYOR PARTE SE ENCUENTRA EN FORMA LIBRE EN MUESTRAS CON SALINIDADES MENORES A 2 ‰ Y MAYORES A 10 ‰ (TABLAS 53 A 61). RESULTADOS QUE SE PUEDEN COMPARAR CON LOS OBTENIDOS PARA EL AGUA DE MAR (99; FIGURA 9) Y EL AGUA DE RÍO (103; FIGURA 9). SE DETERMINÓ UN PORCENTAJE DE IÓN  $Na^+$  LIBRE DE 97.89 A 99.93 Y UN PORCENTAJE ENTRE 2.05 Y 0.000<sub>1</sub> DEL COMPLEJO  $NaSO_4^-$  PAR IÓNICO QUE FORMA PRINCIPALMENTE EL IÓN  $Na^+$ , ESTE IÓN TAMBIÉN FORMA AL COMPLEJO  $NaHCO_3^0$ , EL PORCENTAJE OBTENIDO FUE DE 0.118 A 0.05. OTROS PARES IÓNICOS QUE EN TEORÍA SE FORMAN SON:  $NaCO_3^-$  Y  $NaOH^0$ . SE ESTIMÓ UN PORCENTAJE

T A B L A 51

LAS CONSTANTES DE ASOCIACION ESTEQUIOMETRICA ( $\log K^*$ ) A 25°C

IÓN	L A G U N A			ZONA DE MEZCLA			RÍO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
$\text{HSO}_4^-$	1.55	1.53	1.50	1.89	1.54	1.56	1.89	1.73	1.76
$\text{KSO}_4^-$	0.39	0.34	0.26	0.79	0.36	0.39	0.80	0.62	0.68
$\text{KNO}_3^\circ$	-0.24	-0.28	-0.38	0.03	-0.26	-0.24	0.03	-0.07	-0.03
$\text{NaSO}_4^-$	0.47	0.43	0.36	0.85	0.45	0.47	0.86	0.69	0.74
$\text{NaHCO}_3^\circ$	-0.46	-0.49	-0.52	-0.23	-0.33	-0.46	-0.23	-0.33	-0.30
$\text{NaCO}_3^-$	0.51	0.47	0.41	0.93	0.49	0.51	0.93	0.75	0.81
$\text{NaOH}^\circ$	-0.42	-0.43	-0.44	-0.22	-0.43	-0.42	-0.22	-0.31	-0.29
$\text{NaNOS}_3$	-0.90	-0.93	-1.01	-0.64	-0.92	-0.89	-0.64	-0.74	-0.71
$\text{MgSO}_4^\circ$	1.24	1.17	1.06	2.03	1.20	1.25	2.04	1.68	1.79
$\text{MgHCO}_3^+$	0.45	0.42	0.36	0.86	0.43	0.45	0.86	0.68	0.74
$\text{MgCO}_3^\circ$	1.89	1.83	1.72	2.72	1.86	1.90	2.73	2.36	2.47
$\text{MgOH}^+$	1.73	1.71	1.69	2.11	1.72	1.74	2.11	1.94	1.99
$\text{CaSO}_4^\circ$	1.29	1.22	1.10	2.10	1.25	1.30	2.11	1.75	1.86
$\text{CaHCO}_3^+$	0.48	0.44	0.38	0.91	0.46	0.48	0.91	0.73	0.78
$\text{CaCO}_3^\circ$	2.18	2.10	1.99	3.02	2.14	2.18	3.03	2.66	2.77
$\text{CaOH}^+$	0.81	0.79	0.75	1.21	0.80	0.82	1.21	1.03	1.09



T A B L A 51  
 LAS CONSTANTES DE ASOCIACION ESTEQUIOMETRICA ( $\log K^*$ ) A 25°C

Continuación...

IÓN	L A G U N A			ZONA DE MEZCLA			RÍO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
$\text{CaNO}_3^+$	-0.26	-0.31	-0.42	0.19	-0.29	-0.26	0.19	0.003	0.06
$\text{SrSO}_4$	1.12	1.04	0.91	1.92	1.07	1.12	1.93	1.57	1.68
$\text{SrHCO}_3^+$	0.48	0.44	0.37	0.91	0.46	0.48	0.91	0.73	0.78
$\text{SrCO}_3$	2.17	2.10	1.98	3.02	2.13	2.18	3.03	2.66	2.77
$\text{SrOH}^+$	0.33	0.31	0.27	0.73	0.32	0.34	0.73	0.55	0.61
$\text{SrNO}_3^+$	0.28	0.23	0.11	0.73	0.25	0.28	0.73	0.55	0.60

T A B L A 52

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS PARES IONICOS A 25°C

IÓN	L A G U N A			ZONA DE MEZCLA			RÍO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
$(M^+ X^{2-})^-$									
$HSO_4^-$	0.7206	0.6912	0.6598	0.9482	0.7018	0.7077	0.8917	0.8473	0.8759
$KSO_4^-$	0.7109	0.6989	0.6660	-	0.7094	0.7203	-	0.8519	-
$NaSO_4^-$	0.7169	0.6965	0.6687	0.9535	0.7016	0.7232	0.8606	0.8410	0.8757
$NaCO_3^-$	0.7155	0.6984	0.6642	0.9495	0.7014	0.7223	0.9391	0.8452	0.8723
$(M^{2+} X^-)^+$									
$MgHCO_3^+$	0.7755	0.7642	0.7854	0.9493	0.7744	0.7812	0.8734	0.8609	0.8801
$MgOH^+$	0.7819	0.7737	0.7783	0.9520	0.7735	0.7687	0.8919	0.8507	0.8866
$CaHCO_3^+$	0.7762	0.7729	0.7711	0.9444	0.7690	0.7821	0.8678	0.8502	0.8931
$CaOH^+$	0.7806	0.7627	0.7800	0.9447	0.7661	0.7676	0.8839	0.8575	0.8770
$CaNO_3^+$	0.7693	0.7622	0.7754	0.9414	0.7692	0.7774	0.8650	0.8581	0.8891
$SrHCO_3^+$	0.7737	0.7676	0.7744	0.9444	0.7639	0.7797	0.8690	0.8502	-
$SrOH^+$	0.7822	0.7616	0.7694	0.9496	0.7651	0.7692	0.8897	0.8620	-

T A B L A 52

LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD DE LOS PARES IONICOS A 25°C

Continuación...

IÓN	L A G U N A			ZONA DE MEZCLA			RÍO JAMAPA		
	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO	JUNIO	OCTUBRE	MARZO
$\text{SrNO}_3^+$	0.7720	0.7621	0.7838	0.9476	0.7692	0.7802	0.8719	0.8500	-
$(\text{M}^+ \text{X}^-)^\circ$									
$\text{KNO}_3$	1.0253	1.0361	1.0777	-	1.0297	1.0370	-	1.0103	-
$\text{NaHCO}_3$	1.0273	1.0552	1.0598	0.9939	0.7432	1.0315	0.9616	1.0119	1.0108
$\text{NaOH}^\circ$	1.0309	1.0390	1.0696	0.9919	1.0435	1.0337	0.9772	0.9951	1.0135
$\text{NaNO}_3$	1.0380	1.0366	1.0616	0.9869	1.0461	1.0215	0.9549	1.0012	1.0026
$(\text{M}^{2+} \text{X}^{2-})^\circ$									
$\text{MgSO}_4$	1.0083	1.0071	1.0125	0.9992	1.0099	0.9974	0.8577	1.0113	1.0058
$\text{MgCO}_3$	1.0119	0.9922	1.0112	1.0005	0.9919	1.0015	0.9195	0.9986	1.0073
$\text{CaSO}_4$	1.0132	0.9993	0.9980	0.9981	1.0067	1.0025	0.8555	1.0027	1.0013
$\text{CaCO}_3$	0.9940	1.0079	0.9971	0.9997	0.9892	1.0070	0.9176	0.9904	1.0032
$\text{SrSO}_4$	0.9914	0.9970	1.0066	1.0025	1.0046	1.0038	0.8605	1.0071	-
$\text{SrCO}_3$	1.0140	1.0011	1.0012	0.9997	1.0056	1.0038	0.9188	0.9904	-

BAJO DE ESTOS PARES IÓNICOS (TABLA 53 A 61) EN EL SISTEMA DE MANDINGA, SIMILAR AL REPORTADO EN EL AGUA DE RÍO (102; FIGURA 9), Y EN EL AGUA DE MAR (103; FIGURA 3).

LA MAYOR ESPECIE ENCONTRADA PARA EL MAGNESIO ES EL IÓN LIBRE  $Mg^{2+}$ . SE OBTUVO UN PORCENTAJE DE 90.11 A 98.41 DE ESTE IÓN LIBRE PARA SALINIDADES MAYORES A 10 ‰ Y UN PORCENTAJE DE 93.44 A 98.88 PARA SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ (TABLAS 53 A 61). EL IÓN  $Mg^{2+}$  FORMA COMPLEJOS O PARES IÓNICOS CON CASI TODOS LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES (EXCEPTO CON EL IÓN  $NO_3^-$ ) PRESENTES EN EL AGUA DE MAR Y EL AGUA DE RÍO; EN UN PORCENTAJE QUE GENERALMENTE DISMINUYE EN LA FORMA SIGUIENTE:  $SO_4^{2-} > HCO_3^- > CO_3^{2-} > OH^-$ . EN EL PRESENTE TRABAJO PARA MUESTRAS CON SALINIDADES MENORES A 2 ‰ (TABLAS 56, 59 A 61) ESTE ORDEN DE FORMACIÓN DE COMPLEJOS CAMBIO:  $HCO_3^- > CO_3^{2-} > OH^- > SO_4^{2-}$ , DEBIDO TAL VEZ A LA CONCENTRACIÓN BAJA DEL IÓN SULFATO (TABLAS 30, 33 Y 34).

A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ LA MAYOR PARTE DEL IÓN  $Ca^{2+}$  SE ENCUENTRA LIBRE (TABLAS 56, 59 A 61). SE ESTIMÓ UN PORCENTAJE DE 94.19 A 98.41. ESTE PORCENTAJE DISMINUYE UN POCO A SALINIDADES ARRIBA DE 10 ‰ YA QUE SE OBTIENE UN VALOR ENTRE 89.23 Y 90.19.

EL IÓN  $Ca^{2+}$  FORMA PARES IÓNICOS CON CASI TODOS LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES PRESENTES EN EL AGUA DE MAR Y EL AGUA DE RÍO

T A B L A 53

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES EN LA LAGUNA DE MANDINGA (JUNIO).

CATION	%M	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH	
H <sup>+</sup>	84.17	15.83	-	-	-	
Na <sup>+</sup>	98.41	1.54	0.05	-	-	
Mg <sup>2+</sup>	91.18	8.40	0.37	0.048	0.002	
Ca <sup>2+</sup>	90.19	9.32	0.39	0.092	0.000 <sub>2</sub>	
Sr <sup>2+</sup>	92.99	6.50	0.41	0.093	0.000 <sub>1</sub>	
K <sup>+</sup>	98.71	1.28	-	-	-	
ANION	%X	%NaX	%MgX	%CaX	%KX	%SrX
Cl <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	55.81	24.61	16.18	2.94	0.43	0.021
Br <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	90.33	4.68	4.25	0.74	-	0.008
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	31.33	15.14	40.57	12.83	-	0.129
OH <sup>-</sup>	50.75	2.88	45.48	0.89	-	0.003
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	97.83	1.84	-	0.15	0.18	0.005

T A B L A 54

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES EN LA LAGUNA DE MANDINGA (OCTUBRE).

CATION	%M	% $\text{M}\text{SO}_4$	% $\text{M}\text{HCO}_3$	% $\text{M}\text{CO}_3$	% $\text{M}\text{OH}$	
$\text{H}^+$	82.13	17.87	-	-	-	
$\text{Na}^+$	98.25	1.70	0.05	0.002	-	
$\text{Mg}^{2+}$	90.92	8.64	0.39	0.051	0.001	
$\text{Ca}^{2+}$	89.92	9.59	0.41	0.093	0.001	
$\text{Sr}^{2+}$	92.94	6.55	0.42	0.096	-	
$\text{K}^+$	98.61	1.39	-	-	-	
ANION	%X	% $\text{NaX}$	% $\text{MgX}$	% $\text{CaX}$	% $\text{KX}$	% $\text{SrX}$
$\text{Cl}^-$	100	-	-	-	-	-
$\text{SO}_4^{2-}$	51.39	28.22	16.65	3.22	0.49	0.03
$\text{Br}^-$	100	-	-	-	-	-
$\text{HCO}_3^-$	88.17	5.82	5.08	0.92	-	0.01
$\text{CO}_3^{2-}$	28.05	16.89	41.56	13.34	-	0.16
$\text{OH}^-$	44.99	3.41	50.55	1.05	-	0.004
$\text{NO}_3^-$	97.26	2.33	-	0.18	0.21	0.01

T A B L A 55

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES EN LA LAGUNA DE MANDINGA (MARZO).

CATIÓN	%M	%MSO <sub>4</sub>	%M <sub>H</sub> CO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH	
H <sup>+</sup>	77.62	22.38	-	-	-	
Na <sup>+</sup>	97.89	2.05	0.057	0.003	-	
Mg <sup>2+</sup>	90.11	9.43	0.396	0.060	0.000 <sub>4</sub>	
Ca <sup>2+</sup>	89.23	10.24	0.411	0.112	0.000 <sub>1</sub>	
Sr <sup>2+</sup>	92.60	6.86	0.417	0.113	-	
K <sup>+</sup>	98.37	1.63	-	-	-	
ANIÓN	%X	%NaX	%MgX	%CaX	%KX	%SrX
Cl <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	43.84	32.55	20.14	2.91	0.549	0.010
Br <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	83.18	8.14	7.62	1.05	-	0.010
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	22.47	18.72	47.18	11.56	-	0.060
OH <sup>-</sup>	32.19	3.79	63.07	0.95	-	0.002
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	96.47	3.06	-	0.19	0.277	0.003

T A B L A 56

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES DE LA ZONA DE MEZCLA (JUNIO).

CATIÓN	%M	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH
H <sup>+</sup>	100.00	-	-	-	-
Na <sup>+</sup>	99.90	0.000 <sub>1</sub>	0.060	0.008	0.027
Mg <sup>2+</sup>	93.44	0.001	0.690	0.481	5.387
Ca <sup>2+</sup>	98.11	0.001	0.813	1.008	0.068
Sr <sup>2+</sup>	97.95	0.001	0.812	1.006	0.235
ANIÓN	%X	%NaX	%MgX	%CaX	%SrX
Cl <sup>-</sup>	100.00	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	93.69	0.288	4.439	1.574	0.009
Br <sup>-</sup>	100.00	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.55	0.025	0.319	0.108	0.001
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	72.64	0.268	16.856	10.149	0.089
OH <sup>-</sup>	94.57	0.025	5.387	0.020	0.001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	98.89	0.010	-	1.098	0.001



T A B L A 57

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES DE LA ZONA DE MEZCLA (OCTUBRE).

