

19  
26j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DEL SISTEMA DEL DIOXIDO  
DE CARBONO EN LA LAGUNA DE  
TERMINOS, CAMPECHE,  
DURANTE LAS DIFERENTES  
ESTACIONES DEL AÑO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO  
PRESENTA  
HILDA DORANTES VELAZQUEZ



MEXICO, D. F.

EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## CONTENIDO

- INTRODUCCION
- GENERALIDADES
- DESCRIPCION DE; EL AREA DE ESTUDIO
- PARTE TEORICA
- PARTE EXPERIMENTAL:
  - a) Técnica de muestreo
  - b) Desarrollo analítico
- RESULTADOS
  - (Tablas y Gráficas)
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA
- LISTA DE FIGURAS
- AGRADECIMIENTOS

## INTRODUCCION

Desde hace aproximadamente tres décadas, se ha notado un claro avance en el desarrollo de diversas ramas de la ciencia, principalmente en la aplicación de la química y la física al estudio de las aguas marinas, tanto del océano abierto como de la zona costera. Es sabido que la aplicación de la química al estudio de las aguas naturales tuvo comienzo a principios del año pasado; la aplicación de la química analítica al estudio de las aguas marinas, en la última década, ha sufrido un incremento acelerado enfocado principalmente al estudio de la contaminación marina.

Las aguas naturales han adquirido sus características químicas por dilución y al reaccionar químicamente con sólidos (rocas), líquidos y gases con los cuales han tenido contacto en diversas partes del ciclo hidrológico. La composición de estas aguas es cambiante, sin embargo, esta variación es mínima cuando se toma en cuenta la historia ambiental de dichas aguas y la de las reacciones químicas del sistema atmósfera-agua-roca.

El dióxido de carbono,  $CO_2$ , uno de los principales componentes de la atmósfera, al contacto con el agua forma un ácido (el ácido carbónico) que reacciona a su vez con las bases constituyentes de las rocas. El agua puede perder carbono disuelto en reacciones de precipitación y en sedimentos. En este tipo de reacciones los bicarbonatos y carbonatos son proporcionados o cedidos por el agua.

El dióxido de carbono se libera a la atmósfera por actividad volcánica y actualmente en mayor proporción por la combustión de energéticos fósiles. Por ende este gas ocupa un lugar central en la biosfera así como en muchos procesos geológicos que crean la erosión de las rocas. Muchos animales y plantas marinas transforman el  $CO_2$  en carbonato de calcio y cuando mueren la porción mineral perteneciente a sus organismos se convierte en sedimentos, arrecifes y piedras calizas (BUTLER, 1982).

Además el  $CO_2$  es absorbido de la atmósfera por las plantas, los árboles y el fitoplancton para convertirlo en biomasa; durante la respiración terrestre y acuática de plantas y animales se libera

este CO<sub>2</sub> regresando nuevamente a la atmósfera.

Este mecanismo de intercambio gaseoso es de primordial importancia dado que se refiere al intercambio bioquímico entre el agua y la biomasa. De la misma manera, las especies carbonatadas disueltas participan en reacciones ácido-base de intercambio homogéneo y heterogéneo con la litósfera y la atmósfera, tales reacciones son significativas en el regulamiento del pH y en la composición de las aguas naturales (STUMM Y MORGAN, 1981).

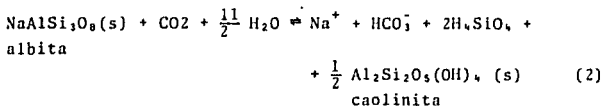
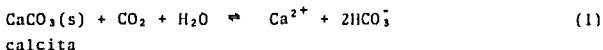
Se entiende por Sistema del Dióxido de Carbono, al conjunto de especies químicas cuyas propiedades le confieren al agua de mar la característica principal de constituir un medio ligeramente básico mediante el cual logra mantener su pH relativamente constante. Las especies involucradas son; CO<sub>2</sub> (aq), H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> de las más importantes por su participación (VAZQUEZ G. en preparación). Principalmente estas especies, establecen la alcalinidad del agua marina, dependiendo de las condiciones ambientales como son presión y temperatura fundamentalmente.

El estudio de la variación de este Sistema permitirá establecer ciertas características fisicoquímicas de una muestra de agua de estuario dada y predecir su comportamiento en relación a los cambios estacionales; además puede proporcionar una serie de conocimientos a otras áreas de la ciencia (microbiología marina, geología y geoquímica oceanográfica, limnología y ecología estuarina etc.) los cuales permitirán explicar diversos procesos encontrados en cada una de estas áreas. Así mismo, coadyuvará al desarrollo de una definición adecuada del término "Estuario" concepto que actualmente no está del todo establecido. (Yañez, 1987). El conocimiento del Sistema del Dióxido de Carbono es de un valor intrínseco y de gran importancia considerable desde el punto de vista práctico, no sólo en el estudio de las aguas naturales sino también desde el punto de vista del tratamiento químico del agua.

Es por ello que es necesario establecer un marco de referencia respecto al estudio del Sistema del Dióxido de Carbono en aguas estuarinas además de determinar la medida de las variaciones de dicho Sistema tanto en tiempo como en espacio en la Laguna de Términos, Campeche.

La composición de las aguas naturales está controlada por procesos geoquímicos y geobiológicos, esto es, tienen su origen en los minerales y la atmósfera.

Desde el punto de vista químico se puede establecer un proceso por el cual una montaña es lentamente disuelta y transportada a los sedimentos de los océanos, lo cual consiste en una enorme reacción ácido-base en el agua que fluye. El dióxido de carbono de la atmósfera proporciona el ácido que reacciona con las bases de las rocas. Este hace que el agua se torne corrosiva y también adquiere sus principales solutos; sin embargo, el agua puede perder carbono en reacciones de precipitación. Una representación de las reacciones de precipitación y dilución con  $\text{CaCO}_3(\text{s})$  y feldespato son:



mediante estas reacciones y similares, los iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  son eliminados o adquiridos por el agua. El pH se determina principalmente por medio de un balance entre la disolución de un ácido débil (ac. carbónico) y rocas alcalinas (aluminosilicatos y carbonatos).

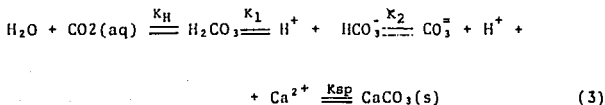
La concentración del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es aproximadamente 300 ppm, dependiendo de la localidad. Frecuentemente ocurren variaciones anuales o diurnas, las cuales pueden ser debidas a efectos naturales o atribuidas al uso de combustibles fósiles.

La presión parcial del  $\text{CO}_2$  atmosférico ( $p\text{CO}_2$ ) y la correspondiente al  $\text{CO}_2$  marino ( $p\text{CO}_2^*$ ) están aproximadamente en equilibrio, pero puede existir localmente un desequilibrio y una transferencia neta en la interfase aire-agua.

Este sistema no es sólo de interés académico sino también de interés climatológico, ya que se depende en gran medida de la capacidad de los océanos para amortiguar el incremento de CO<sub>2</sub>.

La capacidad del mar para absorber el incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico es considerable. Existen varios modelos para describir este sistema (SKIRROW, 1975), los cuales proponen que existe una mezcla de CO<sub>2</sub> hasta una profundidad donde la temperatura cambia bruscamente; el equilibrio en la interfase aire-agua se alcanza inmediatamente, sin embargo el equilibrio en todo el mar puede llevar varios siglos.

El dióxido de carbono en el mar participa en un equilibrio complejo, este se puede resumir por las reacciones siguientes:



y



una adición de CO<sub>2</sub> posterior, induce respuestas en el sistema originando una baja de pH y una oposición mayor a la entrada de dióxido de carbono. (ver TABLA 1)

#### *Ecuaciones para las constantes de disociación aparente a una atmósfera de presión*

La química del dióxido de carbono en el agua de mar está representada por las reacciones (3) y (4). En estas ecuaciones el H<sup>+</sup>(aq) está representando a todas las especies con carga positiva como, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>+</sup>, etc., que existen en solución (SKIRROW, 1975). En el agua de mar, estas reacciones pueden ser descritas por las constantes de equilibrio de la forma (WHITFIELD Y TURNER, 1981).

TABLA 1

	$10^{18}$ mol C	Unidades atmosféricas
<b>Sedimentos</b>		<u>CO<sub>2</sub>, Ao</u>
Carbonato	5.100	94.000
Carbón orgánico	1.000	18.500
<b>Corteza terrestre</b>		
Carbón orgánico	0.1	1.8
<b>Oceáno</b>		
CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.019	0.35
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.9	54
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0.36	7
inorgánico	0.4	7
orgánico	0.0007	0.01
<b>Atmósfera</b>		
CO <sub>2</sub> (Ao)	0.054	1.0
Concentración representativa	CT (M) <sup>a</sup>	Alcalinidad (eq/l)
Agua de mar	$2.3_3 \times 10^{-3}$	$2.5_3 \times 10^{-3}$
Agua de río, promedio	$10^{-4}$	$10^{-4}$
Intervalo para agua de río	$10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$	$10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$
Agua de lluvia intervalo común	$10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$	$0 - 4 \times 10^{-5}$ (b)
CO <sub>2</sub> atm. = 0.033 % por volúmen de aire húmedo preindustrial, P <sub>CO<sub>2</sub></sub> = $2.9 \times 10^{-4}$ atm.		
P <sub>CO<sub>2</sub></sub> = $3.3 \times 10^{-4}$ atm.		

Distribución de Carbono, en rocas sedimentarias, hidrósfera, atmósfera y biósfera.<sup>c</sup> Tomando del Stumm y Morgan (1981).

a) CT = [CO<sub>2</sub>] (aq) + [H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>] + [CO<sub>3</sub><sup>=</sup>] + [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]; (los oceanógrafos a menudo usan el símbolo CO<sub>2</sub>T)

b) a veces el agua de lluvia contiene minerales ácidos con  $10^{-3}$  eq/l

c) comparar con la figura 1.



$$K_1' = [\text{H}_2\text{CO}_3^*] / [\text{HCO}_3^-] \text{H} \quad (5)$$

$$K_2' = [\text{HCO}_3^-] / \text{H} [\text{CO}_3^{2-}] \quad (6)$$

$$K_{sp}' = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] \quad (7)$$

$$K_w' = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (8)$$

donde los paréntesis rectangulares indican la concentración (estequiométrica) total y H representa la contribución total del ión hidrógeno en la escala de pH convencional,  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$  representa al  $\text{CO}_2$  no ionizado, se encuentre éste hidratado o no ( $[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = [\text{CO}_2(\text{aq})] + [\text{H}_2\text{CO}_3] = [\text{CO}_2^*]$ ; STUMM Y MORGAN, 1981; MOREL, 1983). La presión parcial del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera ( $\text{PCO}_2$ ) se relaciona a  $[\text{CO}_2^*]$  en el equilibrio por la ecuación:

$$[\text{CO}_2^*] = K_p \text{PCO}_2 \quad (9)$$

donde (WEISS, 1974)

$$\ln K_p = [-58.0931 + 90.5069 (100/T) + 22.294 \ln (T/100)] + [0.027766 - 0.25888 (T/1000) + 0.0050578 (T/100)^2] S \quad (10)$$

el  $K_p$  está dado en  $\text{mol dm}^{-3} \text{atm}^{-1}$  y S representa a la salinidad o el contenido de sales en el agua de mar en gramos por kilogramo de agua de mar ‰, partes por mil).

Los valores de las constantes de estabilidad de las ecuaciones (5) y (8) dependerán no sólo de la temperatura, presión y salinidad del agua de mar, sino también de la escala de pH usada. Si el pH es determinado por la escala de pH de Hansson (1973) entonces:

$$\text{H} = [\text{H}^+] + [\text{HSO}_4^-] \quad (11)$$

donde  $[H^+]$  corresponde a la modalidad de los iones hidrógeno  $l_i$  bres ( $p_{m_H} = -\log m_H$ ).