CATION	%	% $\text{M}\text{SO}_4$	% $\text{M}\text{HCO}_3$	% $\text{M}\text{CO}_3$	% $\text{M}\text{OH}$	
$\text{H}^+$	82.71	17.29	-	-	-	
$\text{Na}^+$	98.25	1.67	0.08	0.003	-	
$\text{Mg}^{2+}$	90.83	8.68	0.43	0.058	0.002	
$\text{Ca}^{2+}$	89.81	9.63	0.46	0.109	0.000 <sub>2</sub>	
$\text{Sr}^{2+}$	92.84	6.57	0.47	0.111	0.000 <sub>1</sub>	
$\text{K}^+$	99.99	0.01	-	-	-	
ANION	%	% $\text{NaX}$	% $\text{MgX}$	% $\text{CaX}$	% $\text{KX}$	% $\text{SrX}$
$\text{Cl}^-$	100	-	-	-	-	-
$\text{SO}_4^{2-}$	53.82	27.25	15.73	3.18	0.00 <sub>1</sub>	0.02
$\text{Br}^-$	100	-	-	-	-	-
$\text{HCO}_3^-$	87.46	7.35	4.34	0.84	-	0.01
$\text{CO}_3^{2-}$	29.81	16.55	39.82	13.67	-	0.15
$\text{OH}^-$	48.65	3.25	47.08	1.02	-	0.00 <sub>4</sub>
$\text{NO}_3^-$	97.51	2.11	-	0.17	0.21	0.01

T A B L A 58

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES DE LA ZONA DE MEZCLA (MARZO).

CATION	%	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH	
H <sup>+</sup>	83.66	16.34	-	-	-	
Na <sup>+</sup>	98.36	1.56	0.07	0.003	-	
Mg <sup>2+</sup>	90.70	8.68	0.55	0.069	0.002	
Ca <sup>2+</sup>	89.66	9.63	0.58	0.131	0.000 <sub>2</sub>	
Sr <sup>2+</sup>	92.68	6.57	0.60	0.135	0.000 <sub>1</sub>	
K <sup>+</sup>	98.69	1.31	-	-	-	
ANION	%M	%NaX	%MgX	%CaX	%KX	%SrX
Cl <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	56.06	23.35	18.35	1.81	0.42	0.014
Br <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	90.44	4.43	4.69	0.44	-	0.005
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	31.58	14.42	46.19	7.71	-	0.089
OH <sup>-</sup>	48.16	2.58	48.73	0.51	-	0.002
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	97.96	1.78	-	0.09	0.17	0.005

T A B L A 59

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES DEL RIO JAMAPA (JUNIO).

CATION	%M	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH
H <sup>+</sup>	99.99	0.000 <sub>1</sub>	-	-	-
Na <sup>+</sup>	99.93	0.000 <sub>1</sub>	0.059	0.006	0.000 <sub>1</sub>
Mg <sup>2+</sup>	98.88	0.001	0.715	0.391	0.018
Ca <sup>2+</sup>	98.41	0.001	0.798	0.776	0.002
Sr <sup>2+</sup>	98.38	0.001	0.798	0.775	0.001
ANIÓN	%X	%NaX	%MgX	%CaX	%SrX
Cl <sup>-</sup>	100	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	93.47	0.295	2.113	4.114	0.009
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.55	0.027	0.149	0.276	0.001
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	67.48	0.268	7.471	24.705	0.078
OH <sup>-</sup>	96.86	0.027	2.572	0.537	0.001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.94	0.011	-	0.053	0.001

T A B L A 60

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES DEL RIO JAMAPA (OCTUBRE).

CATION	%M	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH	
H <sup>+</sup>	99.99	0.001	-	-	-	
Na <sup>+</sup>	99.89	0.000 <sub>4</sub>	0.103	0.007	0.000 <sub>1</sub>	
Mg <sup>2+</sup>	98.65	0.004	1.041	0.296	0.009	
Ca <sup>2+</sup>	98.24	0.004	1.163	0.589	0.001	
Sr <sup>2+</sup>	98.24	0.003	1.163	0.589	0.002	
K <sup>+</sup>	100.00	-	-	-	-	
ANION	%X	%NaX	%MgX	%CaX	%KX	%SrX
Cl <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	78.12	7.10	9.66	4.92	0.171	0.023
Br <sup>-</sup>	100	-	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	97.36	0.85	1.20	0.59	-	0.004
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	45.22	4.72	26.77	23.13	-	0.162
OH <sup>-</sup>	80.25	0.73	18.06	0.96	-	0.003
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.50	0.34	-	0.11	0.044	0.003

T A B L A 61

LA ESPECIACION DE LOS CATIONES Y ANIONES MAS ABUNDANTES DEL RIO JAMAPA (MARZO).

CATION	%M	%MSO <sub>4</sub>	%MHCO <sub>3</sub>	%MCO <sub>3</sub>	%MOH
H <sup>+</sup>	96.97	3.030	-	-	-
Na <sup>+</sup>	99.58	0.283	0.118	0.011	0.000 <sub>1</sub>
Mg <sup>2+</sup>	95.25	3.042	1.241	0.461	0.010
Ca <sup>2+</sup>	94.19	3.535	1.346	0.909	0.001
ANION	%X	%NaX	%MgX	%CaX	
Cl <sup>-</sup>	100	-	-	-	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	84.55	4.46	6.85	4.14	
Br <sup>-</sup>	100	-	-	-	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	98.42	0.47	0.71	0.40	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	54.12	3.35	20.99	21.54	
OH <sup>-</sup>	87.59	0.43	11.25	0.73	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	99.74	0.19	-	0.08	

(103) EN UN PORCENTAJE QUE GENERALMENTE DISMINUYE EN LA FORMA SIGUIENTE  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{OH}^-$ , SIMILAR A LA FORMACIÓN DE IONES COMPLEJOS DEL IÓN  $\text{Mg}^{2+}$  Y QUE EN ESTE TRABAJO FUE SEGUIDO POR LAS MUESTRAS QUE PRESENTAN SALINIDADES MAYORES A 10 ‰. (TABLAS 25, 53 A 55, 57 Y 58).

A SALINIDADES POR DEBAJO DE 2 ‰, EN ESTE TRABAJO SE PRESENTÓ EL SIGUIENTE ORDEN EN LA FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS  $\text{CO}_3^{2-}$  O  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \cong \text{OH}^-$ , DEBIDO TAL VEZ A LA CONCENTRACIÓN BAJA DEL IÓN SULFATO Y A LA CONCENTRACIÓN ALTA DEL IÓN BICARBONATO (TABLAS: 30, 33 Y 34). ESTO SE VE REFORZADO DEBIDO A QUE CUANDO LA CONCENTRACIÓN DEL IÓN SULFATO AUMENTA, ESTE ORDEN CAMBIA (TABLAS: 35 Y 61 Y ENTONCES EL IÓN  $\text{Ca}^{2+}$  FORMA UN PORCENTAJE MAYOR DEL PAR IÓNICO  $\text{CaSO}_4^0$  (TABLA 61), OBTENIÉNDOSE EL SIGUIENTE ORDEN  $\text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{OH}^-$ . ESTOS RESULTADOS DEBERÁN SER COMPROBADOS MEDIANTE OTROS ESTUDIOS PARA ESTABLECER SI ESTOS DATOS SON CORRECTOS. PRINCIPALMENTE HACIENDO MEDICIONES DIRECTAS DE FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS (ESPECTRO RAMAN, MEDIDAS DE CONDUCTIVIDAD, ETC.).

LA ESTIMACIÓN DE LA ESPECIACIÓN DEL ESTRONCIO ES BASTANTE SIMILAR A LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL IÓN  $\text{Ca}^{2+}$  (TABLAS 53 A 61).

EL POTASIO, ES ENCONTRADO COMO IÓN LIBRE  $\text{K}^+$  EN SU MAYOR PARTE.

EN UN PORCENTAJE SIMILAR AL DEL IÓN  $\text{Na}^+$  Y FORMANDO EL COMPLEJO  $\text{KSO}_4^-$ . UN PORCENTAJE DE 98,37 A 100 FUE CALCULADO PARA EL IÓN LIBRE  $\text{K}^+$  (TABLAS 53 A 61). EL PORCENTAJE CALCULADO DEL PAR IÓNICO  $\text{KSO}_4^-$  FUE DE 0% A 1.63%. VALORES QUE SON ANÁLOGOS A LOS DEL AGUA DE MAR Y EL AGUA DE RÍO (103, FIGURA 9).

DE ACUERDO A LOS RESULTADOS REPORTADOS RECIENTEMENTE (99, 103), LOS IONES  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{Br}^-$  PRESENTAN UNA PROBABILIDAD MUY PEQUEÑA DE FORMAR PARES IÓNICOS. POR ELLO SE LE ASIGNARÁ UN VALOR DE 100%, LO QUE INDICA QUE LOS IONES  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{Br}^-$  SE CONSIDERA TANTO TALMENTE LIBRES.

A DIFERENCIA DE LOS IONES  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{Br}^-$  EL IÓN  $\text{SO}_4^{2-}$  FORMA GRAN CANTIDAD DE PARES IÓNICOS (99). EN EL PRESENTE TRABAJO SE COMPUTÓ UN PORCENTAJE EN EL INTERVALO DE 43.84 Y 56.06 PARA EL IÓN LIBRE  $\text{SO}_4^{2-}$ , A SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰; UN VALOR DE 78.12 A 93.69 DEL IÓN LIBRE  $\text{SO}_4^{2-}$  PARA SALINIDADES MENORES DE 2 ‰. RESULTADOS QUE SON SEMEJANTES A LOS REPORTADOS (99, 102; FIGURA 10).

EL IÓN  $\text{SO}_4^{2-}$  FORMA PARES IÓNICOS CON TODOS LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES TANTO EN EL AGUA DE MAR COMO EL AGUA DE RÍO (103). ESTA FORMACIÓN ADOPTA EL SIGUIENTE ORDEN  $\text{NaSO}_4^- > \text{MgSO}_4^0 > \text{CaSO}_4^0 > \text{KSO}_4^- > \text{SrSO}_4^0$ , A SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰.

(TABLAS: 53 A 55, 57 Y 58). PARA SALINIDADES MENORES DE 2 ‰, LA SECUENCIA DE FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS ES PRINCIPALMENTE  $MgSO_4^0$  o  $CaSO_4^0 > NaSO_4^- > KSO_4^- > SrSO_4^0$  (TABLAS 56, 59 A 61), DEPENDIENDO DE LA CONCENTRACIÓN PRESENTE DE CALCIO O MAGNESIO (TABLAS: 30, 33 A 35).

EL PORCENTAJE MAYOR ENCONTRADO PARA EL IÓN  $HCO_3^-$  ES EN SU FORMA LIBRE. A VALORES MÁS ALTOS DE 10 ‰ DE SALINIDAD SE ESTIMÓ EN EL PRESENTE TRABAJO UN PORCENTAJE DE 83.18 A 90.44 DEL IÓN LIBRE  $HCO_3^-$ . A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰, SE OBTUVO UN VALOR DE 97.36% A 99.55% DEL IÓN LIBRE  $HCO_3^-$  (TABLAS 53 A 61). EL IÓN  $HCO_3^-$  FORMA PARES IÓNICOS CON LA MAYORÍA DE LOS CATIONES, EXCEPTO CON EL IÓN  $K^+$ .

A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ LA FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS SIGUE PRINCIPALMENTE LA SECUENCIA:  $MgHCO_3^+$  o  $CaHCO_3^+ > NaHCO_3^0 > SrHCO_3^+$ ; LA CUAL DEPENDE DE LA CONCENTRACIÓN PRESENTE DEL IÓN  $Ca^{2+}$  o  $Mg^{2+}$ . A VALORES MAYORES DE 10 ‰ DE SALINIDAD EL IÓN  $HCO_3^-$  FORMA PARES IÓNICOS EN LA SIGUIENTE SECUENCIA  $MgHCO_3^+$  o  $NaHCO_3^0 > CaHCO_3^+ > SrHCO_3^+$ , DEPENDIENDO DE LA CONCENTRACIÓN PRESENTE DEL IÓN  $Mg^{2+}$  o  $Na^+$  (TABLAS 53 A 61).

DIFERENTE A LA MAYORÍA DE LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES PRESENTES EN EL AGUA DE MAR Y EN EL AGUA DE RÍO, EL IÓN  $CO_3^{2-}$  SE ENCUEN



TRA EN UN PORCENTAJE BAJO EN FORMA LIBRE. A SALINIDADES ARRIBA DE 10 ‰ SE ESTIMÓ UN PORCENTAJE DE 22,47 A 31,58 DEL IÓN LIBRE  $\text{CO}_3^{2-}$  Y A SALINIDADES MENORES A 2 ‰ SE CALCULÓ UN PORCENTAJE DE 45,22 A 72,64 DEL IÓN LIBRE  $\text{CO}_3^{2-}$ .

EL IÓN CARBONATO FORMA PARES IÓNICOS CON LA MAYORÍA DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES EN EL AGUA DE MAR Y EN EL AGUA DE RÍO, EXCEPTO CON EL IÓN  $\text{K}^+$  (TABLAS 53 A 61). A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ LA SECUENCIA DE FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS SIGUE EL SIGUIENTE ORDEN:  $\text{MgCO}_3^0$  o  $\text{CaCO}_3^0 > \text{NaCO}_3^- > \text{SrCO}_3^0$  (TABLAS 56, 59 A 61). A SALINIDADES ARRIBA DE 10 ‰ EN ESTE TRABAJO SE PRESENTÓ EL SIGUIENTE ORDEN EN LA FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS,  $\text{MgCO}_3^0 > \text{NaCO}_3^- > \text{CaCO}_3^0 > \text{SrCO}_3^0$  (TABLAS: 53 A 55, 57 Y 58).

LOS RESULTADOS ESTIMADOS DE LA ESPECIACIÓN DEL IÓN  $\text{OH}^-$  DEMUESTRAN QUE A SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰ ES MUY BAJO EL PORCENTAJE DE IÓN LIBRE  $\text{OH}^-$  QUE SE ENCUENTRA. LOS VALORES OBTENIDOS SE ENCUENTRAN EN EL INTERVALO DE 32,19% A 50,75%. ESTOS DATOS SE APROXIMAN A LOS REPORTADOS POR MILLERO (99). A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ EL PORCENTAJE AUMENTA CONSIDERABLEMENTE DE 80,25 A 96,86. RESULTADOS PRÓXIMOS A LOS REPORTADOS POR MILLERO (102).

EL PRINCIPAL PAR IÓNICO QUE FORMA EL IÓN  $\text{OH}^-$  ES CON EL MAGNE

SIO ( $MgOH^+$ ). EN UN PORCENTAJE ALTO. SE ESTIMÓ UN VALOR MÁXIMO DE 63.07 A SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰ Y UN VALOR MÁXIMO DE 18.06% A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰. (TABLAS 53 A 61). LA SECUENCIA DE FORMACIÓN DE PARES IÓNICOS SEGUIDA A SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰ ES:  $MgOH^+ > NaOH^0 > CaOH^+ > SrOH^+$  Y A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰ ES:  $MgOH^+ > CaOH^+ > NaOH^0 > SrOH^+$  (TABLAS 53 A 61).