Si los electrodos se calibran en base a una fuerza iónica baja con la escala de buffers de la Agencia Nacional de Estándares (National Bureau of Standards, NBS; BATES, 1973), el pH quedaría definido de la forma:

$$pH_{NBS} = pH_b + (E_b - E_x) / g \ln 10 \tag{12}$$

y  $g = RT / F$ ;  $E_b$  y  $E_x$  son los potenciales de electrodo, el usado con el amortiguador NBS y el de la muestra respectivamente. Esto implica que:

$$H = 10^{-pH_{NBS}} \tag{13}$$

De esta forma H se define mediante procedimientos experimentales antes de definirlo a partir de los componentes de la solución. Los valores correspondientes de  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{sp}$  y  $K_w$  se conocen como "constantes de estabilidad aparente" (STUMM Y MORGAN 1981 ; WHITFIELD Y TURNER, 1981). Estas se relacionan con la temperatura y salinidad por medio de la siguiente ecuación; (MILLERO,1979)

$$\ln k'_i - \ln K_i = (a_0 + a_1 / T + a_2 \ln T) S^{1/2} + b_0 S \tag{14}$$

con las constantes referidas en la tabla 2. En la siguiente ecuación,  $K_i$  es la constante de ionización termodinámica y esta expresada por la ecuación (MILLERO, 1979);

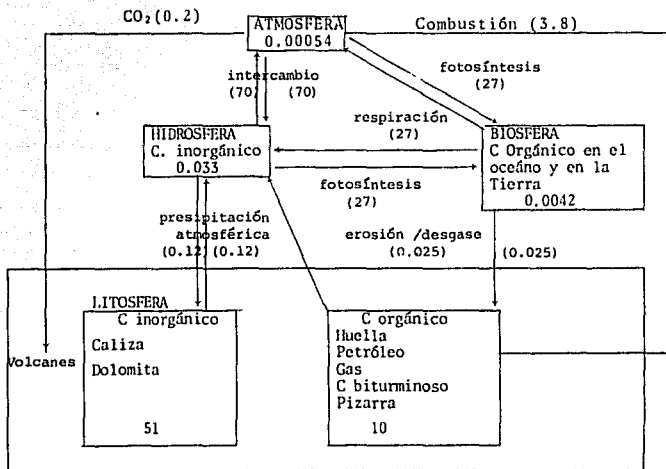
$$\ln K_i = A + B/T + C \ln T \tag{15}$$

las constantes A, B y C se presentan en la tabla 3.

*Cálculo de los parámetros del Sistema del Dioxido de Carbono.*

Los diversos componentes del Sistema del CO2 pueden ser caracterizados al medir por lo menos dos de los siguientes parámetros; pH, AT, CO2T y PCO2. Las ecuaciones que relacionan las especies seleccionadas fueron dadas por Skirrow (1975), refiriéndose a las concentraciones de  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  y  $CO_2^*$ . En el agua de mar la

FIGURA 1.



Tomando del Stumm y Morgan (1981). La circulación del carbono esta determinada por reacciones bioquímicas principalmente. En la figura se muestran las cantidades de C en la superficie terrestre ( $10^{21}$  moles). Los paréntesis indican el intercambio de C en  $10^{14}$  mol/año. En 1933 Goldschmidt hace una estimación cuantitativa de la cantidad de C en las diferentes partes del ciclo. Este dato ha sido revisado en varios trabajos. El dato que aquí se da es el de Garrels y Perry (1974). La gran reacción fotosintética ( $54 \times 10^{14}$  mol C/año) ha sido igualmente dividida entre la Tierra y el océano ( $7.5 \text{ mol C/m}^2$  año oceánica y  $18 \text{ mol C/m}^2$  año terrestre). R.H. Whittaker y G.E. Likens en el trabajo de Woodwell y Pecan (1973), dan para producción primaria un total de  $44 \times 10^{14}$  mol C/año terrestre y  $21 \times 10^{14}$  mol C/año oceánica. Las estimaciones hechas para el intercambio anual no son totalmente ciertas puesto que se ve claramente que el carbono es reciclado en la superficie terrestre.

TABLA 2

Soluto	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b_0 \cdot 10^2$	$\sigma$	Referencias
H <sub>2</sub> O	-97.9429	4149.915	14.8269	-2.3694	0.019	Hansson (1972)
	-79.2447	3298.720	12.0408	-1.9813	0.020	Culberson y Pytkowicz (1973)
B(OH) <sub>3</sub>	0.0473	49.10	-	-	0.049	Lyman (1957)
	0.5998	-75.25	-	-1.767	0.008	Hansson (1972)
H <sub>2</sub> O+CO <sub>2</sub>	0.0221	34.02	-	-	0.007	Mehrbach et.al. (1973)
	0.5709	-84.25	-	-1.632	0.021	Hansson (1972)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.9805	-92.65	-	-3.294	0.033	Mehrbach et.al. (1973)
	1.4853	-192.69	-	-5.058	0.042	Hansson (1972)
CaCO <sub>3</sub>	1.6233	-118.64	-	-6.999	0.065	Ingle et.al. (1973)

Parámetros dependientes de la temperatura y salinidad para las constantes de disociación aparente en agua de mar, en el intervalo de salinidad 0 < S‰ < 40 y temperatura de 0 < T°C < 50°C.

estimación de la especiación del CO<sub>2</sub> se realiza en base a la medición de la alcalinidad total, AT.

$$AT = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B(OH)}_4^-] + [\text{OH}^-] + [\text{Si(OH)}_3^-] + 2[\text{HPO}_4^{2-}] + 3[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{NH}_3] - [\text{H}^+] - \Sigma A \quad (16)$$

donde  $\Sigma A$  representa otros compuestos presentes en el agua de mar que pueden donar un protón (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HF, etc. UNESCO, 1983). A valores de pH naturales del agua marina la alcalinidad debida a los carbonatos (AC) se puede determinar por

TABLA 3

Acido	A	-B	-C	$\sigma$	Referencias
H <sub>2</sub> O	148.9802	13847.26	23.6521	0.0014	Harned and Owen (1958)
B(OH) <sub>3</sub>	148.0248	8966.90	24.4344	0.0027	Owen (1934); Manov et.al. (1944)
CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	290.9097	14554.21	45.0575	0.0024	Harned and Davis (1943)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	207.6548	11843.79	33.6485	0.0033	Harned and Scholes (1941)
Sólidos Calcita	303.1308	13348.09	48.7537	0.035	Jacobson y Langmuir (1974); Berner (1976)
Aragonita	303.5363	13348.09	48.7557	0.05	Berner (1976)

Parámetros dependientes de la temperatura para las constantes de ionización en agua, en el intervalo de temperatura  $0 < T^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$ .

$$AC = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] = AT - [\text{B(OH)}_3] \quad (17)$$

En los cálculos de la especiación solamente el CO<sub>2</sub> contribuye en la AT. La concentración de iones borato se puede determinar con la ecuación

$$[\text{B(OH)}_3] = K_B' [\text{B}]_T / (K_B' + a_H) \quad (18)$$

donde la concentración del boro total es  $[\text{B}]_T = 1.188 \times 10^{-2} \text{ S}$  (Uppström, 1974; Almgren et al., 1975),  $K_B'$  representa la constante de estabilidad aparente del ácido bórico,  $a_H$  la actividad aparente del patrón y S la salinidad en g/kg.

Los parámetros del Sistema del CO<sub>2</sub> son determinados en la forma

$$[\text{HCO}_3^-] = AC / (1 + 2 K_2' / a_H) \quad (19)$$

$$[\text{CO}_3^-] = \text{AC } K_2^- / (a_{\text{H}} + 2 K_2^-) \quad (20)$$

$$[\text{CO}_2^*] = (\text{AC } a_{\text{H}} / K_1^-) / (a + 2 K_2^- / a_{\text{H}}) \quad (21)$$

$$[\text{CO}_2\text{T}] = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{=}] + [\text{CO}_2] = \text{AC}(1+a_{\text{H}}/K_1^- + K_2^-/a_{\text{H}}) / (1 + 2K_2^-/a_{\text{H}}) \quad (22)$$

donde los valores de  $K_1^-$  son las constantes aparentes del ácido carbónico. Los valores de  $K_1^-$  y  $a_{\text{H}}$  usados en estas ecuaciones son los correspondientes a la temperatura y presión *in situ* de la muestra (MILLERO, 1979). De la ecuación (16).

$$\begin{aligned} & a_{\text{H}}^3 A + a_{\text{H}}^2 + [K_1^-(A-1) + K_B^-(A-B)] + \\ & a_{\text{H}}[K_1^- K_B^-(A-B-1) + K_1^- K_2^- (A-2)] + \\ & K_1^- K_2^- K_B^-(A-B-2) = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

$a_{\text{H}}$ , puede ser calculada resolviendo esta ecuación por un método iterativo (BEN-YAAKOV, et.al., 1974; EDMOND Y GIESKES, 1970; ALM-GREN et.al., 1975), donde  $A = \text{AT}/\text{CO}_2\text{T}$  y  $B = [\text{B}]_{\text{T}}/\text{CO}_2$ .

Los valores de A y B primero son estimados de las ecuaciones (16) a (20) empleando las medidas de  $a_{\text{H}}$  y las constantes de disociación aparente *in situ*.

El producto de solubilidad aparente de la calcita y aragonita se define como:

$$K_{\text{CAL}}^- = [\text{C}_{\text{CaT}} \cdot \text{C}_{\text{CO}_3\text{T}}]_{\text{CAL}}$$

$$K_{\text{ARG}}^- = [\text{C}_{\text{CaT}} \cdot \text{C}_{\text{CO}_3\text{T}}]_{\text{ARG}}$$

donde  $\text{C}_{\text{CaT}}$  y  $\text{C}_{\text{CO}_3\text{T}}$  son la concentración total de los iones calcio y carbonato. Las constantes de producto de solubilidad pueden calcularse en base a las tablas 2 y 3

La revisión de los productos de solubilidad para la calcita y

aragonita en el agua de mar se da en la tabla 4.

El estado de saturación,  $\Omega$ , de la calcita y aragonita en este tipo de agua puede ser determinada por

$$\Omega = C_{CaT} \cdot f_{CO_2T} / K_{sp}^* \quad (4)$$

donde  $C_{CaT} = 2.938 \times 10^{-4} S$  mol/kg y  $K_{sp}^*$  es el producto de solubilidad de la calcita o aragonita a temperatura, presión y salinidad medidas en situ.

TABLA 4

Referencias	* $K_c^*$	* $K_a^*$	$K_a^*/K_c^*$	p $K_c^*$	p $K_a^*$
Mac-Intyre (1965)	4.38(+0.26)	7.12(+0.31)	1.63(+0.17)	6.56	6.15
Ingle et.al. (1973)	4.60(+0.10)	-	-	6.34	-
(Berner (1976)	-	8.21(+0.25)	-	-	6.09
Plath (1979)	4.62(+0.10)	9.46(+0.49)	2.05(+0.15)	6.34	6.02
Morse et.al (1980)	4.36(+0.20)	6.65(+0.12)	1.53(+0.10)	6.36	6.18
Plummer y Sundquist (1982)	4.60	6.60	1.45	6.34	6.18

Resumen de los productos de solubilidad para la Calcita y Aragonita a 25°C y 35‰ S.

\*; las unidades de  $K_c^*$  y  $K_a^*$  son mol<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup> x 10<sup>7</sup>.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La laguna de Términos está considerada como una de las lagunas costeras más extensas del País, para la cual se ha puntualizado una alta productividad y un enorme potencial pesquero, (AMEZCUA-LINARES Y YAÑEZ-ARANCIBIA, 1980) es por ello que su estudio desde cualquier punto de vista reviste un gran interés.

Ubicación. La laguna de Términos está situada en la porción sureste del Golfo de México, en el estado de Campeche en la base de la Península de Yucatán, al borde de dos provincias geológicas. Al este, la Península de Yucatán caracterizada por escasas lluvias, suelos calcáreos y sin escurrimientos de ríos. Al oeste y sur las tierras bajas de Tabasco, altas de Chiapas y Guatemala, caracterizada por la elevada precipitación pluvial y aportes fluviales (YAÑEZ-ARANCIBIA Y DAY, 1982).