EN CONTRASTE CON EL IÓN  $OH^-$ , EL IÓN  $NO_3^-$  SE ENCUENTRA CASI EN SU TOTALIDAD COMO IÓN LIBRE TANTO EN AGUAS CON SALINIDADES MAYORES DE 10 ‰ Y A SALINIDADES MENORES DE 2 ‰. EL PORCENTAJE MÁXIMO CALCULADO DEL IÓN LIBRE  $NO_3^-$  FUE DE 99.94 Y EL MÍNIMO FUE DE 96.47. EL IÓN  $NO_3^-$  FORMA CON EL IÓN  $Na^+$  EL PRINCIPAL PAR IÓNICO ( $NaNO_3^0$ ); EN EL PRESENTE TRABAJO SE ESTIMÓ UN VALOR MÁXIMO DE 3.06 DEL PAR IÓNICO  $NaNO_3^0$  Y UN VALOR MÍNIMO DE 0.01%. EL ORDEN DE FORMACIÓN DE COMPLEJOS O PAR IÓNICO, SEGUIDO POR EL IÓN  $NO_3^-$  ES:  $Na^+ > K^+ > Ca^{2+} > Sr^{2+}$ , EN EL AGUA DE RÍO Y EL AGUA DE MAR (TABLAS 53 A 61).

DE TODOS LOS RESULTADOS MENCIONADOS ANTERIORMENTE SE PUEDE DECIR, QUE EL IÓN  $Na^+$ , EL IÓN  $K^+$  Y EL IÓN  $NO_3^-$  SE ENCUENTRAN CASI EN SU TOTALIDAD EN FORMA LIBRE EN AGUA CON SALINIDAD MENOR DE 2 ‰ Y MAYOR DE 10 ‰, INCLUYÉNDOSE TAMBIÉN PARA LA PRIMERA CONCENTRACIÓN AL IÓN  $H^+$ . DEBIDO A LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS HASTA LA FECHA, EL IÓN  $Cl^-$  Y  $Br^-$  SE CONSIDERA

RAN COMO 100% DISOCIADOS. EL IÓN  $\text{CO}_3^{2-}$  SE ENCUENTRA EN UN PORCENTAJE BAJO COMO IÓN LIBRE, EN AGUA CON SALINIDAD MENOR DE 2 ‰ Y MAYOR DE 10 ‰.

LOS RESULTADOS ESTIMADOS DE ESPECIACIÓN QUÍMICA REPORTADOS EN ESTE TRABAJO, SE ENCUENTRAN EN BUENA CONCORDANCIA CON LOS REPORTADOS PARA EL AGUA DE MAR (99; FIGURAS 9 Y 10) Y EL AGUA DE RÍO (102; FIGURAS 9 Y 10). ES NECESARIO ENFATIZAR QUE CUANDO SE EXAMINA LA ESPECIACIÓN DE LOS IONES EN EL AGUA DE MAR O DE RÍO USANDO EL MODELO DEL PAR IÓNICO, NO ES TOTALMENTE CIERTO QUE TODOS LOS COMPLEJOS EXISTAN.\*

---

\* CUANDO SE HACEN ESTIMACIONES TEÓRICAS COMO EN EL PRESENTE TRABAJO ES NECESARIA LA EVIDENCIA EXPERIMENTAL, ANTES DE QUE SE PUEDA ASEGURAR SI EXISTE O NO UN COMPLEJO O PAR IÓNICO DETERMINADO.

## 6. CONCLUSIONES

UNA VARIACIÓN BIEN DEFINIDA DE SALINIDAD ES OBSERVADA DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y SECAS EN LA ZONA DE MANDINGA. DE LOS DIVERSOS MÉTODOS USADOS PARA DETERMINAR ESTE PARÁMETRO, EL DE CONDUCTIVIDAD ES EL QUE MEJOR CONCUERDA CON LA SALINIDAD VERDADER ( $S(\text{‰})_T$ ).

EL ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA INDICA QUE EXISTE UNA CLARA INFLUENCIA DE LA TEMPORADA DE LLUVIAS EN EL ÁREA DE MANDINGA. LA PRESENCIA DE UNA CUÑA SALINA EN EL RÍO JAMAPA HACIA LA ÉPOCA DE SECAS, NECESITA DE POSTERIORES ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS PARA ENTENDER MEJOR ESTE HECHO.

FUE OBSERVADO UN AUMENTO EN LA DENSIDAD HACIA LA ÉPOCA DE SECAS PRINCIPALMENTE EN LA ZONA DE MEZCLA Y LAS LAGUNAS.

EXISTE UN CAMBIO APRECIABLE EN LA ESPECIACIÓN QUÍMICA HACIA LA ESTACIÓN DE LLUVIAS PRINCIPALMENTE EN LA ZONA DE MEZCLA.

SE DEMOSTRÓ QUE LOS MODELOS TEÓRICOS PROPUESTOS PARA EL AGUA DE MAR, EL AGUA DE RÍO Y LOS ESTUARIOS PUEDEN SER APLICADOS EN FORMA SATISFACTORIA A ESTOS SISTEMAS.

ES NECESARIO EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN, HIDRÓLISIS Y PRECIPITACIÓN QUE SE REALIZAN EN EL SISTEMA DE MANDINGA PARA ENTENDER MEJOR LOS PROCESOS QUÍMICOS, FÍSICOS, GEOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS QUE SE DESARROLLAN EN ESTOS SISTEMAS.

CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE PUEDE TENER UNA BASE CONFIABLE PARA CONTINUAR EL ESTUDIO MULTIDISCIPLINARIO, QUE PERMITA EL COMPLETO CONOCIMIENTO DE ESTA ZONA. CONOCIMIENTO QUE ES NECESARIO PARA OBTENER UN MEJOR APROVECHAMIENTO COMERCIAL Y TURÍSTICO. SIN QUE POR ÉSTO HAYA UN DETERIORO EN LA ECOLOGÍA DEL LUGAR.

## 7. AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A LA DIRECCIÓN DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA DE LA UNAM, POR EL APOYO RECIBIDO DURANTE LA ELABORACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

TAMBIÉN QUIERO HACER PATENTE MI AGRADECIMIENTO A LAS SIGUIENTES PERSONAS POR HABER ACEPTADO FORMAR PARTE DEL JURADO, ASÍ COMO POR SUS VALIOSAS OBSERVACIONES:

DR. INGVAR EMILSSON

DR. ARTEMIO GALLEGOS GARCÍA

DR. GERARDO GREEN

DR. LEONARDO LIZÁRRAGA PARTIDA

DR. LUIS SOTO GONZÁLEZ

DR. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO

AGRADEZCO AL M. EN C. HUGO FERNÁNDEZ P., SUS COMENTARIOS Y ORIENTACIÓN.

A LA Q. SARA SOTOLONGO, DE LA UNIVERSIDAD DE MIAMI POR EFECTUAR LAS MEDIDAS DE DENSIDAD, Y AL Q.F.B. HÉCTOR ALEXANDER POR REALIZAR ALGUNOS DE LOS ANÁLISIS DE SILICATOS Y NITRATOS.

8. LITERATURA CITADA

- 1 ALMGREN, T., DYRSSEN, D., ELGQUIST, B., AND JOHANSSON, O., 1976, MARINE CHEMISTRY, 4, 289.
- 2 ANDERSON, H. L., AND WOOD, R. H., 1974. IN FRANKS, F., ED., WATER, NEW YORK, PLENUM, P. 329.
- 3 ATKINSON, G., DAYHEFF, M. O., AND EBDON, D. W., 1973. COMPUTER MODELING OF INORGANIC EQUILIBRIA IN SEAWATER, IN BERKOWITZ, J. B., AND OTHERS, EDs., MARINE ELECTROCHEMISTRY, PRINCETON, N. J., THE ELECTROCHEM. SOC., P. 124.
- 4 ATLAS, E., CULBERSON, C., AND PYTKOWICZ, R. M., 1976. PHOSPHATE ASSOCIATION WITH  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  AND  $\text{Mg}^{2+}$  IN SEAWATER: MARINE CHEMISTRY, 4, 243.
- 5 BEN-YAAKOV, S., 1972. DIFFUSION OF SEAWATER IONS-I. DIFFUSION OF SEAWATER INTO A DILUTE SOLUTION: GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 36, 1395.
- 6 -----, AND PYTKOWICZ, R. M., 1973. INTERPRETATION OF pH IN CONCENTRATED ELECTROLYTE SOLUTIONS: MARINE CHEMISTRY, 1, 245.

- 7 BERNER, R. A., 1965. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 29, 947.
- 8 BEZDEK, H. F., 1973. JOUR. ACOUST. SOC. AM., 54, 1062.
- 9 BRADSTREET, R. D., 1944. THE STANDARDIZATION OF VOLUMETRIC SOLUTIONS, 2<sup>ND</sup> ED., CHEMICAL PUBLISHING CO., INC., NEW YORK.
- 10 BRECK, W. G., 1974. REDOX LEVELS IN THE SEA, IN GOLDBERG, E. D., ED., THE SEA, V. 5, NEW YORK, JOHN WILEY AND SONS, P. 153-179.
- 11 BREEMEN, N. VAN, 1973. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 37, 101.
- 12 BREWER, P., AND BRASHAW, A., 1975. JOUR. MARINE RESEARCH, 33, 205.
- 13 BYRNE, R. H. JR., AND KESTER, D. R., 1974. INORGANIC SPECIATION OF BORON IN SEAWATER: JOUR. MARINE RESEARCH, 32, 119.
- 14 -----, AND -----, 1976. MARINE CHEMISTRY, 4, 255.



- 15 -----, AND -----, 1976. MARINE CHEMISTRY,  
4, 275.
- 16 COX, R. A., CULKIN, F., AND RILEY, J. P., 1967. THE  
ELECTRICAL CONDUCTIVITY/CHLORINITY RELATIONSHIP IN NATURAL  
SEAWATER: DEEP-SEA RESEARCH, 14, 203.
- 17 CULBERSON, C., PYTKOWICZ, R. M., AND HAWLEY, J. E., 1970.  
SEAWATER ALKALINITY DETERMINATION BY THE pH METHOD: JOUR.  
MARINE RESEARCH, 28, 15.
- 18 -----, AND -----, 1973. IONIZATION OF WATER  
IN SEAWATER: MARINE CHEMISTRY, 1, 309.
- 19 -----, LATHAM, G., AND BATES, R. G., 1978. SOL-  
UBILITIES AND ACTIVITY COEFFICIENTS OF CALCIUM AND STRONTIUM  
SULFATES IN SYNTHETIC SEAWATER AT 0.5 AND 25 C: JOUR.  
PHYS. CHEMISTRY, 82, 2693.
- 20 CULKIN, F., 1965. THE MAJOR CONSTITUENTS OF SEAWATER, IN  
RILEY, J. P., AND SKIRROW, G., EDS., CHEMICAL OCEANOGRAPHY,  
V. 1, LONDON, ACADEMIC PRESS, P. 121.
- 21 -----, AND COX, R. A., 1966. SODIUM POTASSIUM, MAG-  
NESIUM, CALCIUM AND STRONTIUM IN SEAWATER: DEEP-SEA

RESEARCH, 13, 789.

- 22 DAVIES, C. W., 1962. ION ASSOCIATION, BUTTERWORTH, WASHINGTON, D. C.
- 23 DAVEY, E. W., GENTILS, J. H., AND EVANS, M. S., 1970. LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 15, 486.
- 24 -----, MORGAN, M. J., AND ERICKSON, S. J., 1973. LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 18, 993.
- 25 DEGENS, E. T., VEN HERZEN, R. P., AND WONG, H-K., 1971. NATURWISSEN, 58, 229.
- 26 DICKSON, A. G., AND RILEY, J. P., 1979. THE ESTIMATION OF ACID DISSOCIATION CONSTANTS IN SEAWATER MEDIA FROM POTENTIOMETRIC TITRATIONS WITH STRONG BASE. I. THE IONIC PRODUCT OF WATER  $K_w$ : MARINE CHEMISTRY, 7, 89.
- 27 DISTECHE, A. AND DISTECHE, S., 1967. ELECTROCHEM. SOC. JOUR., 114, 330.
- 28 DUEDALL, I. W., 1972. THE PARTIAL MOLAL VOLUME OF CALCIUM IN SEAWATER: GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 36, 729.

- 29 DUER, W. C., LEUNG, W. H., OGLESBY, G. B., AND MILLERO, F. J., 1976. SEAWATER-A TEST FOR MULTICOMPONENT ELECTROLYTE SOLUTION THEORIES. II. ENTHALPY OF MIXING AND DILUTION OF THE MAJOR SEA SALTS: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 5, 509.
- 30 DYRSSEN, D., AND HANSSON, I., 1973. IONIC MEDIUM EFFECTS IN SEAWATER A COMPARISON OF ACIDITY CONSTANTS OF CARBONIC ACID AND BORIC ACID IN SODIUM CHLORIDE AND SYNTHETIC SEAWATER: MARINE CHEMISTRY, 1, 137.
- 31 -----, AND WELDBORG, M., 1974. EQUILIBRIUM CALCULATIONS OF THE SPECIATION OF ELEMENTS IN SEAWATER, IN GOLDBERG, E. D., ED., THE SEA, V. 5, NEW YORK, WILEY INTERSCIENCE, P. 181-195.
- 32 -----, 1978. ANAL. CHIM. ACTA, 100, 23.
- 33 EDMON, J. M., 1970. HIGH PRECISION DETERMINATION OF TITRATION ALKALINITY AND TOTAL CARBON DIOXIDE CONTENT OF SEAWATER BY POTENTIOMETRIC TITRATION: DEEP-SEA RESEARCH, 17, 737.
- 34 ELGQUIST, B., AND WEDBORG, M., 1974. MARINE CHEMISTRY, 2, 1.

- 35 -----, AND -----, 1975. STABILITY OF ION PAIRS FROM GYPSUM SOLUBILITY DEGREE OF ION FORMATION BETWEEN THE MAJOR CONSTITUENTS OF SEAWATER: MARINE CHEMISTRY, 3, 215.
- 36 -----, AND -----, 1978. STABILITY CONSTANTS OF  $\text{NaSO}_4^-$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgF}^+$ ,  $\text{MgCl}^+$  ION PAIRS AT THE IONIC STRENGTH OF SEAWATER BY POTENTIOMETRY: MARINE CHEMISTRY, 6, 243.
- 37 EMERY, K. O., AND STEVENSON, R. E., 1957. ESTUARIES AND LAGOONS. GEOL. SOC. AMERICA, MEMOIR 67, 1, 673.
- 38 EMMET, R. T., AND MILLERO, F. J., 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.
- 39 FERNÁNDEZ, H. P., VÁZQUEZ, F. G., AND MILLERO, F. J., 1982. THE DENSITY AND COMPOSITION OF HYPERSALINE WATERS OF A MEXICAN LAGOON: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 27, 315.
- 40 FISHER, F. H., 1962. THE EFFECT OF PRESSURE IN THE EQUILIBRIUM OF MAGNESIUM SULFATE: JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 66, 1607.

- 41 FISHER, F. H., 1965. ULTRASONIC ABSORPTION IN  $MgSO_4$  SOLUTIONS AS A FUNCTION OF PRESSURE AND DIELECTRIC CONSTANT: JOUR. ACOUST. SOC. AM., 38, 805.
- 42 -----, 1967. ION PAIRING OF MAGNESIUM SULFATE IN SEAWATER, DETERMINED BY ULTRASONIC ABSORPTION: SCIENCE, 157, 823.
- 43 FLASCHKA, H., AND GAUCHOFF, J., 1961. PHOTOMETRIC TITRATIONS-III. THE CONSECUTIVE TITRATION OF CALCIUM AND MAGNESIUM: TALANTA, 8, 720.
- 44 FRIEDMAN, H. L., 1960. MAYER'S IONIC SOLUTION THEORY APPLIED TO ELECTROLYTE MIXTURES: JOUR. CHEM. PHYS., 32, 1134.
- 45 GARCÍA, A. E., 1964. MODIFICACIONES AL SISTEMA CLIMÁTICO DE KOPPEN (PARA ADAPTARLO A LAS CONDICIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA), LARIOS, S. A., MÉXICO, D. F.
- 46 GARRELS, R. M., THOMPSON, M. E., AND SIEVER, R., 1961. CONTROL OF CARBONATE SOLUBILITY BY CARBONATE COMPLEXES: AM. JOUR. SCI., 259, 24.
- 47 ----- AND -----, 1962. A CHEMICAL MODEL FOR SEAWATER AT 25°C AND ONE ATMOSPHERE TOTAL PRESSURE:

- AM. JOUR. SCI., 260, 57.
- 48 GOLDBERG, E. D., AND ARRHENIUS, G. O. S., 1958. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 13, 153.
- 49 GOLDHABER, M. B., AND KAPLAN, I. R., 1975. MARINE CHEMISTRY, 3, 83.
- 50 GORDON, J. E., AND THORNE, R. L., 1967. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 31, 2433.
- 51 GRAN, G., 1952. DETERMINATION OF THE EQUIVALENCENCE POINT IN POTENTIOMETRIC TITRATION, PART II: ANALYST, 77, 661.
- 52 GUGGENHEIM, E. A., 1935. THERMODYNAMIC PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF STRONG ELECTROLYTES: PHIL. MAG., 19, 588.
- 53 HANOR, J. S., 1969. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 33, 894.
- 54 HARNED, H. S., AND OWEN, B. B., 1958. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF ELECTROLYT SOLUTIONS, (AM. CHEM. SOC. MON. SER., NO. 137): NEW YORK, REINHOLD, 803 P.

- 55 -----, AND ROBINSON, R. S., 1968. MULTICOMPONENT ELECTROLYTE SOLUTIONS, PERGAMON, OXFORD.
- 56 HAWLEY, J. E., AND PYTKOWICZ, R. M., 1973. INTERPRETATION OF pH MEASUREMENTS IN CONCENTRATED ELECTROLYTE SOLUTIONS: MARINE CHEMISTRY, 1, 245.
- 57 HORNE, R. A., 1965. THE PHYSICAL CHEMISTRY AND STRUCTURE OF SEAWATER: WATER RESOUR. RESEARCH, 1, 263.
- 58 -----, 1969. MARINE CHEMISTRY, NEW YORK, WILEY-INTERSCIENCE, 568 P.
- 59 JAGNER, D., 1970. THE DETERMINATION OF SULFATE IN SEAWATER BY MEANS OF PHOTOMETRIC TITRATION WITH HYDROCHLORIC ACID IN DIMETHYL SULFOXIDE: ANAL. CHEMISTRY, 52, 483.
- 60 JOHANSSON, O., AND WEDBORG, M., 1979. STABILITY CONSTANTS OF PHOSPHORIC ACID IN SEAWATER OF 5-40% SALINITY AND TEMPERATURES OF 5-25°C: MARINE CHEMISTRY, 8, 57.
- 61 KELL, G. S., 1975. DENSITY THERMAL EXPANSIBILITY AND COMPRESSIBILITY OF LIQUID WATER FROM 0 TO 150°C: CORRECTIONS AND TABLES FOR ATMOSPHERIC PRESSURE AND SATURATION REVIEWED AND EXPRESSED ON 1968 TEMPERATURE SCALE:

JOUR. CHEM. ENG. DATA, 20, 97.

- 62 KESTER, D. R., AND PYTKOWICZ, R. M., 1967. DETERMINATION OF THE APPARENT DISSOCIATION CONSTANTS OF PHOSPHORIC ACID IN SEAWATER: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 12, 243.
- 63 ----- AND -----, 1968. MAGNESIUM SULFATE ASSOCIATION AT 25°C IN SYNTHETIC SEAWATER: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 13, 670.
- 64 ----- AND -----, 1969. SODIUM, MAGNESIUM AND CALCIUM SULFATE ION PAIRS IN SEAWATER AT 25°C: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 14, 686.
- 65 -----, 1972. LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 17, 959.
- 66 -----, AND BYRNE, R. H. JR., 1972. CHEMICAL FORMS OF IRON IN SEAWATER, IN HORN, D. R., ED., FERROMANGANESE DEPOSITS ON THE OCEAN FLOOR, NEW YORK, LAMONT-DENERTY GEOL. OBSERV. COLUMBIA UNIV. P. 107-116.
- 67 -----, -----, AND LIANG, Y. J., 1975. IN CHURCH, T. M., ED., MARINE CHEMISTRY IN THE COASTAL ENVIRONMENT, AM. CHEM. SOC. SYMPOSIUM SER. 18, P. 56.



- 68 -----, O'CONNOR, T. P., AND BYRNE, R. H. JR.,  
1975. THALASSIA JUGOSLAVICA, 11, 121.
- 69 -----, AND PYTKOWICZ, R. M., 1975. MARINE  
CHEMISTRY, 3, 365.
- 70 KHOO, K. H., CULBERSON, C. H., AND BATES, R. G., 1977.  
THERMODYNAMICS OF THE DISSOCIATION, OF AMMONIUM ION IN  
SEAWATER FROM 5 TO 40°C: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 6, 281.
- 71 -----, RANETTE, R. N., CULBERSON, C. H., AND BATES,  
R. G., 1977. DETERMINATION OF HYDROGEN ION CONCENTRATION  
IN SEAWATER FROM 5 TO 45°C: STANDARD POTENTIALS AT  
SALINITIES FROM 20 TO 45 ‰: ANAL. CHEMISTRY, 49, 29.
- 72 LAFON, G. M., 1970. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 34,  
935.
- 73 LANKFORD, R. R., 1977. COASTAL LAGOONS OF MEXICO-THEIR  
ORIGIN AND CLASSIFICATION, IN WILEY, M., ED., ESTUARINE  
PROCESSES, V. 2, ACADEMIC.
- 74 LEPPLE, F. K., AND MILLERO, F. J., 1971. THE ISOTHERMAL  
COMPRESSIBILITY OF SEAWATER NEAR ONE ATMOSPHERE: DEEP-  
SEA RESEARCH, 18, 1233.

- 75 LEUNG, W. H., AND MILLERO, F. J., 1975. THE ENTHALPY OF DILUTION OF SOME 1-1 AND 2-1 ELECTROLYTES IN AQUEOUS SOLUTIONS: JOUR. CHEM. THERMODYN., 7, 1067.
- 76 LEWIS, G. N., AND RANDALL, M., 1961. THERMODYNAMICS: NEW YORK, MCGRAW-HILL, 2<sup>ND</sup> ED., (REVISED BY PITZER, K. S., AND BREWER, L.).
- 77 LEYENDEKKERS, J. V., 1973. THE CHEMICAL POTENTIAL OF SEA-WATER COMPONENTS: MARINE CHEMISTRY, 1, 75.
- 78 LIEBERMANN, L. M., 1949. PHYS. REV., 76, 1520.
- 79 LIVINGSTONE, D. A., 1963. CHEMICAL COMPOSITION OF RIVERS AND LAKES, IN FLEISHER, M., ED., DATA OF GEOCHEMISTRY, 6<sup>TH</sup> ED., U. S. GEOL. SURVEY, PROF. PAPER, U. S. GOVT. PRINTING OFFICE WASHINGTON, D. C., P. 61.
- 80 LO SURDO, A., ALZOLA, E. M., AND MILLERO, F. J., 1982. THE (P, V, T) PROPERTIES OF CONCENTRATED AQUEOUS ELECTROLYTES. I. DENSITIES AND APPARENT MOLAR VOLUMES OF NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub> AND MgSO<sub>4</sub> SOLUTIONS FROM 0.1 mol.kg<sup>-1</sup> TO SATURATION AND FROM 273.15 TO 323.15 K: JOUR. CHEM. THERMODYN., 14, 649.

- 81 LONG, D. T., AND ANGINO, E. E., 1977. CHEMICAL SPECIATION OF Cd, Cu, Pb AND Zn IN MIXED FRESHWATER, SEAWATER AND BRINE SOLUTIONS: GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 41, 1183.
- 82 LONG, F. A., AND McDEVIT, W. F., 1952. ACTIVITY COEFFICIENTS OF NONELECTROLYTE SOLUTES IN AQUEOUS SALT SOLUTIONS: CHEM. REV., 51, 119.
- 83 LEWENTHAL, D. H., PILSON, M. E. Q., AND BYRNE, R. H., 1977. JOUR. MARINE RESEARCH, 35, 653.
- 84 LIMAN, J., AND FLEMING, R. H., 1940. COMPOSITION OF SEAWATER: JOUR. MARINE RESEARCH, 3, 134.
- 85 MALIJKOVIC, D., AND BRANICA, M., 1971. POLAROGRAPHY OF SEAWATER. II. COMPLEX FORMATION OF CADMIUM WITH EDTA: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 15, 956.
- 86 MASTERTON, W. L., AND LEE, T. P., 1970. SALTING COEFFICIENTS FROM SCALED-PARTICLE THEORY: JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 74, 1776.
- 87 -----, 1975. SALTING COEFFICIENTS FOR GASES IN SEAWATER FROM SCALED-PARTICLE THEORY: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 4, 523.

- 88 MILLER, G. R., AND KESTER, D. R., 1976. SODIUM FLUORIDE ION-PAIRS IN SEAWATER: MARINE CHEMISTRY, 4, 67.
- 89 MILLERO, F. J., 1969. THE PARTIAL MOLAL VOLUMES OF IONS IN SEAWATER: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 14, 376.
- 90 -----, 1971. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF MULTI-COMPONENT SALT SOLUTIONS. IN ELDEN, H. R., ED., BIOPHYSICAL PROPERTIES OF THE SKIN, NEW YORK, JOHN WILEY AND SONS, P. 329.
- 91 -----, 1971. THE MOLAL VOLUMES OF ELECTROLYTES: CHEM. REV., 71, 147.
- 92 -----, AND BERNER, R. A., 1972. EFFECT OF PRESSURE ON CARBONATE EQUILIBRIA IN SEAWATER: GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 36, 92.
- 93 -----, 1973. THEORETICAL ESTIMATES OF THE ISOTHERMAL COMPRESSIBILITY OF SEAWATER: DEEP-SEA RESEARCH, 20, 101.
- 94 -----, 1973. SEAWATER A TEST FOR MULTICOMPONENT ELECTROLYTE SOLUTION THEORIES. I. THE APPARENT EQUIVALENT VOLUME EXPANSIBILITY AND COMPRESSIBILITY OF ARTIFICIAL

SEAWATER: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 2, 1.

- 95 -----, AND LEPPLE, F. K., 1973. THE DENSITY AND EXPANSIBILITY OF ARTIFICIAL SEAWATER SOLUTION FROM 0 TO 40°C AND 0 TO 21 ‰. CHLORINITY: MARINE CHEMISTRY, 1, 89.
- 96 -----, HANSEN, L. D., AND HOFF, E. V., 1973. THE ENTHALPY OF SEAWATER FROM 0 TO 30°C AND FROM 0 TO 40 ‰. SALINITY: JOUR. MARINE RESEARCH, 31, 21.
- 97 -----, PERRON, G., AND DESNOYERS, J. E., 1973. THE HEAT CAPACITY OF SEAWATER SOLUTIONS FROM 5 TO 35°C AND 0.5 TO 22 ‰. CHLORINITY: JOUR. GEOPHYS. RESEARCH, 78, 4499.
- 98 -----, 1974. SEAWATER AS A MULTICOMPONENT ELECTROLYTE SOLUTION, IN GOLDBERG, E. D., ED., THE SEA, V. 5, NEW YORK, JOHN WILEY AND SONS, P. 3-80.
- 99 -----, 1974. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF SEAWATER: ANN. REV. EARTH AND PLANETARY SCI., 2, 101.
- 100 -----, 1974. THE PHYSICAL CHEMISTRY AND STRUCTURE OF SEAWATER, IN LUCK, W., ED., STRUCTURE OF WATER AND

AQUEOUS SOLUTIONS, VERLAG CHEMIE, WEINHEIM, BERGSTR.,  
P. 513-522.

- 101 -----, 1974. EQUATION OF STATE OF SEAWATER:  
NAVAL RESEARCH REV., 27, 40.
- 102 -----, 1975. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF  
ESTUARIES, IN CURCH, T. W., ED., MARINE CHEMISTRY IN  
THE COASTAL ENVIRONMENT, SYMP. SER. 18, ACS, WASHINGTON,  
D. C., P. 25.
- 103 -----, 1975. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF NATURAL  
WATERS, IN MARK, H., AND MATTSON, J., EDS., WATER QUALITY,  
NEW YORK, MARCEL DEKKER.
- 104 -----, LAWSON, D., AND GONZALEZ, A., 1976. THE  
DENSITY OF ARTIFICIAL RIVER AND ESTUARINE WATERS: JOUR.  
GEOPHYS. RESEARCH, 81, 1177.
- 105 -----, 1976. THE EFFECT OF PRESSURE ON THE  
SOLUBILITY OF CALCITE IN SEAWATER AT 25°C: GEOCHIM. ET  
COSMOCHIM. ACTA, 40, 983.
- 106 -----, GONZALEZ, A., AND WARD, G. K., 1976.  
THE DENSITY OF SEAWATER SOLUTIONS AT ONE ATMOSPHERE AS A

FUNCTION OF TEMPERATURE AND SALINITY: JOUR. MARINE RESEARCH, 34, 61.

- 107 -----, AND LEUNG, W. H., 1976. THE THERMODYNAMICS OF SEAWATER AT ONE ATMOSPHERE: AM. JOUR. SCI., 276, 1035.
- 108 -----, 1976. THERMODYNAMIC PROPERTIES OF SEAWATER, IN HORNE, R. A., ED., THE OCEANUS HANDBOOK, NEW YORK, DEKKER.
- 109 -----, 1977. THERMODYNAMIC MODELS FOR THE STATE OF METAL IONS IN SEAWATER, IN GOLDBERG, E. D., ED., THE SEA V. 6, NEW YORK, JOHN WILEY AND SONS, P. 653-693.
- 110 -----, 1977. THE USE OF THE SPECIFIC INTERACTION MODEL TO ESTIMATE THE PARTIAL MOLAL VOLUMES OF ELECTROLYTES IN SEAWATER: GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 41, 215.
- 111 -----, WARD, G. K., AND CHETIRKIN, P. V., 1977. RELATIVE SOUND VELOCITIES OF SEA SALTS AT 25° C: JOUR. ACOUST. SOC. AM., 61, 1492.
- 112 -----, 1978. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF BALTIC

SEA WATERS: THALASSIA JUGOSLAVICA, 14, 1.