Cubre un área aproximada de 2,500 km<sup>2</sup>, sin tomar en cuenta los numerosos sistemas fluvio-lagunares que desembocan en ella. La barrera natural que la separa de las aguas del Golfo de México, es la Isla del Cármen, con aproximadamente 40 km de largo y 3 km de ancho, con dos bocas: al oriente la Boca de Puerto Real y al occidente la Boca del Carmen en la primera se observa un flujo de entrada de agua permanente y por la segunda el agua que fluye hacia el mar. (FIG. 2)

Hidrografía. Los rasgos hidrográficos más característicos del área, son los sistemas fluvio-lagunares que descargan sus aguas en la costa suroeste de la Laguna de Términos, provenientes del sistema fluvial más notable del país, formado por los ríos Grijalba, Usumacinta y sus afluentes, que constituyen los siguientes sistemas fluvio-lagunares:

Sistema fluvio-lagunar Atasta-Pom

En la región occidental de la Laguna, descargan varios afluentes de los ríos San Pedro, San Pablo y Palizada que en la llanura costera generan una serie de lagunas interiores conectadas entre sí, de las cuales las más importantes son: Laguna de Pom, Atasta, Palancares, del Corte, San Carlos, Puerto Rico y los Negros. Todas estas lagunas y los ríos que desembocan en ellas



se comunican a la Laguna de Términos a través de la Boca de Atasta (FIG.2). Este sistema es el más importante en la región, ya que en él están establecidas las pesquerías de moluscos; del Ostión *Crassostrea virginica* y la almeja *Rangia cuneata* que son las de mayor capacidad extractiva.

*Sistema fluvio-lagunar Palizada del Este*

En la porción suroeste de la Laguna de Términos desembocan los ríos Palizada y de las Cruces y escurrimientos menores que forman la Laguna de El Vapor. Laguna del Este y Laguna de San Francisco, comunicadas por la Boca Chica.

*Sistema fluvio-lagunar Chumpan-Balchacah*

El río Chumpan, al que se le integran los ríos Salsipuedes y San Joaquín formados en la planicie costera, al desembocar a la Laguna de Términos a través de la Boca de Balchacah forma la Laguna de Balchacah después de un recorrido tortuoso y estrecho.

*Sistema fluvio-lagunar Candelaria-Panlau*

El río Candelaria, uno de los más caudalosos, junto con el río Mamantel, forman en su desembocadura la Laguna de Panlau, que se comunica a la Laguna de Términos por la Boca de los Pargos.

En el extremo oriental de la Laguna de Términos desembocan una serie de pequeños arroyos, de los cuales los más notables son: Chivojá Grande, Chivojá Chico, Colax y Lagartero así como el Estero Sabancuy.

*Clima.* El clima es cálido húmedo con lluvias durante el verano alcanzando valores de precipitación que van de 1200 a 2000 mm de promedio anual. La temperatura ambiente media anual es de 27 grados centígrados, con valores máximos de 36°C en el verano y mínimos de 17°C en el invierno.

Yáñez-Arancibia y Day (1982) definen tres épocas o "estaciones" bien caracterizadas a lo largo del año:

- a) Época de lluvias. Abarca desde el mes de junio hasta finales de septiembre; caracterizada por fuertes chubascos casi diarios especialmente en las tardes y noches.
- b) Época de nortes. Estación caracterizada por fuertes vientos provenientes del norte y noreste, asociados con lluvias; frecuentemente en los meses de noviembre, diciembre y enero.

c) Epoca estival. Durante los meses de febrero a mayo, cuando las lluvias se presentan con menor frecuencia e intensidad.

*Vientos.* Los vientos que imperan en la región se pueden considerar en dos tipos: los "nortes" o tormentas de invierno provenientes del noroeste y las brisas marinas con vientos del noreste-sureste, durante el resto del año.

*Mareas.* El régimen de mareas es del tipo mixto con un intervalo de 0.5 m aproximadamente. El agua penetra a la Laguna de ciclos periódicos con duración aproximada de 15 horas.

*Circulación.* El factor determinante de la circulación del agua en la laguna son los vientos dominantes del noreste-sureste, por lo que el flujo neto de la masa de agua es de dirección este a oeste (MANCILLA Y VARGAS, 1980).

La corriente litoral se efectúa en dos sentidos, hacia el este y oeste, siendo esta última más acentuada.

La corriente de agua marina que penetra por la Boca de Puerto Real, es paralela a la costa lagunar de la Isla del Carmen estando caracterizada por aguas claras y vegetación sumergida, saliendo a través de la Boca del Carmen. Sin embargo, por la Boca del Carmen, también se observa entrada de agua marina afectando a más de un tercio de la laguna, en donde las aguas son turbias por el aporte de sedimentos en suspensión en las aguas drenadas de los sistemas fluvio-lagunares. La mezcla de los dos tipos de aguas: marina y lagunar, produce un efecto "buffer" impidiendo que el agua marina fluya directamente a la costa sureste de la laguna (YANEZ-ARANCIBIA Y DAY, 1982).

*Procesos Geológicos.* Phleger y Ayala-Castañares (1971) consideran dos fuentes de sedimentos: a) Aloctonos, los aportados por los sistemas fluvio-lagunares de naturaleza terrígena con detritos orgánicos y, b) los Autóctonos de tipo calcáreo originados en la playa oriental de la laguna.

Ambas fuentes de sedimentos y el patrón de circulación de las aguas, dan como resultado un fuerte gradiente en la transparencia del agua. Las aguas claras, con sedimentos calcáreos predominan en la parte oriental de la Laguna, desde Puerto Real hasta dos tercios del litoral lagunar, por otro lado, las aguas turbias con sedimentos terrígenos, se localizan en las zonas sur y occi-

dental.

En la parte central de la laguna, los sedimentos contienen un 50% de carbonato de calcio, mientras que en las desembocaduras de los sistemas fluvio-lagunares es de 30 a 35 %. En las proximidades de Puerto Real, la concentración de carbonatos llega al 70%; esta elevada cantidad de carbonatos que se disuelven en el agua elevan el pH a valores alcalinos.

**Salinidad.** La salinidad del agua en el interior de la laguna, varía en relación a las estaciones, correspondiendo los valores máximos a la región oriental durante la época de sequía o estival. Phleger y Ayala-Castañares (1971) reportan durante los años de 1964-1966 valores que oscilan entre 25% y 36.5 % de salinidad en la parte noreste de la Laguna próxima a la Boca de Puerto Real y en la porción sur y occidental de 28 % a 0 % . En 1972, Carbajal (1973) señala valores promedio de 33% para la época de secas 26 % para la temporada de lluvias.

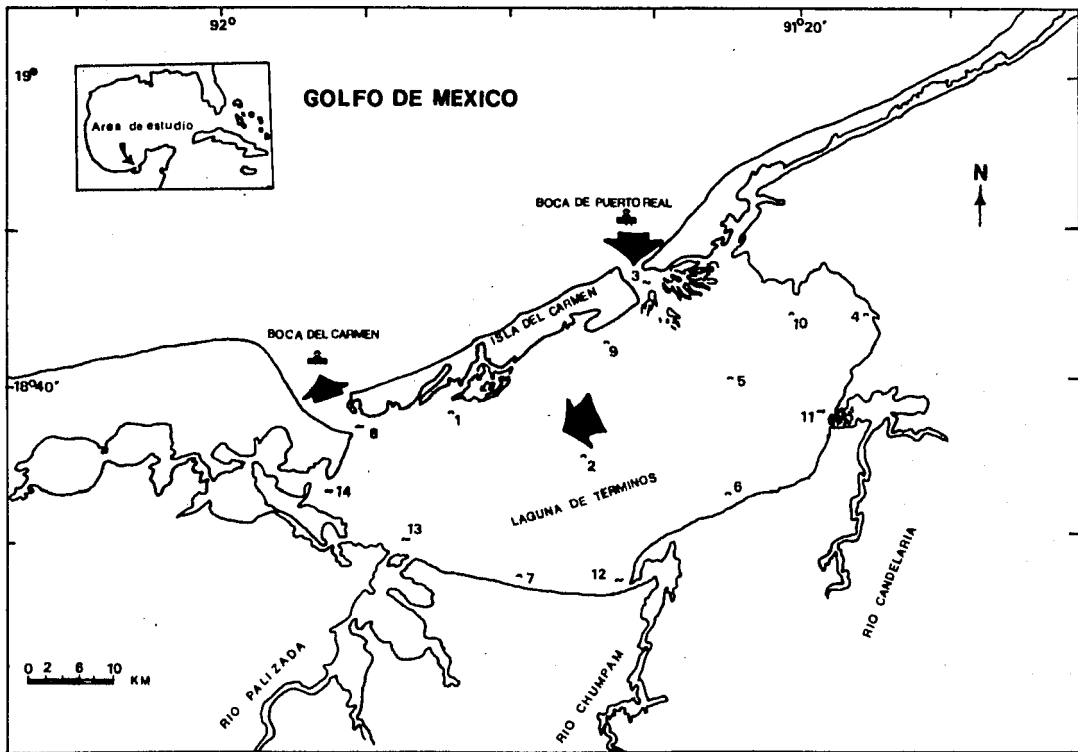
Amezcuca-Linares (1978) efectuó mediciones aproximadamente bimestrales durante un ciclo anual en los cuatro sistemas fluvio-lagunares, observando intervalos de salinidad que van de aguas francamente salobres hasta dulces, variando tanto de acuerdo a las temporadas, como al sitio específico del muestreo; también reconoce un gradiente salino desde las partes próximas a los ríos hasta las desembocaduras a la Laguna de Términos.

**Temperatura del agua.** La temperatura muestra variaciones estacionales a lo largo del año, especialmente durante la estación de Nortes y los meses más cálidos; sin embargo se puede considerar que se mantiene en un intervalo de 27°C a 33°C. Toral (1971) señala un valor promedio de 29.9°C. Las temperaturas se mantienen más o menos estables en el cuerpo principal de la laguna.

**Batimetría.** Es una laguna somera con promedio de profundidad de dos a tres metros llegando en la parte central a cuatro metros, disminuyendo al aproximarse a las costas. Las zonas más profundas se localizan en los canales de las bocas; entre Punta Xicalango y Ciudad del Carmen es de 15m y en la Boca de Puerto Real varía entre 8 y 10 m.

Las lagunas anexas son por lo general muy someras, con profundi-

dades promedio entre 1 y 1.5 m, en las desembocaduras de los ríos se forman canales de unos dos metros de profundidad. (García Cubas, 1981)



**FIGURA 2**

## PARTE TEORICA

Alcalinidad y Dióxido de Carbono.

La alcalinidad total, AT, del agua de mar está definida como; la cantidad en equivalentes, de ácido fuerte requerida para titular los bicarbonatos en un kilogramo de agua de mar, (FIGURA 3), tomada del trabajo de Edmond (1970).

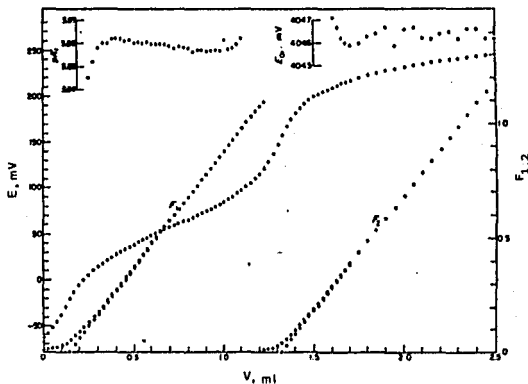


FIGURA 3. Curva de titulación de una muestra de agua de mar de superficie, se usó HCl 0.3N. La gráfica muestra a  $F_1$  y  $F_2$  contra el volumen de ácido adicionado. Están trazados también los puntos correspondientes a los efectos producidos por los carbonatos y bicarbonatos (incluyendo a los boratos) detectados en el punto de equivalencia. Las ecuaciones usadas son:  $v = v_2 + \frac{(v_0 + v)}{1 + \frac{[H^+]}{K_1}}$  y  $E_0$  en función del volumen, éstos se determinaron con la ecuación:  $E = E_0 + K \log \frac{[(v-v_2)N]}{[(v_0+v)]} \log K_1 = \log [H^+] + \log [(v_2 - v)/(v - v_1)]$ .

En la práctica la alcalinidad corresponde a la suma, en equivalentes por kilogramo de agua de mar, de las concentraciones analíticas de aniones presentes, principalmente del ácido carbónico, además de otros ácidos débiles (SKIRROW, 1975).

El criterio que se siga para incluir diversos ácidos débiles en una discusión cuantitativa determinará la precisión y exactitud de la determinación, así como la interpretación que se quiera hacer.

La definición más común de alcalinidad usada es; (HARVEY, 1966)

$$AT = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [B(OH)_4^-] + [OH^+] - [H^+] \quad (25)$$

los paréntesis rectangulares indican la concentración total de la especie que encierran, expresada en moles por kilogramo de agua de mar, tanto de la especie libre como de la complejada siempre y cuando se determinen por titulación con ácido.

Para el cálculo de la distribución de las especies correspondientes al ácido carbónico,  $H_2CO_3$ , del agua de mar se usa la alcalinidad debida a los carbonatos, AC;

$$AC = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] \quad (17)$$

cuando la ecuación (17) es derivada de la definición de alcalinidad total, se necesita hacer una corrección por la contribución de los demás aceptores de protones presentes en la muestra.

Esta corrección requiere del conocimiento de la concentración total de las especies involucradas, de sus constantes de disociación y del pH de la muestra de agua de mar.

A pH de 8 se hace notable la presencia de iones borato y fosfato mientras que los silicatos,  $SiO(OH)_3^-$ , y el hidróxido de magnesio  $MgOH^+$ , normalmente no quedan incluidos en la definición de alcalinidad total. En forma individual cada uno puede estar significando una variación de 0.1% aproximadamente, (o sea  $10^{-6}$  mol/kg, ver Fig.4; TABLA 5), y colectivamente alrededor de 0.5% ( $10^{-5}$  eq/kg) de la alcalinidad total.

La concentración del magnesio en el agua de mar es proporcional

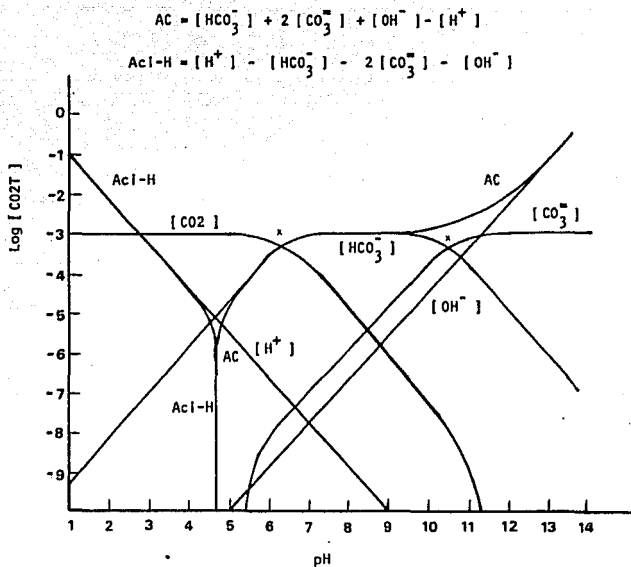


FIGURA 4. Diagrama del logaritmo de la concentración de  $CO_2T = 10^{-3}$  mol/L con la curva de Alcalinidad (AC) y la acidez debida al ión hidrógeno (Aci-H) extrapoladas, tomada del Butler, 1982.

a la clorinidad como lo es la del ácido bórico (CULKIN, 1965). La primera constante de disociación aparente del ácido bórico,  $K_B^1$ , determinada por Lyman (1957) y Buch (1933) incluye los efectos debidos al  $MgOH^+$ . Las correcciones por presión para las constantes aparentes determinadas por Culberson y Pytkowicz (1968) también incluyen los efectos del  $MgOH^+$  pero en una forma más complicada. No obstante, se ha visto que, para cualquier interpretación de las medidas de alcalinidad, el término  $MgOH^+$ , puede ser considerado como incluido en el ión borato,  $B(OH)_3^-$ , con una buena aproximación (de ahora en adelante así se considerará).



Para una determinada muestra de agua de mar dada, la concentración del ión borato ( $B(OH)_4^- + MgOH^+$ ); está en función del pH. Si se incluye en la definición de alcalinidad total a los fosfatos como aceptores de protones, la contribución de éstos estaría dada como:

$$[HPO_4^{2-}] + 2[PO_4^{3-}] - [H_3PO_4] \quad (26)$$

la reacción del dióxido de carbono total se define por;

$$CO_2 = [CO_2T] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \quad (27)$$

donde

$$[CO_2T] = [CO_3^{2-}] + [H_2CO_3] + [CO_2] \quad (22)$$

La FIGURA 5 es una simplificación de la Fig.3, muestra una gráfica de potencial, E (mV), contra el volúmen de ácido clorhídrico adicionado durante la titulación, de ella se puede deducir lo siguiente:

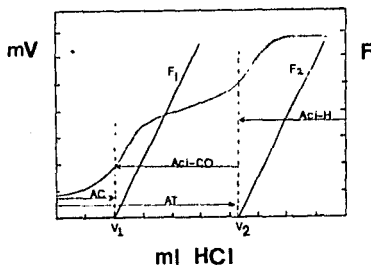


Figura 5. Curva de alcalinidad por titulación potenciométrica incluyendo la gráfica de Gran,  $F_1$  y  $F_2$ . Tomada de Grashoff (1982).

TABLA 5

Especies	-log C	C(moles $\times 10^{-3}$ /kg)	% de AT
$\text{CO}_3^{=}$	3.75	0.178	6.7
$\text{B(OH)}_4^{-}$	4.10	0.079	2.9
$\text{SiO(OH)}_3^{-}$	5.25	0.006	0.2
$\text{MgOH}^{+}$	5.68	0.002	0.1
$\text{OH}^{-}$	5.68	0.002	0.1
$\text{PO}_4^{=}$	6.10	0.001	0.05
$\text{HCO}_3^{-}$	2.62	2.400	89.8
$\text{HPO}_4^{-}$	5.52	0.003	0.1

Titulación ácida de agua de mar a pH de 8 y 25°C. Especies tomadas de la gráfica de Bjerrum (FIG.3).

TABLA 6

Especies	C(moles/kg)	-log C	pK
$\text{CO}_2$	$2.4 \times 10^{-3}$	2.62	6.00,9.1
B	$4.25 \times 10^{-4}$	3.37	8.71
Mg	$5.32 \times 10^{-2}$	1.27	12.5
Si	$1.5 \times 10^{-4}$	3.82	9.4,12.7
P	$3.0 \times 10^{-6}$	5.52	1.61,6.06,8.56
S	$2.82 \times 10^{-2}$	1.55	1.5
F	$5.2 \times 10^{-5}$	4.28	2.5
Ca	$1.03 \times 10^{-2}$	1.99	13.0

Concentración de especies de Culkin (1965);  $K_1^+$ ,  $K_2^+$ ,  $K_B^+$ ,  $K_{MgOH}^+$  de Lyman (1957);  $K_{D1}^+$ ,  $K_{D2}^+$ ,  $K_{D3}^+$  de Kester y Pytkowicz (1967);  $K_w$  de Harvey (1966);  $K_{Si1}$ ,  $K_{Si2}$  de Ingri (1959). En agua de mar: S = 35‰, T = 25°C.

Dado que los puntos de inflexión son los puntos de equivalencia, se pueden obtener las siguientes igualdades:

$$V_0 [\text{AT}] = V_2 N \quad (28)$$

$$V_0 [\text{AC}] = V_1 N \quad (29)$$

$$V_0 [\text{CO}_2\text{T}] = (V_2 - V_1) N \quad (30)$$

y para cualquier punto de la titulación:

$$(V_0 + V) [\text{Aci-H}] = (V - V_2) N \quad (31)$$

$$(V_0 + V) [\text{Aci-CO}_2] = (V - V_1) N \quad (32)$$

$$(V_0 + V) [\text{AT}] = (V_2 - V) N \quad (33)$$

después del segundo punto de equivalencia,  $V_2$ , la ecuación (31) se simplifica a:

$$(V_0 + V) \text{H}^+ \cong (V - V_2) N \quad (34)$$

ya que para  $V > V_2$ ;

$$[\text{H}^+] \gg [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

puesto que se uso un método potenciométrico, en realidad conocemos  $a_{\text{H}^+}$  y no  $[\text{H}^+]$  por lo que la ec.(34) queda expresada como;

$$(V_0 + V) a_{\text{H}^+} = (V - V_2) N \quad (35)$$

al sustituir  $[\text{H}^+]$  por  $a_{\text{H}^+}$ .

Así el punto de equivalencia,  $V_2$ , se puede obtener trazando  $(V_0 + V) a_{\text{H}^+}$  (llamado  $F_1$ ), contra  $V$  en una gráfica. (ver Fig. 5) en donde  $V = V_2$  cuando  $F_1 = 0$ .

Para obtener el valor de  $K'$  y el primer volúmen de equivalencia se toma el intervalo entre  $V_1$  y  $V_2$ , en el cual son válidas las siguientes condiciones;

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] \gg [\text{H}^+] - [\text{CO}_3^{=}] - [\text{OH}^-]$$

y

$$[\text{HCO}_3^-] \gg [\text{CO}_3^{=}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

por lo que las ecuaciones (32) y (33) se simplifican cuando;

$$(\text{V}_0 + \text{V}) [\text{H}_2\text{CO}_3] \cong (\text{V} - \text{V}_1) \text{N} \quad (36)$$

y

$$(\text{V}_0 + \text{V}) [\text{HCO}_3^-] \cong (\text{V}_2 - \text{V}) \text{N} \quad (37)$$

si  $\text{H}_2\text{CO}_3 = \frac{a_{\text{H}} [\text{HCO}_3^-]}{K_1}$ ; entonces la ec. anterior toma la forma

$$(\text{V}_0 + \text{V}) \frac{a_{\text{H}} [\text{HCO}_3^-]}{K_1} = (\text{V} - \text{V}_1) \text{N} \quad (38)$$

de esta ecuación se tiene que;

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{(\text{V}_2 - \text{V}) \text{N}}{(\text{V}_0 + \text{V})}$$

y al combinarla con la ec.(38), se transforma en

$$(\text{V} - \text{V}_1) = \frac{(\text{V}_2 - \text{V}) a_{\text{H}}}{K_1} \quad (39)$$

así se define a  $F_2$  como  $(\text{V}_2 - \text{V}) a_{\text{H}}$ , y se tiene que

$$F_2 = (\text{V}_2 - \text{V}) a_{\text{H}} = (\text{V} - \text{V}_1) K_1 \quad (40)$$

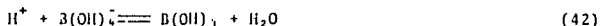
de esta ecuación se puede observar que al trazar una gráfica de

$F_2$  contra  $V$ , se obtiene  $V_1$ , ya cuando  $F_2 = 0$ ,  $V = V_1$ .

Y  $K_1'$  se puede calcular en este intervalo en la forma:

$$K_1' = \frac{V_2 - V}{V - V_1} a_{H^+} \quad (41)$$

Las principales reacciones que ocurren durante la titulación son:



estas dos últimas reacciones ya se habían mencionado con la ec. (3). En la primera parte de la curva, cuando el volumen de HCl es menor  $V_1$ , las reacciones dominantes son (42) y (43).

En el intervalo donde  $V_1 < V_{HCl} < V_2$ , la reacción dominante es la de la ec. (44) y cuando  $V > V_2$ , el incremento adicional del HCl se asume que es sólo para aumentar la concentración de protones libres,  $H^+$ . Las gráficas de Gran (1952) se pueden obtener de estas reacciones individuales, si se asume que son completamente dominantes en las respectivas secciones de la curva de titulación.