- 113 -----, LO SURDO, A., CHETIRKIN, P. V., AND GUINASSE, N. L., 1979. THE DENSITY AND SPEED OF SOUND OF ORCA BASIN WATERS: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 24, 218.
- 114 -----, 1979. CHEMICAL SPECIATION OF IONIC COMPONENTS IN ESTUARINE SYSTEMS. ABSTRACT. WORKSHOP-RIVER INPUTS TO OCEAN SYSTEMS (RIOS), ROME, ITALY, MARCH.
- 115 -----, AND CHETIRKIN, P. V., 1980. THE DENSITY OF CASPIAN SEA WATERS: DEEP-SEA RESEARCH, 27, 265.
- 116 MOREL, F., AND MORGAN, J., 1972. A NUMERICAL METHOD FOR COMPUTING EQUILIBRIA IN AQUEOUS CHEMICAL SYSTEMS: ENVIRON. SCI. AND TECH., 6, 58.
- 117 -----, McDUFF, R. E., AND MORGAN, J., 1976. MARINE CHEMISTRY, 4, 1.
- 118 MORRIS, A. W., AND RILEY, J. P., 1963. THE DETERMINATION OF NITRATE IN SEAWATER: ANALYTICA CHEM. ACTA, 29, 272.
- 119 -----, AND -----, 1964. THE DIRECT GRAVIMETRIC DETERMINATION OF THE SALINITY OF SEAWATER: DEEP-SEA



- RESEARCH, 11, 899.
- 120 -----, AND -----, 1966. THE BROMIDE/  
CHLORINITY AND SULFATE/CHLORINITY RATIO IN SEAWATER:  
DEEP-SEA RESEARCH, 13, 699.
- 121 MORTON, S. D., AND LEE, G. F., 1968. JOUR. CHEM. ED.,  
45, 511.
- 122 MULLIN, J. B., AND RILEY, J. P., 1955. THE COLORIMETRIC  
DETERMINATION OF SILICATE WITH SPECIAL REFERENCE TO SEA  
AND NATURAL WATERS: ANALYTICA CHEM. ACTA, 12, 162.
- 123 O'CONNOR, T. P., AND KESTER, D. R., 1975. GEOCHIM. ET  
COSMOCHIM. ACTA, 39, 1531.
- 124 PERKINS, E. J., 1974. THE BIOLOGY OF ESTUARIES AND  
COASTAL WATERS, LONDON, ACADEMIC PRES INC., 678 P.
- 125 PICKER, P., TREMBLAY, E., AND JOLICOEUR, C., 1974. A  
HIGH-PRECISION DIGITAL READOUT FLOW DENSIMETER FOR LIQ-  
UIDS: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 3, 377.
- 126 PITZER, K. S., 1973. THERMODYNAMICS OF ELECTROLYTES. I.  
THEORETICAL BASIS AND GENERAL EQUATIONS: JOUR. PHYS.

CHEMISTRY, 77, 268.

- 127 -----, AND MAYORGA, G., 1973. THERMODYNAMICS OF ELECTROLYTES. II. ACTIVITY AND OSMOTIC COEFFICIENT FOR STRONG ELECTROLYTES WITH ONE OR BOTH IONES UNIVALENTS: JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 77, 2300.
- 128 -----, 1974. THERMODYNAMICS OF ELECTROLYTES. III. ACTIVITY AND OSMOTIC COEFFICIENTS FOR 2-2 ELECTROLYTES: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 3, 539.
- 129 -----, AND KIM, J. J., 1974. THERMODYNAMICS OF ELECTROLYTES. IV. ACTIVITY AND OSMOTIC COEFFICIENTS FOR MIXED ELECTROLYTES: AM. CHEM. SOC. JOUR., 96, 5701.
- 130 -----, ROY, R. N., AND SILVESTER, L. F., 1977. THERMODYNAMICS OF ELECTROLYTES. 8. SULFURIC ACID: AM. CHEM. SOC. JOUR., 99, 4930.
- 131 -----, AND PEIPER, J. C., 1980. THE ACTIVITY COEFFICIENTS OF AQUEOUS  $\text{NaHCO}_3$ : JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 84, 2396.
- 132 PRITCHARD, D. W., 1967. ESTUARIES, A.A.A.S. PUB. 83, WASHINGTON, D. C., P. 3.

- 133 PYTKOWICZ, R. M., DUEDALL, I. W., AND CONNORS, D. N.,  
1966. SCIENCE, 152, 640.
- 134 -----, AND KESTER, D. R., 1967. LIMNOLOGY  
OCEANOGRAPHY, 12, 714.
- 135 -----, AND BATES, R., 1968. SCIENCE, 161,  
690.
- 136 -----, 1968. OCEANOGR. MAR. BIOL. ANN. REV.,  
6, 83.
- 137 -----, AND KESTER, D. R., 1969. HARNED'S  
RULE BEHAVIOR OF  $\text{NaCl-Na}_2\text{SO}_4$  SOLUTIONS EXPLAINED BY AN  
ION ASSOCIATION MODEL: AM. JOUR. SCI., 267, 217.
- 138 -----, AND -----, 1971. THE PHYSICAL  
CHEMISTRY OF SEAWATER: OCEANOGR. MAR. BIOL. ANN. REV.,  
9, 11.
- 139 -----, AND HAWLEY, J. E., 1974. BICARBONATE  
AND CRABONATE ION PAIRS AND A MODEL OF SEAWATER AT 25°C:  
LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 19, 223.
- 140 -----, 1975. ACTIVITY COEFFICIENTS OF BICAR-

- BONATES IN SEAWATER: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 20, 971.
- 141 -----, AND ATLAS, E., 1975. LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 20, 222.
- 142 REILLY, P. J., AND WOOD, R. H., 1969. JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 73, 4292.
- 143 -----, -----, AND ROBINSON, R. A., 1971. THE PREDICTION OF OSMOTIC AND ACTIVITY COEFFICIENTS IN MIXED ELECTROLYTE SOLUTIONS: JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 75, 1305.
- 144 RILEY, J. P., AND CHESTER, R., 1971. IN INTRODUCTION TO MARINE CHEMISTRY: NEW YORK, ACADEMIC, 465 P.
- 145 ROBINSON, R. A., AND STOKES, R. H., 1959. ELECTROLYTE SOLUTIONS, LONDON, BUTTERWORTHS, 571 P.
- 146 -----, WOOD, R. H., AND REILLY, P. J., 1971. JOUR. CHEM. THERMODYN., 3, 461.
- 147 -----, AND -----, 1972. CALCULATIONS OF THE OSMOTIC AND ACTIVITY COEFFICIENTS OF SEAWATER AT 25°C: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 1, 481.

- 148 SCATCHARD, G., 1968. AMER. CHEM. SOC. JOUR., 90, 3124.
- 149 -----, 1969. AMER. CHEM. SOC. JOUR., 91, 2410.
- 150 SILLEN, L. G., 1961. THE PHYSICAL CHEMISTRY OF SEAWATER, IN SEARS, M., ED., OCEANOGRAPHY, AM. ASSOC. ADVAN. SCI. PUBL. NO. 67, WASHINGTON, D. C., P. 549.
- 151 SKIRROW, G., 1975. IN RILEY, J. P., AND SKIRROW, G., EDs., CHEMICAL OCEANOGRAPHY, V. 2, 2<sup>ND</sup> ED., LONDON, ACADEMIC PRESS.
- 152 STUMM, W., AND MORGAN, J. J., 1970. AQUATIC CHEMISTRY, AN INTRODUCTION EMPHASIZING CHEMICAL EQUILIBRIA IN NATURAL WATERS, NEW YORK, WILEY-INTERSCIENCE, 583 P.
- 153 -----, AND BRAUNER, P. A., 1975. CHEMICAL SPECIATIONS, IN RILEY, J. P., AND SKIRROW, R., EDs., CHEMICAL OCEANOGRAPHY, V. 1, 2<sup>ND</sup> ED., LONDON, ACADEMIC PRESS.
- 154 STUMAN-NIELSON, S., AND WINN-ANDERSON, S., 1970. MARINE BIOLOGY, 6, 93.
- 155 SUTTON, C., AND CALDER, J. A., 1974. ENVIRON. SCI. AND TECH., 8, 654.

- 156 -----, 1975. JOUR. CHEM. ENG. DATA, 20, 320.
- 157 -----, EGANHOUSE, R. P., AND CALDER, J. A., 1976. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 40, 555.
- 158 TANJI, K. K., 1969. ENVIRON. SCI. AND TECH., 3, 656.
- 159 VÁZQUEZ, F., LUNA, M., MARTÍNEZ D., RAMOS, F., Y FERNÁNDEZ, H. ESTUDIO DE ALGUNOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS DE MANDINGA, VER., MÉX., EN PREPARACIÓN.
- 160 -----, ORDÓÑEZ, M., PERALTA, A. Y MILLERO, F. J. LA FÍSICOQUÍMICA DEL LAGO DE ZEMPOALA, EN PREPARACIÓN.
- 161 -----, ALEXANDER, H., MILLERO, F. J. Y FERNÁNDEZ, H. LA DENSIDAD EN AGUA DE MAR EVAPORADA, EN PREPARACIÓN.
- 162 WANGERSKY, P. J., 1972. LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 17, 1.
- 163 WARD, G. K., AND MILLERO, F. J., 1974. MOLAL VOLUMES OF AQUEOUS BORIC ACID-SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS: JOUR. SOLN. CHEMISTRY, 3, 431.

- 164 -----, AND -----, 1975. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 39, 1595.
- 165 WATSON, M. W., WOOD, R. H., AND MILLERO, F. J., 1975. THE ACTIVITY OF TRACE METALS IN ARTIFICIAL SEAWATER AT 25°C, IN CURCH, T. M., ED., MARINE CHEMISTRY IN THE COASTAL ENVIRONMENT, CHAPTER 6, ACS SYMP. SER. 18, WASHINGTON, D. C., P. 112.
- 166 WU, Y. C., RUSH, R. M., AND SCATCHARD, G., 1968. JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 72, 4048.
- 167 WHITFIELD, M., 1973. MARINE CHEMISTRY, 1, 251.
- 168 -----, 1973. JOUR. MAR. BIOL. SOC., 53, 685.
- 169 -----, 1974. DEEP-SEA RESEARCH, 21, 57.
- 170 -----, 1974. JOUR. MAR. BIOL. SOC. U. K., 54, 565.
- 171 -----, 1974. LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 19, 235.
- 172 -----, 1974. SEAWATER AS AN ELECTROLYTE SOLUTION, IN RILEY, J. P., AND SKIRROW, G., EDS. CHEMICAL

OCEANOGRAPHY, V. 1, NEW YORK, ACADEMIC PRESS.

- 173 -----, 1975. THE EXTENSION OF CHEMICAL MODELS FOR SEAWATER TO INCLUDE TRACE COMPONENTS AT 25°C AND 1 ATM PRESSURE: GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 39, 1545.
- 174 -----, 1975. AN IMPROVED SPECIFIC INTERACTION MODEL FOR SEAWATER AT 25°C AND 1 ATMOSPHERE TOTAL PRESSURE: MARINE CHEMISTRY, 3, 197.
- 175 WIGLEY, T. M. L., 1971. ION PAIRING AND WATER QUALITY MEASUREMENTS: CANADIAN JOUR. EARTH SCI., 8, 468.
- 176 WILSON, D. E., 1978. AN EQUILIBRIUM MODEL DESCRIBING THE INFLUENCE OF HUMIC MATERIALS ON THE SPECIATION OF  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , AND  $\text{Mn}^{2+}$  IN FRESH WATERS: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 23, 499.
- 177 WOOD, R. H., AND ANDERSON, H. L., 1966. HEATS OF MIXING OF AQUEOUS ELECTROLYTES III. A TEST OF THE GENERAL EQUATIONS WITH QUARTERNARY MIXTURES: JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 70, 1877.
- 178 -----, AND REILLY, P. J., 1970. ELECTROLYTES: ANN. REV. PHYS. CHEMISTRY, 21, 287.



- 179 YOUNG, T. F., 1951. RECENT DEVELOPMENTS IN THE STUDY OF INTERACTIONS BETWEEN MOLECULES AND IONS, AND OF EQUILIBRIUM IN SOLUTIONS: REC. CHEMICAL PROG., 12, 81.
- 180 -----, AND SMITH, M. B., 1954. THERMODYNAMIC PROPERTIES OF MIXTURES OF ELECTROLYTES IN AQUEOUS SOLUTIONS: JOUR. PHYS. CHEMISTRY, 58, 716.
- 181 ZIRINO, A., AND HEALY, M. L., 1970. INORGANIC ZINC COMPLEXES IN SEAWATER: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 15, 956.
- 182 -----, 1971. VOLTAMETRIC MEASUREMENT OF ZINC IN THE NORTH EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 16, 773.
- 183 -----, AND YAMAMOTO, S., 1972. A pH DEPENDENT MODEL FOR THE CHEMICAL SPECIATION OF COPPER, ZINC, CADMIUM AND LEAD IN SEAWATER: LIMNOLOGY OCEANOGRAPHY, 17, 661.

## 9. TITULOS DE LAS FIGURAS

- FIGURA 1 LA CONJUNCIÓN DE LA FISICOQUÍMICA Y LA QUÍMICA MARINA EN EL DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 2 MODELOS PARA LAS INTERACCIONES IÓN-IÓN
- FIGURA 3 LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR.
- FIGURA 4 LA ESPECIACIÓN DE LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES DEL AGUA DE MAR.
- FIGURA 5 LOS IONES MÁS ABUNDANTES DE DIVERSOS RÍOS
- FIGURA 6 LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES EN UN RÍO, UN LAGO, UNA LAGUNA Y EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 7 UNA COMPARACIÓN DE LOS COMPONENTES MÁS ABUNDANTES DE UN RÍO, UN LAGO, UNA LAGUNA Y EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 8 UNA COMPARACIÓN DE LOS CONSTITUYENTES MÁS ABUNDAN-

TES DE UN RÍO, EL AGUA DE MAR, EL LAGO DE ZEMPOA-  
LA Y EL MAR BÁLTICO.

- FIGURA 9 LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES EN UN LAGO, UN RÍO Y EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 10 LA ESPECIACIÓN DE LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES EN UN LAGO, UN RÍO Y EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 11 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO
- FIGURA 12 UNA COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES DE LA LAGUNA DE MANDINGA, EL MAR CASPIO, LA LAGUNA DE APOZAHUALCO Y EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 13 UNA COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES EN LA LAGUNA DE MANDINGA, EL MAR CASPIO, LA LAGUNA DE APOZAHUALCO Y EL AGUA DE MAR.
- FIGURA 14 y 15 UNA COMPARACIÓN DE LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES PRESENTES DE LA ZONA DE MEZCLA, EL AGUA DE MAR Y EN EL AGUA DE RÍO.

FIGURA 16 LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS CATIONES MÁS ABUNDANTES EN DIFERENTES RÍOS Y EL AGUA DE MAR.

FIGURA 17 LA FRACCIÓN EQUIVALENTE DE LOS ANIONES MÁS ABUNDANTES EN DIFERENTES RÍOS Y EL AGUA DE MAR.