*Ecuaciones básicas para el cálculo de AT y CO2T.*

Los valores de  $V_1$  y  $V_2$  son cantidades básicas para el cálculo de AT y CO2T y se obtienen de la curva de titulación (Fig.5). Por tanto se necesitan los parámetros que expresan:

- La cantidad de ácido necesaria para titular los bicarbonatos, dada en el segundo punto de equivalencia y que corresponde a  $V_2$ , (reacción 3) y
- La cantidad de ácido utilizada para titular los carbonatos correspondiente a el primer punto de equivalencia y referido a  $V_1$ .

Las ecuaciones involucradas son:

$$AT = V_2 N_{\text{HCl}} / W_0 \quad (45)$$

$$\text{CO}_2T = (V_2 - V_1) N_{\text{HCl}} / W_0 \quad (46)$$

donde  $N_{\text{HCl}}$  es la concentración molar de HCl y  $W_0$  equivale a los gramos de la muestra;  $W_0 = V_0(\text{ml}) D$  (densidad). Los valores de  $V_1$  y  $V_2$  se determinan a partir de los valores de la fem ( $E$ ) y el volúmen de ácido adicionado ( $V$ ). Este procedimiento se realiza utilizando un método iterativo.

El volúmen  $V_2$ , se determina a partir de los de potencial ( $E = \text{fem}$ ), en el intervalo de 150 a 230 mV.

La concentración de protones se determina de;

$$[H^+] = 10^{(E-E_0)/K} \quad (47)$$

donde  $E_0 = 400$  mV y  $K$  está dado por

$$K = \frac{2.3026}{f} RT = 0.198412 T \text{ (mV)}$$

$$R = 1.98726 \text{ Cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$T = T^\circ\text{C} + 273.15$$

$$f = 23052.3 \text{ Cal / Volt mol}$$

a  $25^\circ\text{C}$   $K = 59.1565$  mV. La función  $F_2$  es calculada con la ecuación

$$F_2 = (V_0 + V) [H^+] \quad (48)$$

y  $V_0$  corresponde al volúmen de muestra titulada.

Si la función  $F_2$  se usa para identificar el punto final de los bicarbonatos y los valores de  $F_2$  se ajustan a una recta por el método de mínimos cuadrados, se tiene que;

$$F_2 = a + bV$$

28

a

$$F_2 = 0, \quad V = V_2 = -a/b. \quad (49)$$

El valor de V se determina con los valores de potencial iniciales medidos en el intervalo de -50 a 45 mV. La función  $F_1$  se calcula en la ecuación;

$$F_1 = (V_2 - V) [H^+] \quad (50)$$

a

$$F_1 = 0, \quad V = V_1 = -a'/b'$$

Los valores de  $F_1$  se ajustan a una línea recta por mínimos cuadrados

$$F_1 = a' + b'V \quad (51)$$

la exactitud de  $F_1$  y  $F_2$  se verifica comparando las F calculadas de las ecuaciones (48) y (50) con las rectas obtenidas de las ecs. (49) y (51)

$$\sigma = \sum_{i=1}^n (F_i - a - b V_i)^2 \quad (52)$$

$\sigma$  = desviación estándar.

A continuación el valor de  $E_0$  se determina de los valores de E para  $V > V_2$ :

$$E_0 = E - K \log \left[ \frac{V - V_2}{V_0 + V} \cdot N \right] \quad (53)$$

El valor promedio de  $E_0$  se usa en las iteraciones.

Cuando  $V = 0$  el potencial normal de electrodo ( $E_0$ ) se puede usar para determinar el pH de la muestra:

$$\text{pH}^0 = \frac{E - E_0}{K} \quad (54)$$

## PARTE EXPERIMENTAL

a) *Técnica de muestreo*

Se hizo la colecta de muestras en la Laguna de Términos abarcando las diferentes estaciones del año, éstas quedaron organizadas en la siguiente forma:

La época de Nortes comprende los meses de octubre y noviembre ; la de Secas los meses de febrero y marzo ; para la época de Lluvias se tomaron los resultados obtenidos en junio y julio y finalmente la época denominada Nortes 2, que comprende el mes de octubre del año siguiente y con el cual se cierra el ciclo anual. Esta colecta se realizó tanto en la superficie (con una profundidad de aproximadamente 0.02 m), como en el fondo (entre 2 y 8 m de profundidad). Durante este periodo de estudio se realizaron dos cruceros a bordo del Buque Oceanográfico "Justo Sierra" en los meses de enero y septiembre de 1985 a los que se les llamó ECOESMAR I y ECOESMAR II respectivamente. Las profundidades a las que se hizo esta recolección de muestras durante los cruceros fueron 2 y 8 m y la ubicación de las estaciones de colecta fueron las bocas de conexión entre la Laguna de Términos y la Sonda de Campeche (Boca del Carmen y Boca de Puerto Real).

En la Figura 2 se presenta el mapa geográfico de la Laguna en el cual se señala con números (del 1 al 14) la localización de las estaciones de colecta, el flujo neto de la circulación y la posición de los cruceros. La localización para cada estación de colecta se determinó tomando en cuenta la posición de la desembocadura de los ríos involucrados en el sistema fluvio-lagunar.

La colecta de muestras se efectuó utilizando la botella Van Dorn de 3.5 litros de capacidad, las muestras fueron filtradas a la brevedad posible con ayuda de filtros y prefiltros millipore tipo HA-47 de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro y almacenadas en frascos de polietileno de 1000 ml; se sellaron perfectamente con papel parafilm. Después de la colecta, las muestras fueron llevadas al laboratorio para su posterior análisis.

b) *Desarrollo analítico*

*Determinación de Alcalinidad Total y Dioxido de Carbono.*

El método analítico utilizado consiste en una titulación potencio



metrico para la cual se siguió el método propuesto por Edmond (1970) y las titulaciones se efectuaron en una celda de vidrio provista de una camisa de circulación de agua (con el objeto de mantener la hermeticidad y presión constante) evitando el intercambio de gases a medida que se añade el ácido clorhídrico (FIGURA 6).

El ácido fue añadido mediante una microbureta de 5 ml (pyrex) la cual se encuentra conectada a la celda a través de una manguera capilar (de Taygón); las lecturas de potencial se realizaron cada 0.05 ml de titulante adicionado hasta alcanzar un potencial aproximado a 250 mV. La celda fue calibrada gravimétricamente con agua destilada y desionizada a 25°C ( $V=307.5 \pm 0.08$  ml) y llenada sin permitir la presencia de burbujas en cada titulación.

En todas las determinaciones se usó un potenciómetro Corning Mod. 130 y un electrodo de vidrio combinado Corning e Instrulab. El ácido clorhídrico se preparó 0.5 N en solución de NaCl 0.43N aprox. con objeto de minimizar los cambios en el potencial de union libre durante la titulación.

#### *Valoración del Acido*

Esta valoración se realizó en cada una de las muestras y por triplicado (igual que las muestras analizadas), lo cual nos garantiza la obtención de resultados consistentes; el patrón primario fue carbonato de sodio previamente secado a 100 grados centígrados antes de su utilización, el tiempo de permanencia en la estufa fue de una hora aproximadamente en cada valoración.

El punto de equivalencia para cada una de las determinaciones se determinó mediante las indicaciones señaladas en el método de Gran (1952).

#### *Determinación de la Salinidad*

La salinidad es un parámetro de interés considerable en el estudio del Sistema del Dióxido de Carbono ya que las constantes aparentes y estequiométricas para la ionización del ácido carbónico en el agua de mar están en relación directa con los cálculos de pH (BEN-YAAKOV, 1970; GIESKES, 1969), intensidad "buffer" (PYTKOWICZ et.al., 1975) y solubilidad de carbonato de calcio y dióxido de carbono (BEN-YAAKOV et.al., 1973). Estas constantes de ioniza-



FIGURA 6. Equipo de medición de alcalinidad del laboratorio de Físicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

ción del ácido carbónico han sido determinadas por varios autores a diferentes salinidades:

AUTOR	AÑO	S ( ‰ )
Mehrbach et.al.	1973	menores de 43
Hansson	1973	menores de 43
Millero	1979	de 35 a 96 (evaporación)
Borchert	1965	inferiores a 100
Millero et.al.	1981	inferiores a 100
Valdés L.	1982	en aguas hipersalinas

A salinidades por debajo de 100 ‰, empieza a precipitar  $\text{CaSO}_4$  y la composición cambia considerablemente (FERNANDEZ et.al., 1980). En este trabajo se determinó la salinidad del agua de mar de la superficie y del fondo para cada una de las estaciones de colecta a 25°C utilizando el método propuesto por Knudsen que consiste en una técnica de precipitación; utiliza como agente valorante una solución de  $\text{AgNO}_3$  0.22N aprox. En la elaboración del método se mide una alícuota de 15 ml con una pipeta Knudsen y se transfiere a un matraz de 250 ml al cual se le agrega 15 ml del indicador (solución de 4.2 g de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  reactivo analítico con 0.7 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en 1 litro de agua destilada) y se titula usando la pipeta de Knudsen, la graduación de la cual generalmente empieza alrededor de 16.7 (la bureta suministra el doble del volumen indicado por la graduación, para aumentar la sensibilidad). El contenido del matrás se agita vigorosamente antes y después de cada adición de disolución de  $\text{AgNO}_3$ . Cerca del punto de equivalencia se enjuagan las paredes del matraz con agua destilada usando una pipeta, el precipitado rojo formado de cromato de plata se empieza a dispersar en la disolución. En el punto de equivalencia el color amarillo-verdoso del contenido del matraz cambia a amarillo y luego a rojo pálido cuando se excede al punto de equivalencia. El punto de equivalencia debe ser verificado, esperando unos segundos, si el color no es permanente, se debe agregar otra gota de disolución de  $\text{AgNO}_3$  hasta que el color sea permanente. Se anota inmediatamente la lectura de la bureta con la mayor precisión posible (0.005 ml) y se registra la temperatura de la solución de nitrato de plata y de la muestra antes de cada titulación.

$$\text{Cl} / \text{litro} (20^\circ\text{C}) = d \pm k + C_t \quad (55)$$

$C_t$  = corrección de temperatura. En el intervalo de 14-26 °C, la expansión del agua de mar y de la disolución del nitrato de plata es pequeña e igual para ambos, por lo que no se hace ninguna corrección.

La salinidad se calcula a partir del dato de clorinidad usando

la fórmula:

$$S \% = 1.80655 \text{ Cl } \%$$

puesto que lo que se determina por este método es la clorinidad,  
la precisión del método es  $\pm 0.01 \text{ Cl } \%$ . (Rosales, 1989)

## RESULTADOS

TABLA 7. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO, PARA LA LAGUNA DE TERNIPOS, OCTUBRE DE 1984.

Estacion	pH	AT	Aeq.	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> T
1 a	7.52	2.633	.224	29	20.289	1.18	.78	2.525	.813	.075	3.424	2.274
1 f	7.47	2.633	.223	28	20.413	1.05	.69	2.517	.938	.107	3.241	2.351
2 a	7.39	2.291	.251	29	11.734	.59	.4	2.241	.918	.131	4.517	2.239
2 f	7.51	2.424	.258	28.8	16.943	1.04	.7	2.343	.934	.088	3.163	2.457
3 a	7.32	2.523	.251	27.3	13.195	.84	.56	2.442	.934	.127	4.575	2.133
3 f	7.42	2.529	.133	25.4	34.457	1.14	.76	2.409	.949	.093	3.391	2.552
4 a	7.17	2.275	.324	23.5	14.327	.45	.3	2.513	.915	.23	7.961	2.753
4 f	7.59	2.594	.316	29.9	14.819	1.16	.78	2.512	.938	.088	3.093	2.633
5 a	7.5	2.54	.247	29	18.657	1.94	1.29	2.385	.968	.45	1.796	2.534
5 f	7.75	2.522	.245	28.9	18.629	1.74	1.18	2.391	.923	.055	1.949	2.498
6 a	7.46	2.534	.353	29	12.952	.81	.54	2.479	.925	.111	4.198	2.624
6 f	7.18	2.575	.255	29.3	13.097	.45	.3	2.514	.914	.278	7.994	2.784
7 a	7.57	2.357	.110	30	.007	.03	.02	2.524	.905	.153	5.161	2.654
7 f	7.15	2.498	.366	29	11.096	.37	.25	2.383	.911	.236	8.153	2.63
8 a	7.01	2.595	.926	30	5.852	.2	.13	2.594	.925	.436	13.914	2.79
8 f	7.61	2.625	.636	30	7.461	.26	.18	2.611	.907	.358	12.413	2.97

pH, escala NBS; AT, meq/kg; SS, g/l; O-CAL, porcentaje de saturación de calcita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>2</sub>, meq/l; PCO<sub>2</sub>/10<sup>-3</sup> atm.; CO<sub>2</sub>T, meq/l.

1<sup>a</sup> TABLA 8. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO, PARA LA LAGUNA DE TERNIPOS, NOVIEMBRE DE 1984.

Estacion	pH	AT	Aeq.	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> T
1 a	7.55	2.54	.199	25.5	23.057	1.3	.84	2.423	.93	.075	2.505	2.256
1 f	7.6	2.594	.203	25	23.497	1.35	.72	2.469	.954	.072	2.386	2.595
2 a	7.54	2.636	.219	25	21.472	1.22	.81	2.499	.947	.082	2.702	2.458
2 f	7.54	2.62	.219	25	21.619	1.19	.79	2.515	.946	.084	2.859	2.446
3 a	7.4	2.238	.123	24	34.339	.94	.64	2.234	.942	.09	3.68	2.556
3 f	7.95	2.11	.116	23.5	32.362	2.74	1.82	1.811	.919	.02	.682	1.951
4 a	7.61	2.649	.291	25	16.464	1.23	.82	2.552	.943	.081	2.59	2.476
4 f	7.99	2.559	.316	25	14.319	2.66	1.78	2.389	.97	.032	1.014	2.511
5 a	7.51	2.519	.224	26	20.753	1.39	.72	2.476	.941	.092	3.1	2.429
5 f	7.69	2.589	.225	26	20.783	1.6	1.07	2.451	.96	.061	2.056	2.573
6 a	7.88	2.58	.252	25	18.512	2.34	1.56	2.488	.925	.041	1.335	2.664
6 f	7.79	2.545	.26	25	18.391	1.92	1.28	2.488	.927	.05	1.625	2.677
7 a	7.04	2.656	.344	25	13.943	.33	.22	2.632	.911	.337	9.464	2.949
7 f	7.41	2.625	.234	25	20.232	.86	.57	2.552	.932	.121	3.933	2.704
8 a	7.26	2.637	.374	25	12.923	.5	.34	2.651	.916	.282	6.261	2.869
8 f	7.23	2.711	.369	25	13.626	.49	.33	2.676	.916	.214	6.718	2.525

pH, NBS escala; AT, meq/kg; SS, g/l; O-CAL, porcentaje de saturación de calcita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>2</sub>, meq/l; PCO<sub>2</sub>/10<sup>-3</sup> atm.; CO<sub>2</sub>T, meq/l.

TABLA 9. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO PARA LAS BOCAS DE CONEXION ENTRE LA LAGUNA DE TERMINOS Y FONDA DE CAMPECHE, CRUCERO ECOSMAR 1. GENERO DE 1995.

Estacion	pH	AT	Alg.	T(°C)	SL	O-CAL	O-ARG	HCO3	CO3	CO2	FCO2	CO2T
BOCA DE PUERTO REAL												
1	7.79	2.45	.119	23	37.29	2.42	1.42	2.121	.108	-.034	1.152	2.323
2	7.71	2.393	.115	22	37.623	2.3	1.33	2.168	.09	-.04	1.325	2.258
3	7.84	2.407	.116	22	37.335	2.63	1.75	2.113	.118	.029	.753	2.259
4	7.96	2.325	.111	22	37.703	2.62	1.75	2.028	.118	.027	.861	2.172
5	7.48	2.424	.115	22	37.816	1.24	.82	2.265	.056	.071	1.24	2.371
6	7.65	2.334	.114	22	37.823	1.75	1.17	2.184	.079	.047	1.531	2.312
7	7.73	2.334	.116	26.2	37.843	2.27	1.48	2.192	.098	.041	1.513	2.333
8	7.74	2.411	.115	26.1	37.825	2.11	1.4	2.18	.073	.042	1.541	2.315
9	7.59	2.407	.116	24	37.528	1.59	1.06	2.232	.071	.055	.731	2.357
10	7.69	2.404	.113	24.4	37.655	1.99	1.23	2.183	.089	.043	1.504	2.315
11	7.79	2.436	.118	24	37.376	2.46	1.64	2.165	.109	.034	1.171	2.308
12	7.79	2.409	.115	25	37.767	2.43	1.52	2.141	.108	.034	1.22	2.283
BOCA DEL CARMEN												
1	7.76	2.425	.129	23	34.039	2.15	1.43	2.193	.095	.033	1.264	2.325
2	7.68	2.354	.117	23	36.453	1.75	1.17	2.157	.078	.046	1.247	2.283
3	7.79	2.42	.127	22.5	34.319	2.3	1.54	2.17	.102	.034	1.13	2.306
4	7.7	2.358	.117	22.5	36.39	1.87	1.25	2.129	.084	.041	1.372	2.254
5	7.64	2.33	.116	22	35.17	1.65	1.1	2.146	.073	.047	1.547	2.267
6	7.7	2.332	.116	22	36.565	1.88	1.26	2.127	.084	.041	1.332	2.252
7	7.81	2.37	.119	23.5	36.112	2.43	1.62	2.103	.108	.032	1.08	2.242
8	7.79	2.351	.117	23	36.295	2.28	1.52	2.097	.102	.033	1.117	2.232
9	7.81	2.332	.115	23.5	36.557	2.37	1.58	2.069	.105	.031	1.073	2.205
10	7.75	2.318	.117	24	36.255	2.18	1.45	2.107	.097	.036	.725	2.239
11	7.8	2.385	.121	23.5	35.538	2.39	1.59	2.124	.106	.033	1.112	2.262
12	7.79	2.341	.116	24	36.468	2.33	1.55	2.084	.103	.033	1.137	2.22

pH, escala NBS; AT, meq/kg; SL, (g/kg); O-CAL, porcentaje de saturacion de calcita; O-ARG, porcentaje de saturacion de aragonita; HCO3, mmol/kg; CO3, mmol/kg; CO2, mmol/kg; PCO2/10<sup>-3</sup> atm.; CO2T, mmol/kg; Z, profundidad.

TABLA 10. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO, PARA LA LAGUNA DE TERMINOS, FEBRERO DE 1995.

Estacion	pH	AT	Alg.	T(°C)	SL	O-CAL	O-ARG	HCO3	CO3	CO2	FCO2	CO2T
1	7.8	2.751	.162	25	30.654	2.54	1.7	2.494	.108	.042	1.454	2.644
2	7.81	2.773	.157	25	31.873	2.69	1.78	2.501	.115	.041	1.41	2.656
3	7.9	2.798	.174	25.3	29.106	3.14	2.09	2.491	.132	.034	1.169	2.656
4	7.93	2.783	.177	25	28.458	3.29	2.19	2.443	.137	.031	1.048	2.631
5	7.76	2.641	.128	24.8	37.691	2.57	1.72	2.32	.114	.04	1.614	2.566
6	7.57	2.429	.125	24	37.897	1.68	1.12	2.445	.075	.043	2.285	2.583
7	7.96	3.046	.234	25.8	23.349	3.38	2.39	2.73	.14	.035	1.173	2.704
8	8.1	3.046	.234	25.8	23.534	4.69	3.13	2.678	.185	.024	.8	2.837
9	8.02	2.693	.177	25	27.407	3.69	2.46	2.327	.152	.025	.938	2.504
10	7.92	2.614	.177	25	28.794	3.25	2.17	2.496	.136	.033	1.112	2.645
11	8.07	2.882	.204	26	23.32	4.37	2.91	2.48	.175	.024	.824	2.679
12	8.15	2.918	.202	26	26.118	5.22	3.48	2.435	.211	.019	.67	2.645
13	7.79	2.525	.183	25	18.683	2.13	1.42	2.751	.078	.054	1.8	2.864
14	7.98	2.904	.204	25	18.683	3.13	2.09	2.65	.114	.035	1.132	2.798
15	7.99	2.639	.242	25	21.215	2.71	1.81	2.605	.103	.04	1.317	2.749
16	7.91	2.836	.242	24	21.176	2.77	1.85	2.595	.106	.038	1.219	2.74

pH, escala NBS; AT, meq/kg; SL, (g/kg); O-CAL, porcentaje de saturacion de calcita; O-ARG, porcentaje de saturacion de aragonita; HCO3, mmol/kg; CO3, mmol/kg; CO2, mmol/kg; PCO2/10<sup>-3</sup> atm.; CO2T, mmol/kg.

TABLA 11. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO, PARA LA LAGUNA DE TERMINOS, MARZO DE 1985.

Estacion	pH	AT	Acq.	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO3	CO3	CO2	PCO2	CO2T
1 s	7.92	2.645	.142	27.2	33.76	3.41	2.27	2.296	.146	.039	1.06	2.471
f	7.8	2.739	.157	27	31.828	3.29	2.2	2.444	.14	.033	1.202	2.616
2 s	7.91	2.737	.142	27	30.458	3.28	2.19	2.414	.137	.032	1.158	2.523
f	8	2.783	.145	26.9	30.397	4	2.67	2.39	.168	.026	.926	2.583
3 s	7.73	2.639	.131	26	37.04	2.43	1.62	2.43	.107	.045	1.639	2.382
f	7.72	2.64	.129	26	36.938	2.32	1.55	2.392	.102	.045	1.65	2.339
4 s	7.93	2.675	.237	28	23.453	3.41	2.28	2.779	.131	.04	1.415	2.95
f	7.91	2.66	.235	28	23.5	3.31	2.21	2.773	.127	.041	1.424	2.94
5 s	8.04	2.753	.152	29	30.743	4.4	2.93	2.322	.162	.033	.886	2.333
f	7.95	2.757	.152	28.7	30.881	3.55	2.37	2.42	.148	.031	1.17	2.598
6 s	7.94	2.818	.174	29.5	29.236	3.73	2.35	2.481	.145	.032	1.203	2.458
f	7.94	2.802	.173	29.8	29.253	3.58	2.39	2.461	.146	.032	1.184	2.437
7 s	7.89	2.716	.173	28	28.324	3.05	2.03	2.426	.124	.035	1.286	2.565
f	7.86	2.663	.171	26.8	28.169	2.75	1.83	2.398	.113	.037	1.312	2.549
8 s	7.84	2.54	.137	26	33.703	2.82	1.88	2.271	.12	.035	1.302	2.426
f	7.85	2.604	.139	26.1	33.211	2.91	1.94	2.306	.124	.035	1.304	2.465

pH, escala NBS; AT, meq/l; SS., (g/l); O-CAL, porcentaje de saturación de calcita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO3, mmol/l; CO3, mmol/l; CO2, mmol/l; PCO2/10<sup>-3</sup> atm.; CO2T, mmol/l.

TABLA 12. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO, PARA LA LAGUNA DE TERMINOS, JUNIO DE 1985.