FIGURAS 18 LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES DE LA LAGUNA DE MANDINGA, EN TRES PERÍODOS.  
19 Y 20

FIGURAS 21 LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES DE LA ZONA DE MEZCLA, EN TRES PERÍODOS.  
22 Y 23

FIGURAS 24 LA ESPECIACIÓN DE LOS CATIONES Y ANIONES MÁS ABUNDANTES DE EL RÍO JAMAPA, EN TRES PERÍODOS.  
25 Y 26

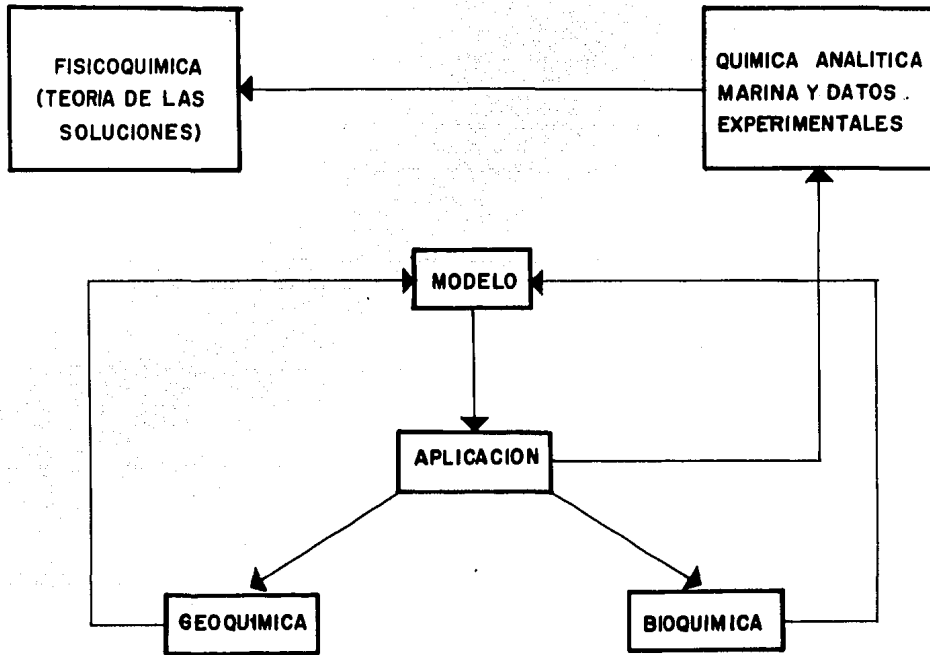
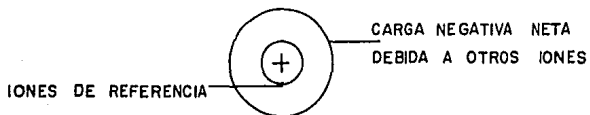
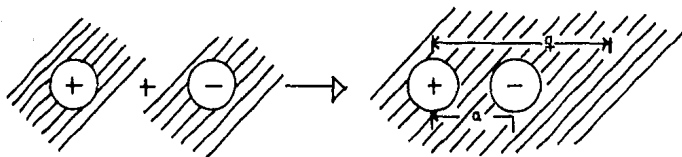


FIG. 1

# DEBYE - HÜCKEL



# BJERRUM



# CLUSTER

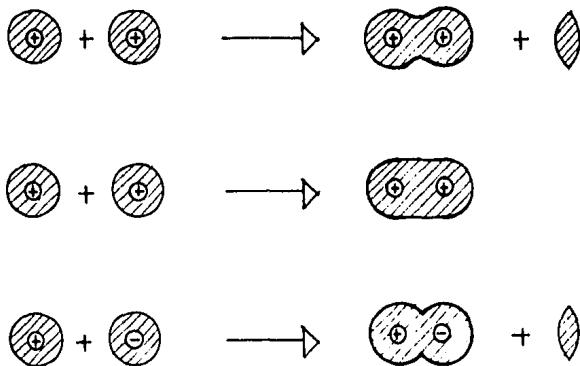


FIG. 2

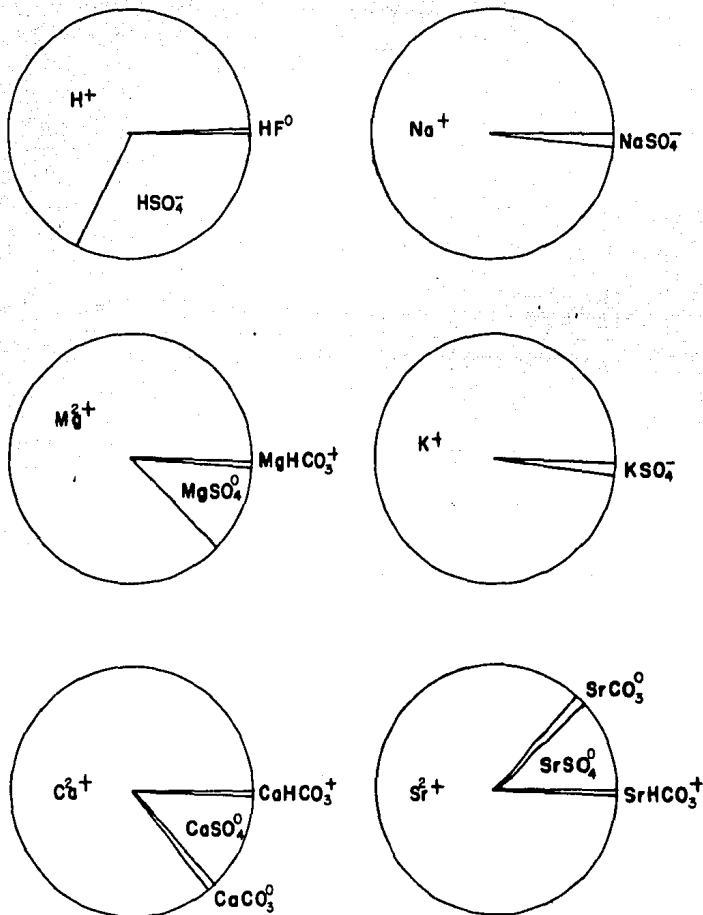


FIG. 3

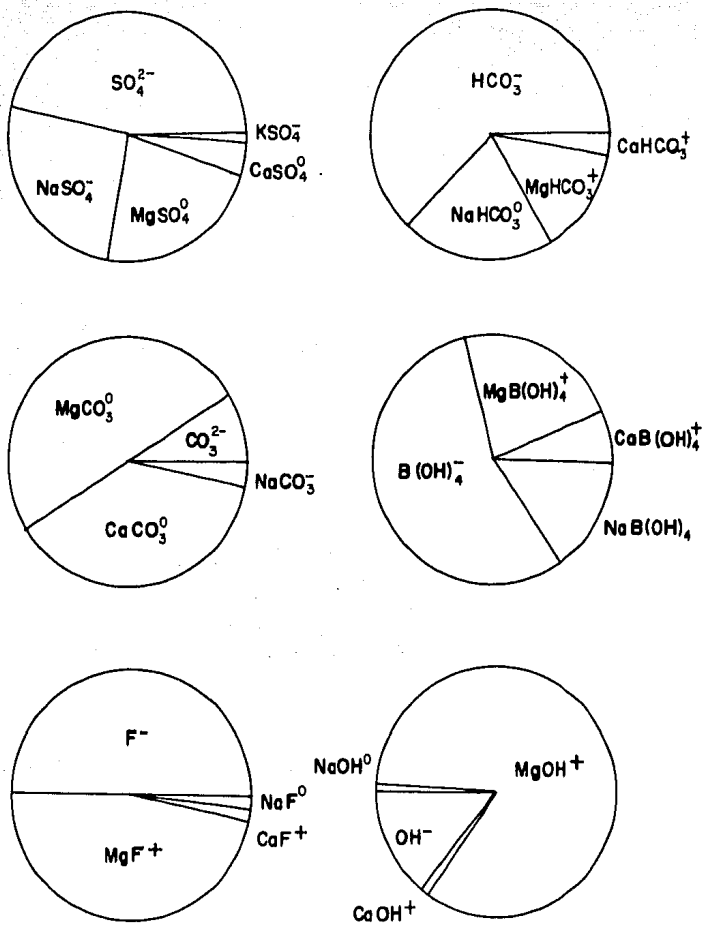
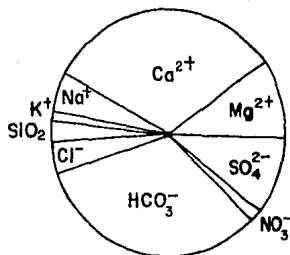


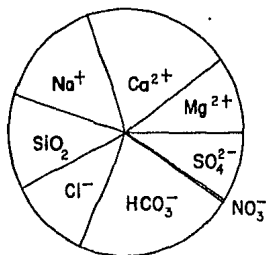
FIG. 4



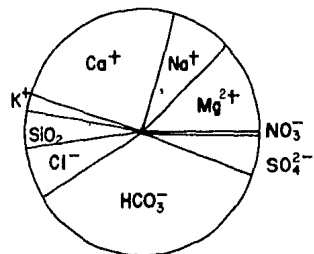
### EUROPA



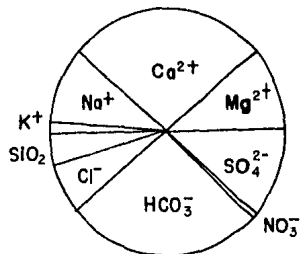
### AFRICA



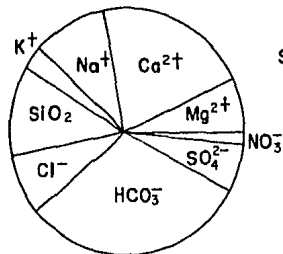
### ASIA



### AMERICA DEL NORTE



### AMERICA DEL SUR



### AUSTRALIA

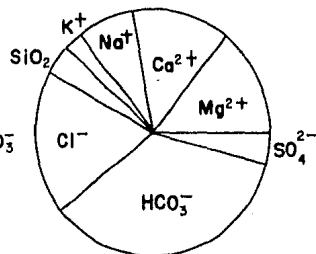


FIG. 5

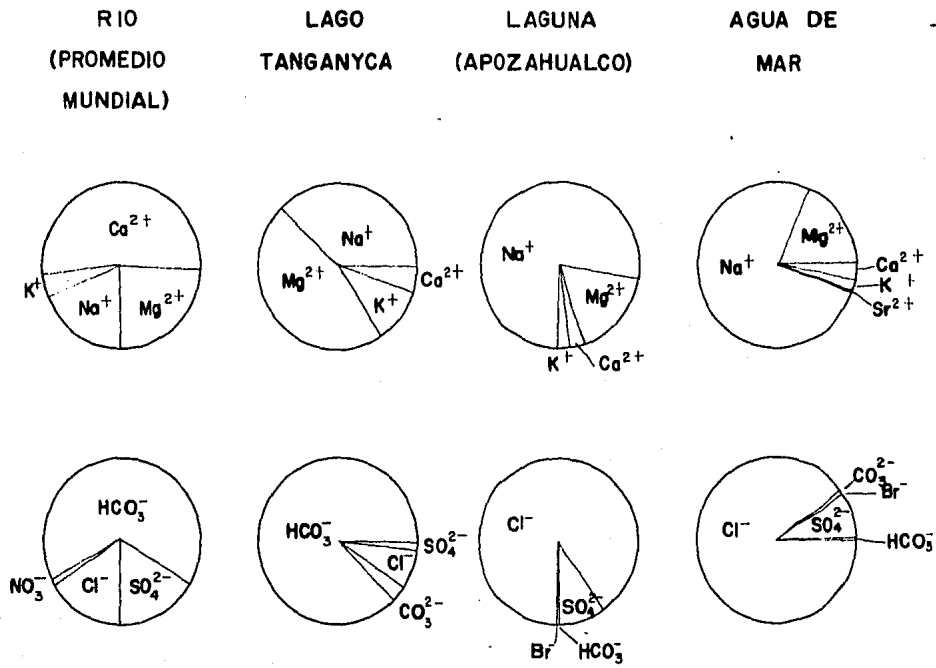
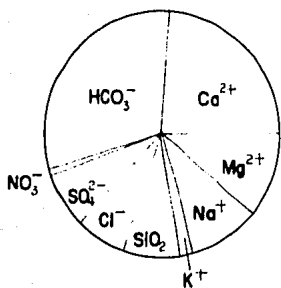
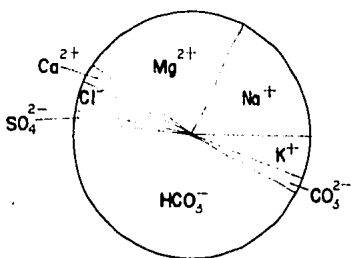


FIG. 6

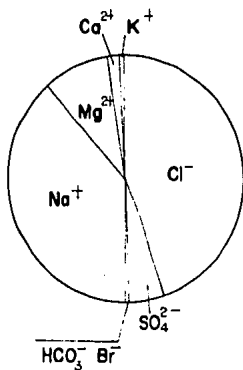
**RIO**  
(PROMEDIO MUNDIAL)



**LAGO**  
(TANGANYIKA)



**LAGUNA**  
(APOZAHUALCO)



**AGUA DE MAR**

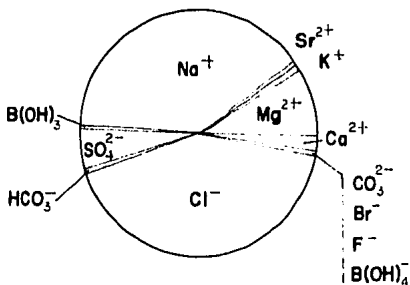
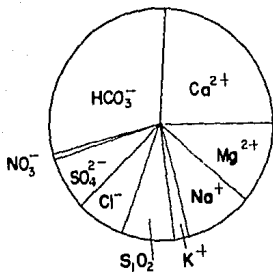
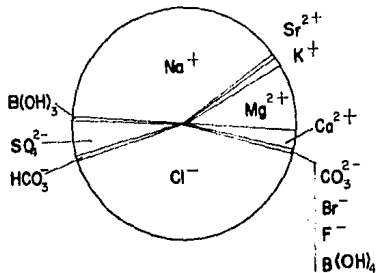


FIG. 7

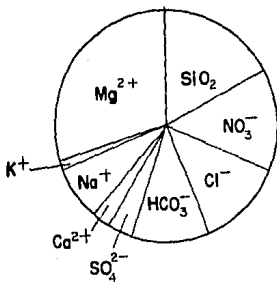
**RIO**  
(PROMEDIO MUNDIAL)



**AGUA DE MAR**



**LAGO**  
(ZEMPOALA)



**MAR BALTICO**

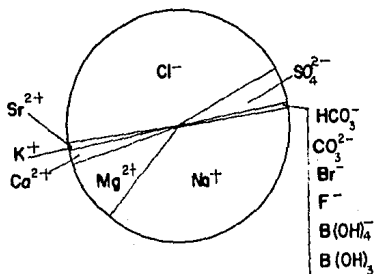


FIG. 8

LAGO  
(TANGANYICA)

RIOS

AGUA DE  
MAR

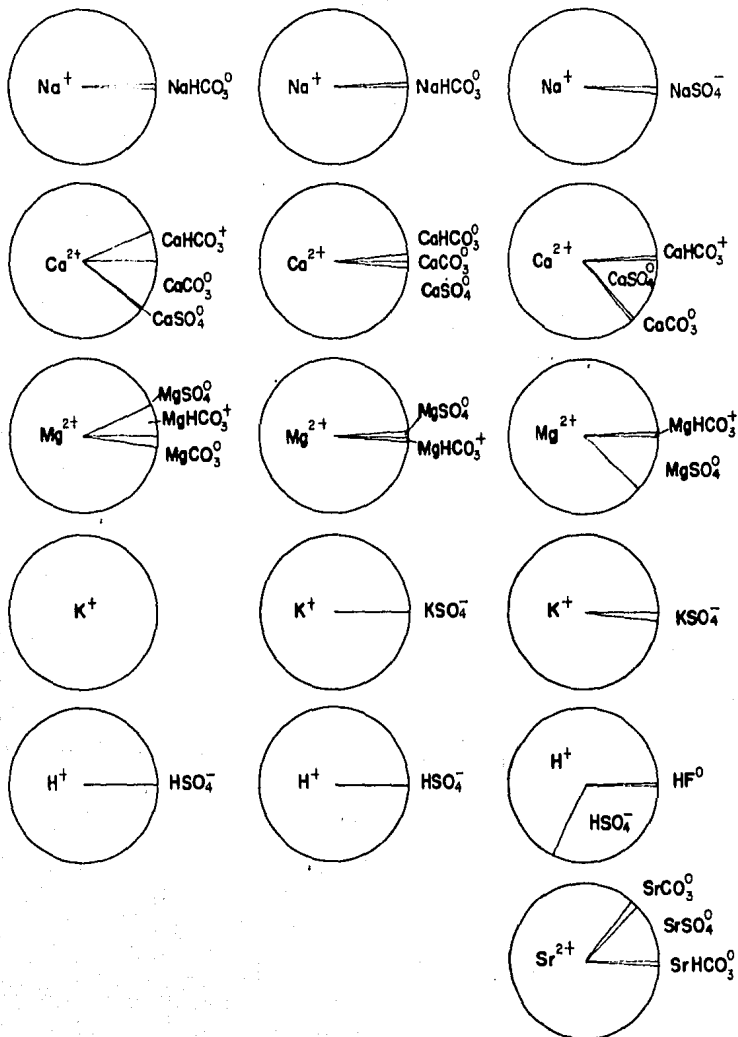
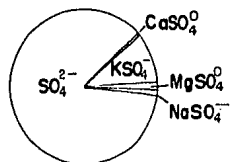
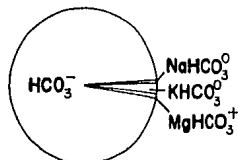
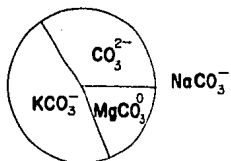
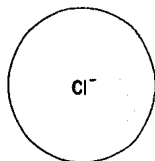
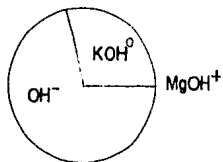
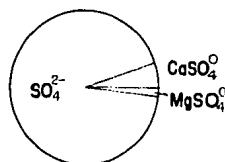
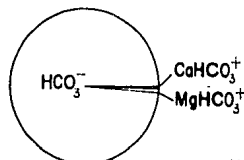
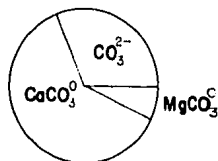
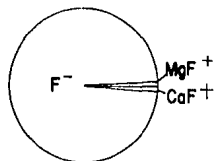
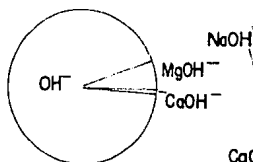


FIG. 9

LAGO  
(TANGANYICA)



RIOS



AGUA DE  
MAR

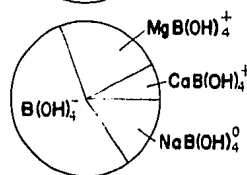
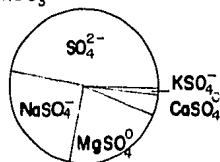
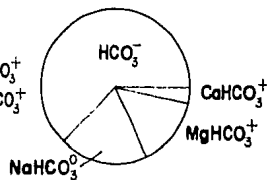
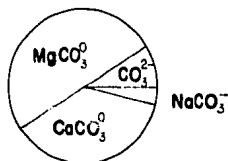
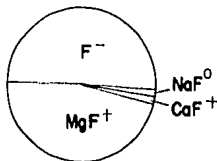
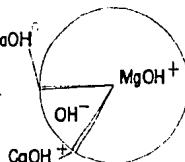


FIG.10

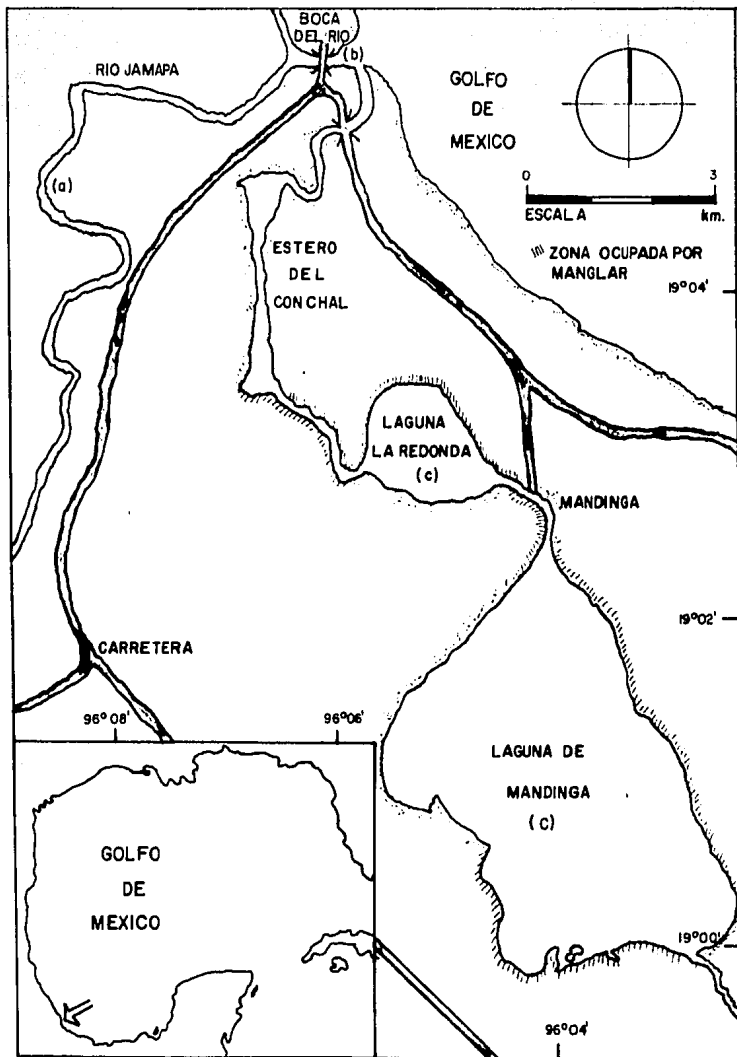


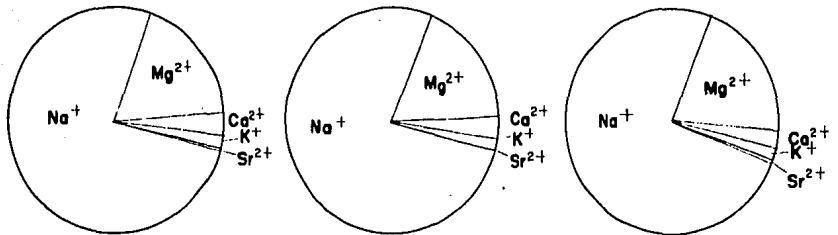
FIG.11

# LAGUNA DE MANDINGA

JUNIO

OCTUBRE

MARZO



MAR CASPIO

LAGUNA DE APOZAHUALCO

AGUA DE MAR

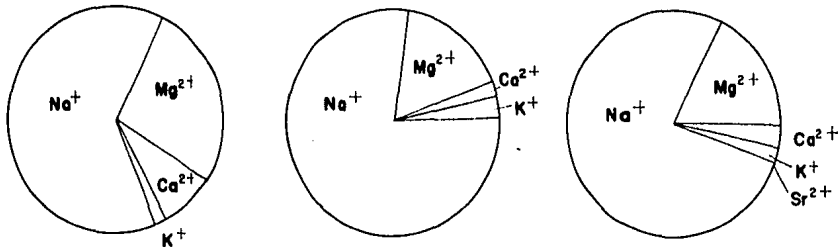
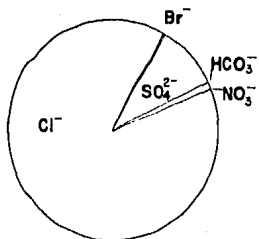


FIG. 12

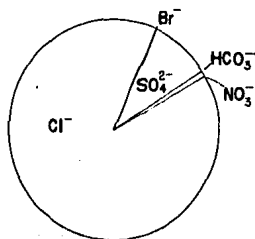


# LAGUNA DE MANDINGA

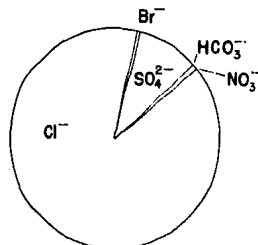
JUNIO



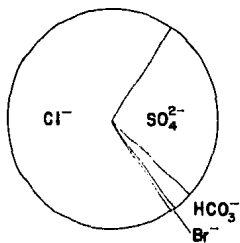
OCTUBRE



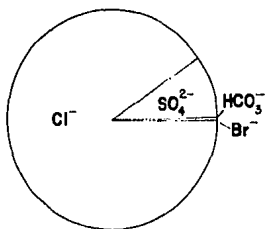
MARZO



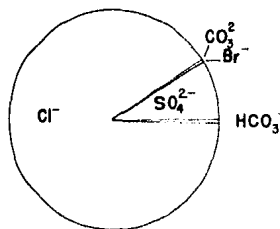
MAR CASPIO



LAGUNA DE APOZAHUALCO



AGUA DE MAR



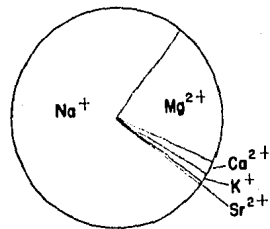
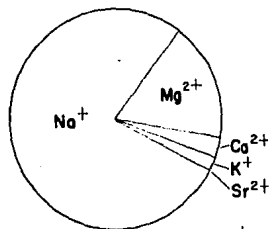
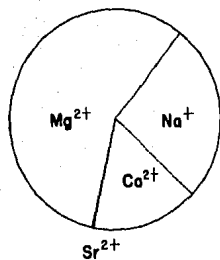
FIG,13

# ZONA DE MEZCLA

JUNIO

OCTUBRE

MARZO



RIO  
(PROMEDIO MUNDIAL)

RIO BALTICO

AGUA DE MAR

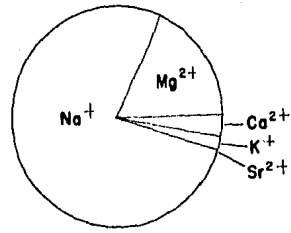
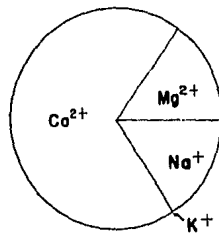
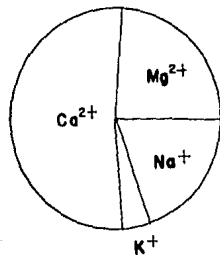


FIG. 14

# ZONA DE MEZCLA

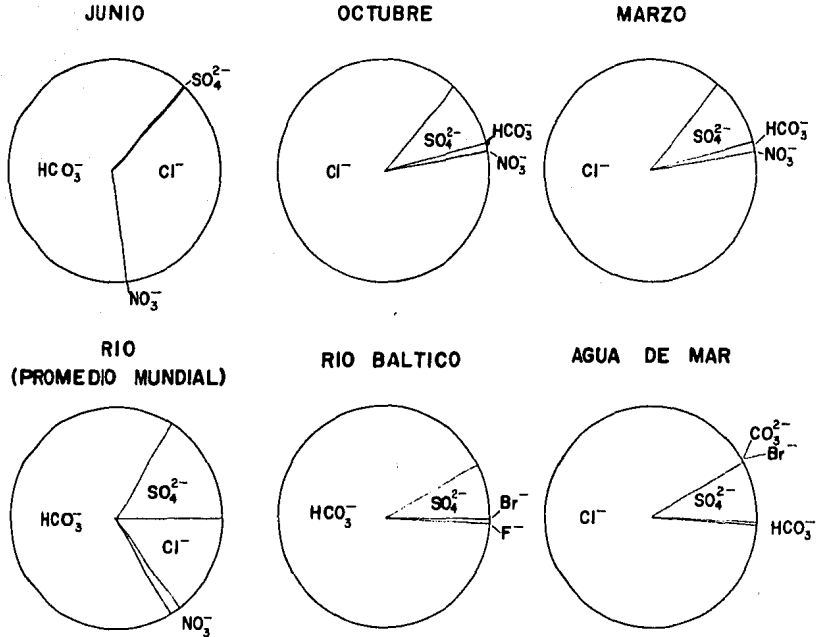


FIG. 15

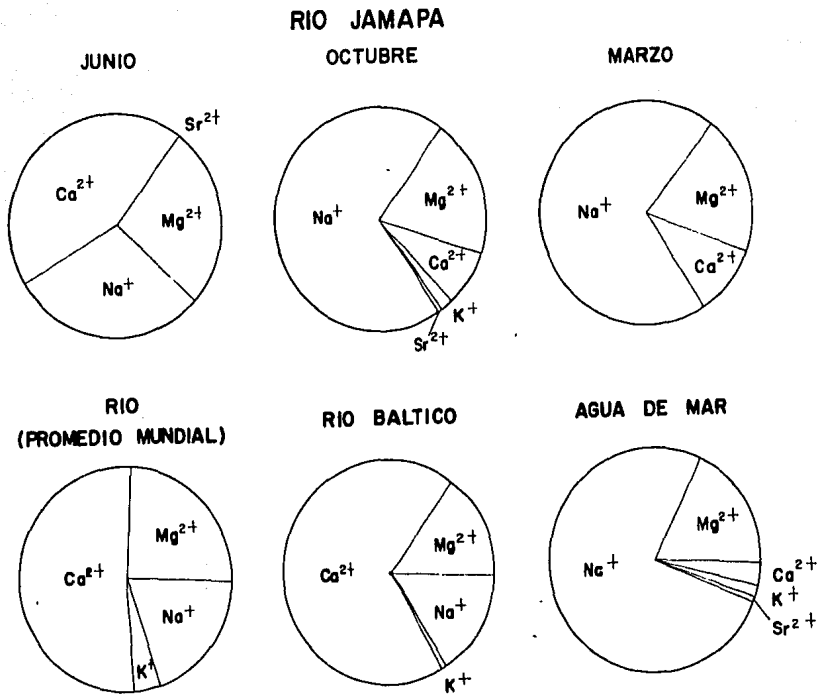
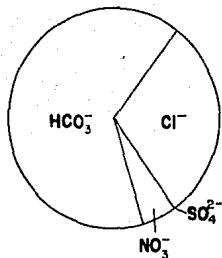


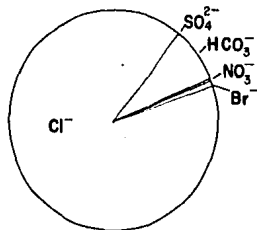
FIG. 16

# RIO JAMAPA

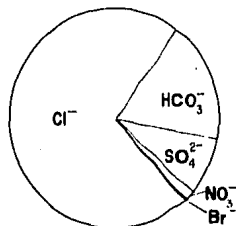
JUNIO



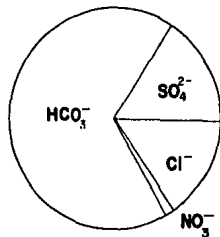
OCTUBRE



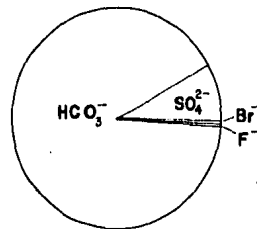
MARZO



RIO  
(PROMEDIO MUNDIAL)