Estacion	pH	AT	Acq.	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO3	CO3	CO2	PCO2	CO2T
1 s	7.82	2.422	.115	30	37.907	2.77	1.85	2.129	.119	.033	1.344	2.281
f	7.65	2.437	.116	28	37.912	1.92	1.28	2.23	.084	.05	1.934	2.344
2 s	7.75	2.697	.151	30	34.603	2.77	1.85	2.621	.117	.049	1.96	2.788
f	7.71	2.679	.15	29	34.629	2.52	1.68	2.625	.107	.053	2.059	2.784
3 s	7.79	2.365	.111	29	38.521	2.56	1.71	2.089	.111	.034	1.244	2.234
f	7.78	2.33	.109	30	38.543	2.49	1.66	2.063	.107	.035	1.414	2.295
4 s	7.94	2.002	.178	30	31.057	4.13	2.75	2.608	.17	.032	1.248	2.81
f	7.91	2.009	.178	30	31.337	3.8	2.54	2.645	.157	.036	1.396	2.838
5 s	7.73	2.819	.152	31	33.445	2.56	1.71	2.568	.106	.032	2.105	2.727
f	7.8	2.829	.151	31	33.836	2.99	1.99	2.535	.125	.044	1.764	2.703
6 s	7.86	2.878	.159	30	32.621	3.22	2.21	2.554	.138	.037	1.516	2.731
f	7.84	2.888	.159	30	32.766	3.2	2.13	2.573	.134	.041	1.597	2.747
7 s	7.7	2.675	.164	29	29.408	2.92	1.35	2.478	.084	.054	1.958	2.416
f	7.69	2.736	.167	31	29.209	3.21	1.14	2.435	.129	.056	1.459	2.4
8 s	7.71	2.214	.109	29	32.229	2.13	1.42	2.084	.092	.041	1.602	2.217
f	7.75	2.307	.109	30	38.237	2.33	1.35	2.057	.1	.037	1.497	2.195
9 s	7.81	2.344	.111	31	38.504	2.72	1.81	2.056	.116	.033	1.35	2.205
f	7.83	2.401	.112	30	38.64	2.87	1.81	2.095	.124	.031	1.267	2.25
10 s	7.77	2.814	.152	30	33.359	2.75	1.93	2.543	.115	.046	1.832	2.704
f	7.64	2.816	.151	29	33.594	2.08	1.38	2.608	.089	.063	2.429	2.759
11 s	7.62	3.07	.204	30	27.214	2	1.33	2.889	.079	.079	3.023	3.947
f	7.56	2.957	.196	31	27.464	1.81	1.21	2.824	.071	.085	3.345	3.98
12 s	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
f	7.67	2.728	.165	28	25.877	2.99	2	2.437	.124	.056	1.346	2.598
13 s	7.79	2.624	.172	31	27.509	2.17	1.44	2.427	.085	.053	2.067	2.565
f	7.58	2.6	.169	30	27.274	1.54	1.02	2.456	.061	.074	2.853	2.592
14 s	7.53	2.423	.119	30	36.919	1.52	1.01	2.264	.065	.068	2.442	2.397
f	7.61	2.456	.118	30.5	37.723	2.76	1.84	2.167	.118	.035	1.727	2.32

pH, escala NBS; AT, meq/l; SS., (g/l); O-CAL, porcentaje de saturación de calcita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO3, mmol/l; CO3, mmol/l; CO2, mmol/l; PCO2/10<sup>-3</sup> atm.; CO2T, mmol/l; N.R., nuestra nota.



TABLA 13. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO, PARA LA LAGUNA DE TERMINOS, JULIO DE 1985.

Estacion	pH	AT	Aeq.	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO3	CO3	CO2	PCO2	CO2T
1 g	7.92	2.375	.121	29.2	35.377	2.83	1.75	2.102	.112	.033	1.322	2.247
f	7.85	2.345	.112	29.4	35.681	1.96	1.3	2.125	.084	.047	1.514	2.266
2 g	7.93	2.838	.153	29.4	35.483	3.63	2.02	2.437	.128	.041	1.406	2.706
f	7.81	2.867	.155	29.7	33.266	3.04	2.03	2.566	.128	.042	1.458	2.736
3 g	7.79	2.787	.112	30.3	36.975	2.16	1.44	2.037	.105	.035	1.404	2.177
f	7.64	2.794	.11	30	37.716	1.82	1.21	2.1	.078	.049	1.788	2.227
4 g	7.69	2.798	.19	30.2	23.995	1.76	1.17	2.273	.067	.059	2.328	2.499
f	7.64	2.896	.155	29	28.459	1.75	1.17	2.439	.071	.063	2.371	2.573
5 g	7.53	2.851	.15	30.4	34.225	2.12	1.41	2.641	.089	.066	2.842	2.796
f	7.27	2.895	.141	30.2	34.281	2.63	1.74	2.42	.11	.045	1.779	2.525
6 g	7.24	2.771	.151	30.6	32.222	3.55	2.08	2.464	.13	.047	1.532	2.633
f	7.20	2.679	.144	30.9	33.539	2.73	1.62	2.409	.114	.043	1.73	2.565
7 g	7.97	2.459	.156	30.2	25.711	2.66	1.77	2.223	.125	.035	1.348	2.363
f	7.63	2.62	.152	29.5	29.289	1.78	1.19	2.449	.073	.064	2.431	2.586
8 g	7.29	2.431	.122	31	35.921	1.14	.76	2.314	.048	.077	3.947	2.458
f	7.71	2.412	.128	31	33.776	2.32	1.55	2.165	.098	.04	1.577	2.303
9 g	7.86	2.275	.116	30	35.403	2.73	1.82	1.989	.116	.029	1.154	2.134
f	7.59	2.307	.117	30	35.719	1.56	1.04	2.143	.066	.057	2.356	2.289
10 g	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.
11 g	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.	H.R.
f	7.69	2.774	.272	30	16.422	1.72	1.15	2.64	.06	.071	2.592	2.771
12 g	7.80	2.545	.144	29.5	32.011	3.02	2.31	2.245	.126	.032	1.249	2.403
f	7.86	2.595	.139	30	32.84	2.92	1.95	2.245	.122	.034	1.333	2.379
13 g	7.78	2.549	.419	30	10.983	1.55	1.03	2.445	.045	.061	2.133	2.356
f	7.87	2.606	.193	29	21.35	2.62	1.75	2.373	.101	.039	1.427	2.512
14 g	7.82	2.521	.122	30	32.656	2.23	1.99	2.12	.087	.032	1.985	2.286
f	7.86	2.359	.125	30	34.106	2.62	1.88	2.08	.119	.031	1.207	2.229

pH, escala NBS; AT, meq/l; SS, (g/l); O-CAL, porcentaje de saturación de calcita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO3, meq/l; CO2, meq/l; PCO2/10<sup>-3</sup> ata.; CO2T, meq/l; H.R., muestra rota.

TABLA 14. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL DIOXIDO DE CARBONO PARA LAS Bocas DE CONEXION ENTRE LA LAGUNA DE TERMINOS Y FONDA DE CAMPECHE, CRUCERO ECOSMAR 2, (SEPT. DE 1985).

Estacion	pH	AT	Aeq.	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO3	CO3	CO2	PCO2	CO2T	
BOCA DE PUERTO PEAL													
1	Z(m)	7.76	2.506	.12	23.3	37.639	2.37	1.58	2.244	.106	.037	1.272	2.387
2	0	7.86	2.473	.119	23.3	37.498	2.87	1.91	2.155	.128	.028	.965	2.312
2	2	7.8	2.493	.12	23.1	37.558	2.55	1.7	2.211	.114	.033	1.137	2.358
0	7.8	2.507	.121	23.2	37.48	2.56	1.7	2.226	.114	.034	1.149	2.374	
3	2	7.82	2.515	.121	23.1	37.559	2.89	1.79	2.218	.112	.032	1.07	2.37
0	7.81	2.506	.121	23.1	37.498	2.63	1.75	2.215	.117	.032	1.09	2.365	
4	2	7.77	2.521	.122	23	37.441	2.39	1.59	2.257	.107	.037	1.257	2.401
0	7.81	2.441	.117	23	37.567	2.53	1.68	2.16	.113	.032	1.087	2.305	
5	2	7.81	2.493	.12	22.9	37.604	2.59	1.73	2.205	.116	.033	1.102	2.354
0	7.84	2.463	.12	22.9	37.541	2.73	1.82	2.182	.122	.03	1.022	2.324	
6	2	7.83	2.521	.12	23.2	37.44	2.75	1.84	2.217	.123	.031	1.044	2.371
0	7.86	2.487	.12	23.1	37.381	2.83	1.89	2.173	.127	.029	.985	2.329	
BOCA DEL CARMEN													
7	2	7.86	2.459	.118	23.5	37.782	2.87	1.91	2.141	.128	.028	.966	2.277
9	7.89	2.443	.117	23.1	37.836	3.04	2.03	2.104	.136	.025	.865	2.265	
0	7.87	2.482	.119	23.6	37.706	2.96	1.98	2.154	.132	.028	.951	2.314	
0	7.89	2.485	.119	23.2	37.704	3.06	2.04	2.145	.137	.026	.894	2.309	
9	2	7.9	2.429	.116	23.7	37.747	3.08	2.03	2.087	.137	.025	.862	2.249
0	7.87	2.456	.118	23.2	37.576	2.89	1.93	2.134	.129	.027	.934	2.291	
10	2	7.95	2.494	.119	23.7	37.927	2.86	1.91	2.178	.128	.029	1.012	2.334
0	7.84	2.457	.118	23.5	37.759	2.71	1.81	2.154	.121	.03	1.039	2.308	
11	2	7.81	2.371	.113	23.2	37.778	2.48	1.65	2.094	.111	.031	1.055	2.235
0	7.83	2.503	.12	23.1	37.891	2.72	1.82	2.201	.122	.031	1.057	2.254	
12	2	7.87	2.241	.108	23.4	37.927	2.66	1.78	1.96	.119	.025	.868	2.104
0	7.89	2.521	.119	23.3	38.316	2.75	1.84	2.226	.123	.032	1.085	2.38	

pH, escala NBS; AT, meq/l; SS, (g/l); O-CAL, porcentaje de saturación de calcita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO3, meq/l; CO2, meq/l; PCO2/10<sup>-3</sup> ata.; CO2T, meq/l; Z, profundidad.

TABLA 15. PARAMETROS DEL SISTEMA DEL BIODIÓXIDO DE CARBONO, PARA LA  
LAGUNA DE TERMINOS, OCTUBRE DE 1965.

Estacion	pH	AT	Aeq.	TPCl	SS.	O-CAL	O-ARG	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>	CO <sub>2T</sub>
1 a	7.64	2.633	.151	30	31.439	2	1.33	2.437	.083	.038	2.258	2.378
f	7.75	2.798	.161	29	31.305	2.48	1.66	2.555	.103	.05	1.992	2.739
2 a	7.77	2.789	.167	29	30.154	2.52	1.68	2.546	.104	.018	1.825	2.498
f	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
3 a	7.92	2.108	.116	30	32.777	2.75	1.83	1.824	.115	.024	.936	1.763
f	7.66	2.573	.143	29	32.461	1.28	.85	2.445	.054	.09	3.436	2.588
4 a	7.45	2.427	.2	30.5	21.909	.39	.66	2.343	.036	.101	3.268	2.48
f	7.74	2.867	.235	28.5	22.016	2.1	1.4	2.689	.079	.06	2.165	2.828
5 a	7.79	2.858	.193	29	26.819	2.58	1.72	2.621	.103	.049	1.823	2.773
f	7.81	2.7	.18	28	27.139	2.53	1.69	2.463	.102	.043	1.574	2.608
6 a	7.87	2.727	.192	31	25.681	2.91	1.94	2.469	.112	.04	1.359	2.621
f	7.69	2.312	.165	29	25.825	1.7	1.14	2.204	.067	.052	1.928	2.323
7 a	7.83	2.45	2.724	29	1.625	.55	.36	2.415	.017	.07	2.286	2.502
f	7.78	2.633	.866	28.5	5.493	1.1	.74	2.571	.029	.072	2.377	2.672
8 a	7.68	2.391	.128	30	33.876	1.96	1.31	2.19	.083	.048	1.913	2.321
f	7.75	2.367	.124	29	34.523	2.2	1.47	2.139	.094	.04	1.565	2.272
9 a	7.73	2.696	.157	29	31.107	2.3	1.54	2.47	.096	.05	1.914	2.616
f	7.73	3.599	.215	29	30.912	3.07	2.05	3.31	.127	.068	2.568	3.505
10 a	7.75	2.576	.18	29.5	25.783	2.1	1.4	2.385	.082	.058	1.874	2.517
f	7.68	2.512	.174	29	26.078	1.76	1.18	2.351	.07	.057	2.128	2.478
11 a	7.87	2.395	.896	29.5	5.431	1.39	.93	2.618	.036	.06	2.046	2.715
f	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
12 a	7.68	2.371	.188	30.5	22.772	1.6	1.06	2.233	.059	.058	2.183	2.25
f	7.88	2.576	.204	30	22.859	2.65	1.76	2.348	.099	.038	1.422	2.465
13 a	7.74	2.711	14.9	28	.328	.14	.09	2.691	.01	.104	3.307	2.505
f	7.71	2.62	19.5	28	.243	.1	.06	2.603	.009	.109	3.476	2.721
14 a	7.8	2.294	.14	30	30.977	2.38	1.59	2.159	.098	.038	1.478	2.295
f	7.76	2.465	.143	29	31.159	2.22	1.48	2.244	.092	.043	1.639	2.377

pH, escala NBS; AT, meq/l; SS., lg/l; O-CAL, porcentaje de saturación de calizas; O-ARG, porcentaje de saturación de argonitas; HCO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>2</sub>, meq/l; PCO<sub>2</sub>/10<sup>-3</sup> atm.; CO<sub>2T</sub>, meq/l; N.R., muestra rota.