RIO BALTICO



AGUA DE MAR

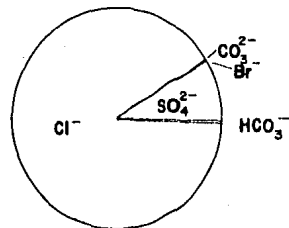
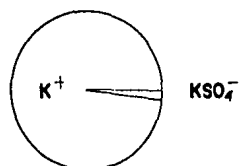
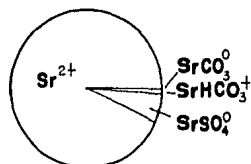
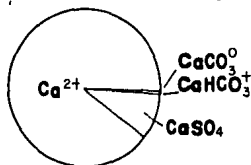
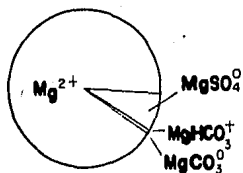
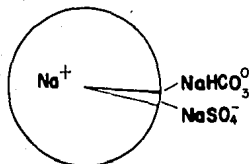
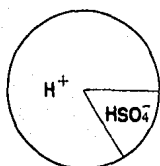


FIG. 17

CATIONES



ANIONES

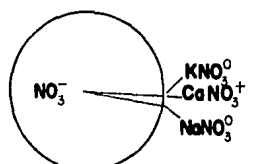
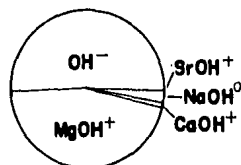
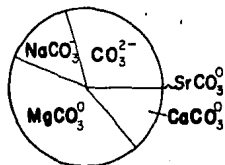
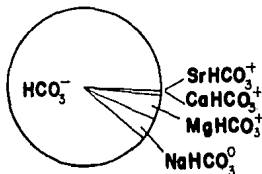
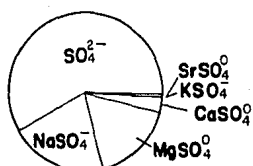


FIG.18

CATIONES

ANIONES

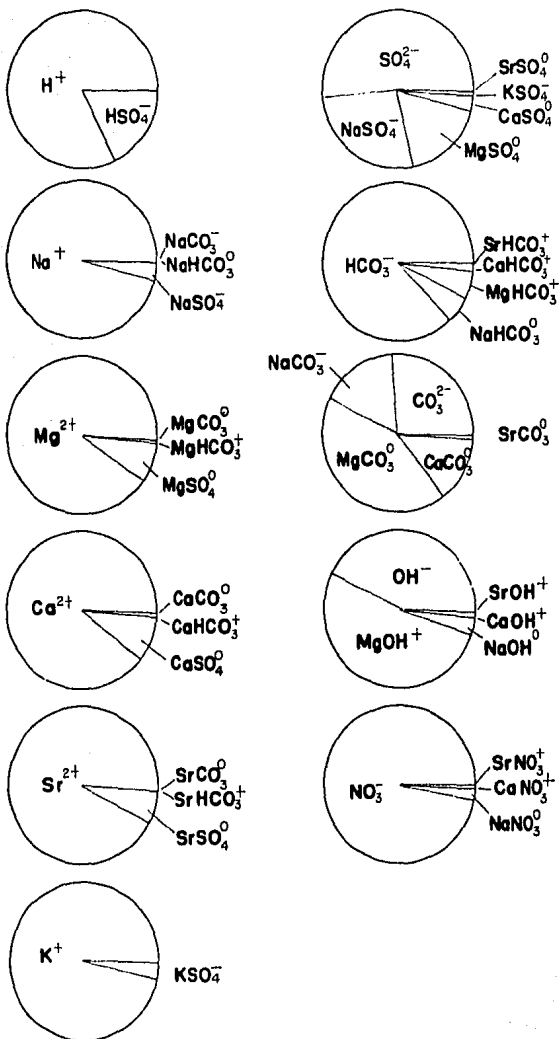
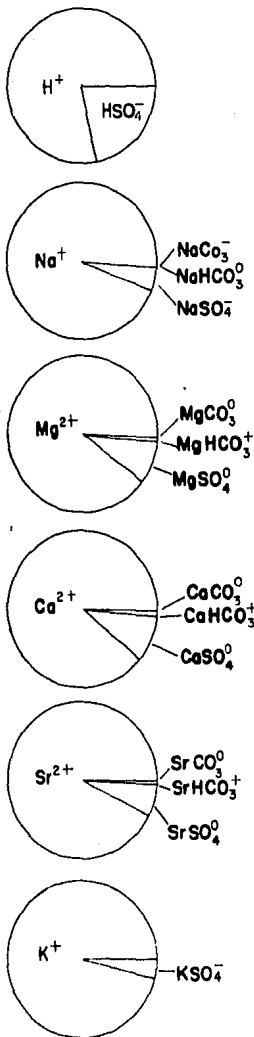


FIG. 19

CATIONES



ANIONES

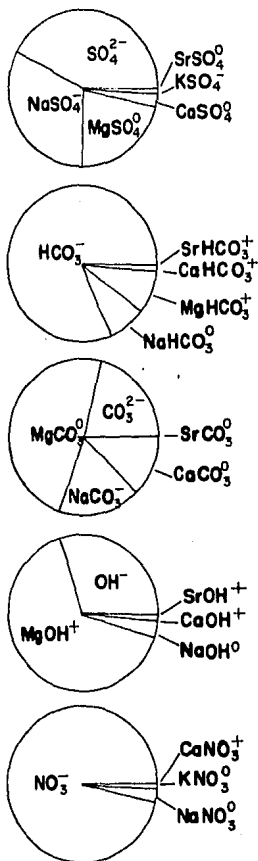
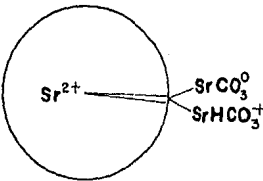
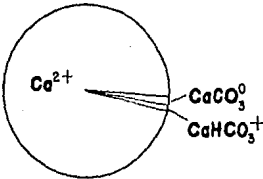
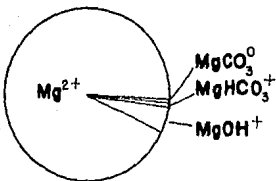
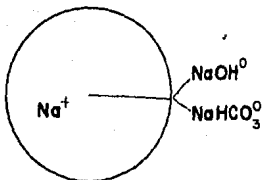
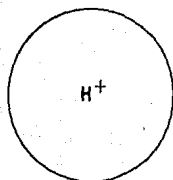


FIG.20



CATIONES



ANIONES

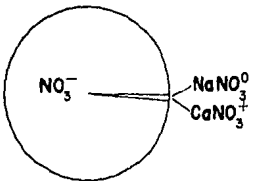
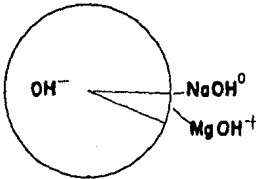
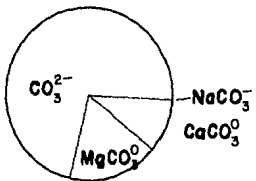
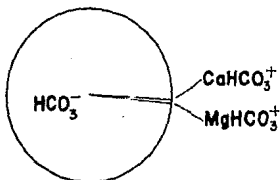
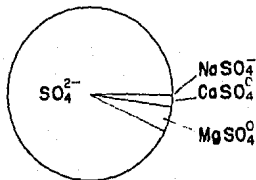


FIG. 21

CATIONES

ANIONES

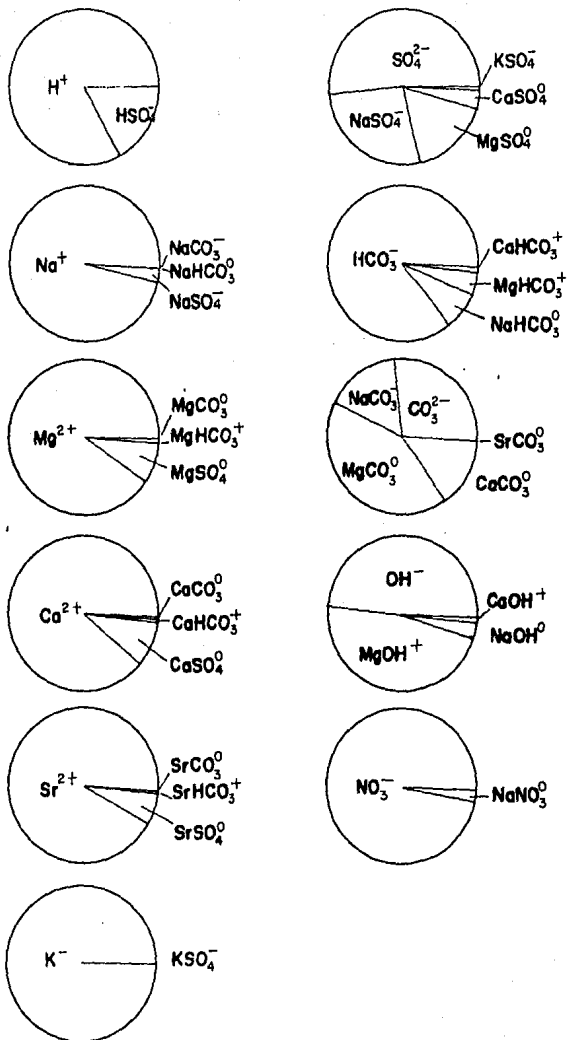
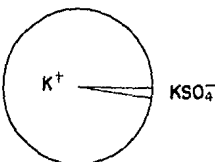
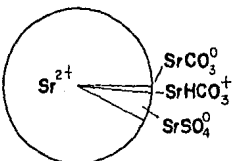
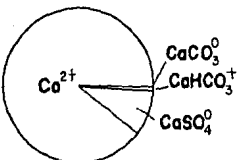
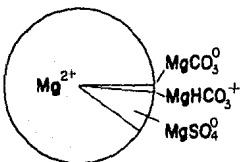
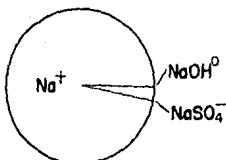
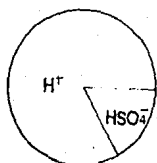


FIG. 22

CATIONES



ANIONES

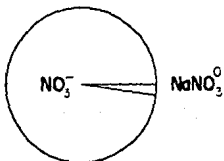
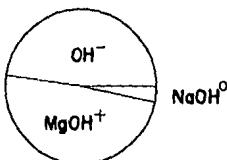
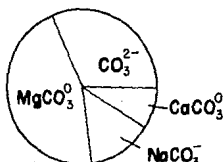
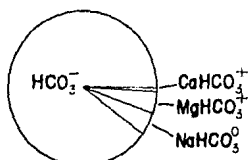
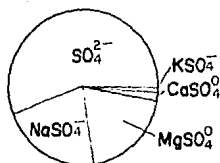
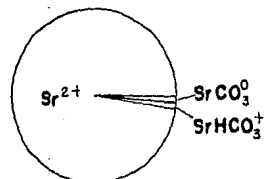
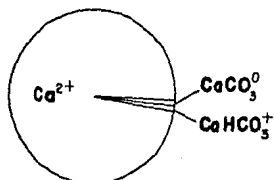
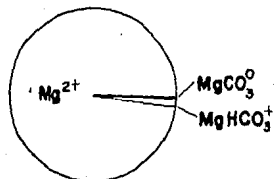
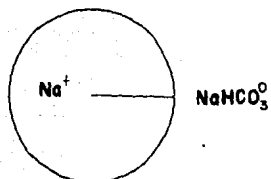
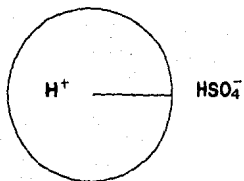


FIG. 23

CATIONES



ANIONES

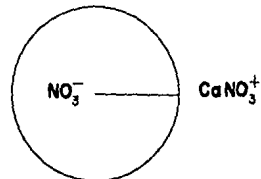
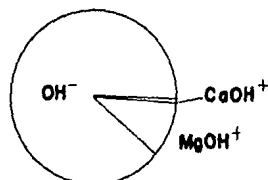
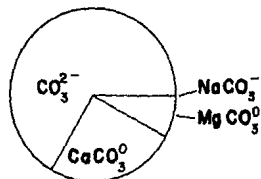
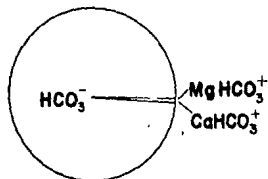
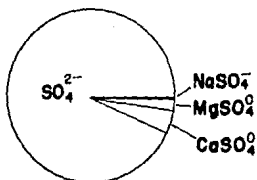
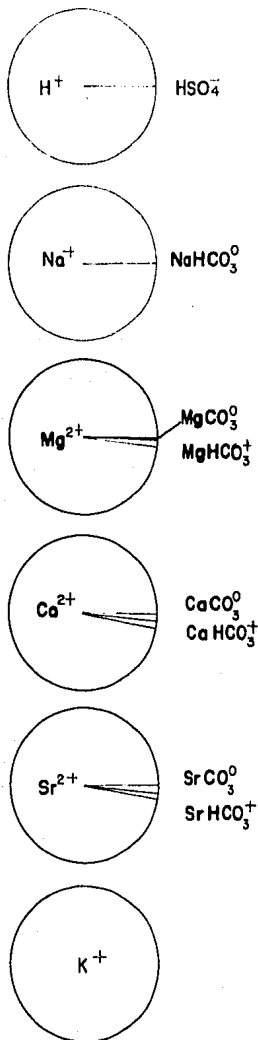


FIG. 24

CATIONES



ANIONES

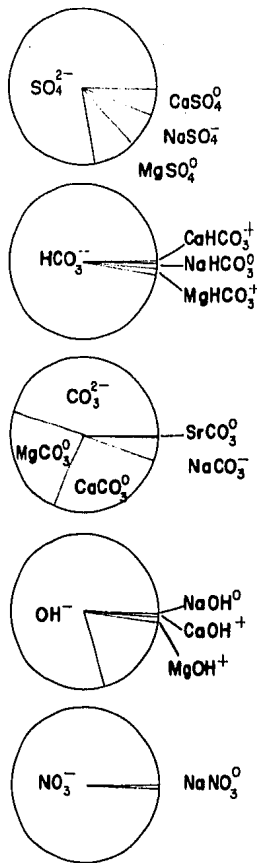
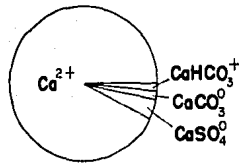
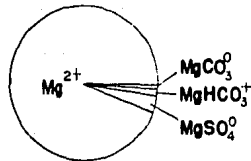
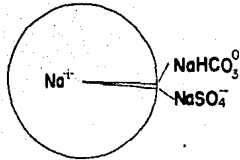
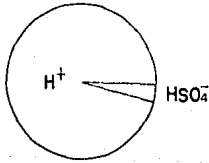


FIG. 25

CATIONES



ANIONES

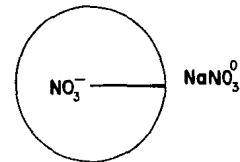
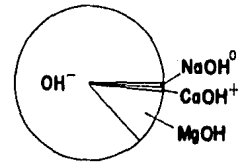
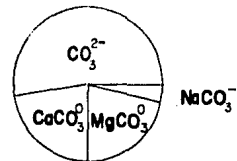
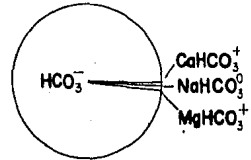
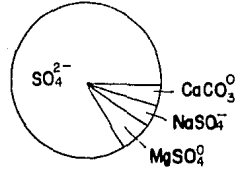


FIG.26