TAULA 16. PROMETES POP EPOCA PER ALS DIVERSOS PARAMETRES DEL SISTEMA DEL SIGKINDO DE CARBONIC.

Estacio	pH	t°	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG	pH	AT	T(°C)	SS.	O-CAL	O-ARG
HORTES (1)												
1 s	7.35	2.987	27.3	21.673	1.24	-0.2	7.51	2.694	26.1	32.267	2.98	1.99
f	7.34	2.614	26.5	21.735	.903	.81	7.86	2.352	26	31.851	2.99	1.99
2 s	7.48	2.611	27	16.604	.81	-0.61	7.91	2.572	25.2	29.782	3.21	2.14
f	7.34	2.572	26.9	19.381	1.115	.75	7.97	2.554	26	29.420	2.98	2.48
3 s	7.31	2.621	25.7	26.792	.9	-0.6	7.25	2.547	25.4	37.266	2.5	1.67
f	7.69	2.377	25	33.645	1.94	1.29	7.45	2.512	25	37.418	2	1.34
4 s	7.39	2.612	26.8	15.416	.84	.54	7.95	2.735	26.9	23.451	3.49	2.34
f	7.79	2.599	27	14.819	1.91	1.28	8.51	2.736	26.5	28.501	2.67	2.67
5 s	7.46	2.355	27.5	19.685	1.31	1.61	8.53	2.582	27	29.075	3.42	2.69
f	7.72	2.354	27.4	19.767	1.68	1.13	7.83	2.586	26.9	29.029	3.4	2.77
6 s	7.47	2.637	27	15.737	1.573	1.05	8.01	2.427	27.3	27.383	3.95	2.63
f	7.49	2.61	27.2	15.744	.19	.91	8.65	2.686	27.4	27.684	4.4	2.74
7 s	7.37	2.307	27.5	6.975	.12	.12	7.84	2.571	26.5	28.504	2.39	1.93
f	7.28	2.517	27	16.864	.62	.41	7.92	2.309	25.9	28.324	2.94	1.96
8 s	7.14	2.641	27.5	9.023	.35	.24	7.87	2.49	26.5	27.459	2.77	1.85
f	7.14	2.659	27.5	10.362	.38	.24	7.88	2.461	26.1	27.494	2.84	1.89
LLUVA:												
HORTES (2)												
1 s	7.87	2.999	29.9	31.642	2.7	1.8	7.65	2.633	30	31.459	2	1.33
f	7.66	2.899	29	37.899	1.94	1.29	7.25	2.798	29	31.303	2.48	1.66
2 s	7.79	2.646	29.4	34.828	2.9	1.94	7.77	2.789	29	30.154	2.52	1.65
f	7.76	2.873	29.8	33.988	2.79	1.86	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
3 s	7.79	2.331	29.8	37.659	2.51	1.68	7.92	2.108	30	32.777	2.75	1.83
f	7.71	2.312	30	35.155	2.16	1.44	7.66	2.373	29	32.461	1.28	.85
4 s	7.82	2.765	30.1	27.524	2.65	1.94	7.45	2.427	30.5	31.909	.99	.66
f	7.78	2.809	29.5	29.898	2.76	1.86	7.74	2.667	29.5	32.016	2.1	1.4
5 s	7.68	2.875	30.7	33.84	2.84	1.54	7.79	2.858	29	26.819	2.58	1.72
f	7.79	2.756	30.6	34.109	2.81	1.87	7.81	2.7	28	27.139	2.53	1.69
6 s	7.87	2.875	30.3	32.922	3.13	2.15	7.87	2.727	31	25.681	2.91	1.94
f	7.81	2.782	30.5	32.187	2.97	1.98	7.69	2.342	27	25.625	1.7	1.14
7 s	7.79	2.572	29.6	28.175	2.34	1.51	7.81	2.45	29	1.625	.35	.24
f	7.76	2.678	30.3	25.399	2.95	1.67	7.78	2.633	28.5	5.493	1.1	.74
8 s	7.57	2.873	30	37.648	1.64	1.09	7.68	2.391	30	33.871	1.96	1.31
f	7.76	2.853	30	26.017	2.325	1.52	7.25	2.247	29	34.323	2.2	1.47
9 s	7.84	2.31	30.5	36.954	2.722	1.87	7.73	2.684	29	31.157	2.3	1.51
f	7.71	2.354	30	32.72	2.72	1.48	7.72	2.599	29	30.912	3.07	2.25
10 s	7.77	2.816	30	33.329	2.75	1.83	7.75	2.574	29.5	25.783	2.1	1.4
f	7.64	2.97	29	33.574	2.88	1.38	7.48	2.512	29	24.078	1.76	1.18
11 s	7.68	2.97	30	28.947	2.31	1.47	7.87	2.695	29.5	5.431	1.89	.93
f	7.64	2.881	30.5	22.944	1.77	1.18	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
12 s	7.85	2.845	29.5	32.811	3.02	2.61	7.48	2.571	30.5	24.772	1.6	1.04
f	7.87	2.632	29	31.939	2.94	1.98	7.88	2.574	30	22.839	2.65	1.74
13 s	7.71	2.380	30.5	19.784	1.84	1.24	7.74	2.711	30	.878	-14	-0.97
f	7.73	2.623	29.5	26.862	2.02	1.39	7.71	2.62	28	.283	-1	-0.86
14 s	7.71	2.753	30	25.943	2.19	1.44	7.8	2.394	30	30.977	2.86	1.59
f	7.84	2.413	30.3	25.915	2.79	1.86	7.76	2.462	29	31.159	2.22	1.46

pH, escala NBS; AT, meq/l; SS., g/l; O-CAL, porcentaje de saturación de calcaita; O-ARG, porcentaje de saturación de aragonita; HCO<sub>3</sub>, meq/l; CO<sub>2</sub>, meq/l; CO<sub>2</sub>, meq/10<sup>-3</sup> atm; CO<sub>2</sub>, meq/l; N.R. = nuestra red.

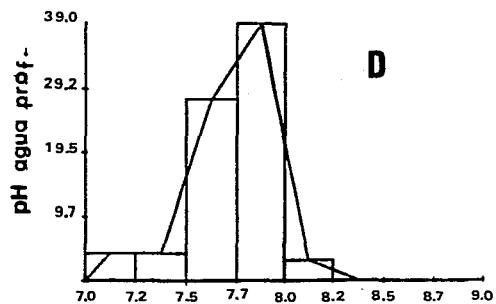
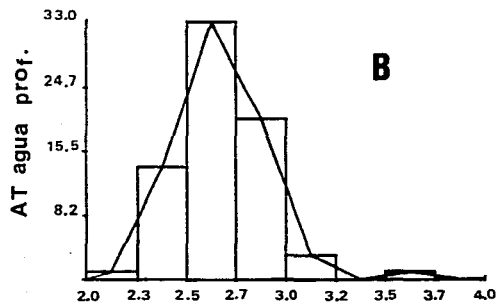
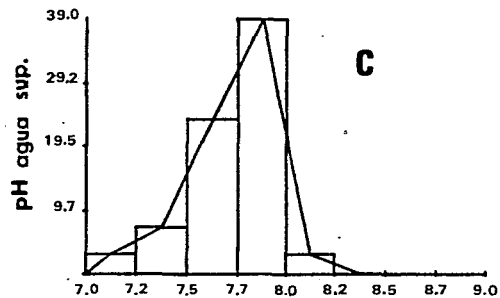
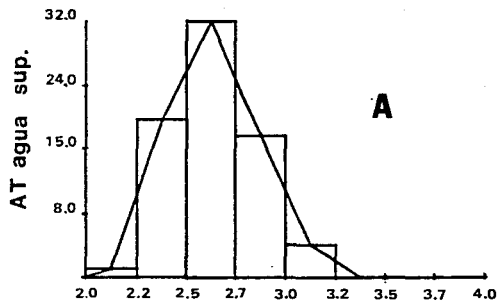
TABLA 17. MEDIDAS DE CENTRALIZACION Y DISPERSION DE DIFERENTES  
 EPOCAS CLIMATICAS, PARA LOS DIVERSOS PARAMETROS MEDIDOS.

Medida	pH	K7	T(°C)	S%	O-CAL	O-ARG	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>
HUMEDADES: a) Superficie										
MEDIA	7.44	2.54	27	16.42	.93	.62	2.46	.03	.14	4.8
D.E.	.24	.122	2.133	7.716	.614	.408	.118	.022	.039	3.299
VARIANZA	.057	.015	4.572	59.526	.377	.166	.013	0	.009	10.865
V.MAX.	7.88	2.687	30	34.389	2.24	1.56	2.651	.085	.404	13.716
V.MIN.	7.01	2.281	24	.907	.03	.32	2.254	.065	.641	1.335
C.DE K.	2.51	2.935	1.35	3.962	3.662	3.692	3.15	2.738	4.533	4.734
b) Fondo										
MEDIA	7.52	2.54	26.8	18.92	1.25	.83	2.44	.04	.11	4.06
D.E.	.278	.14	2.202	7.093	.743	.494	.191	.029	.092	3.172
VARIANZA	.077	.019	1.42	50.181	.553	.245	.036	0	.008	10.061
V.MAX.	7.99	2.731	30	34.467	2.74	1.82	2.676	.119	.358	12.413
V.MIN.	7.04	2.11	23.2	7.461	.26	.18	1.811	.007	.02	.682
C.DE K.	2.18	2.581	1.467	3.359	2.661	2.651	6.674	3.942	3.815	4.017
SECAS: a) Superficie										
MEDIA	7.89	2.78	26.47	29.77	3.19	2.12	2.48	.13	.03	1.24
D.E.	.097	.141	1.461	5.376	.652	.433	.16	.016	.008	.271
VARIANZA	.009	.019	2.136	29.124	.425	.187	.025	0	0	.073
V.MAX.	8.07	3.075	29	37.691	4.4	3.93	2.779	.182	.056	1.8
V.MIN.	7.73	2.54	24.8	18.183	2.13	1.42	2.271	.078	.023	.824
C.DE K.	2.365	2.754	1.604	2.318	2.429	2.429	2.348	2.814	3.351	2.622
b) Fondo										
MEDIA	7.9	2.79	26.2	29.82	3.27	2.18	2.48	.13	.03	1.23
D.E.	.135	.134	1.598	5.339	.855	.571	.118	.033	.009	.353
VARIANZA	.018	.017	2.553	28.511	.731	.326	.014	.001	0	.125
V.MAX.	8.15	3.04	28.6	37.897	5.22	3.48	2.773	.211	.043	2.295
V.MIN.	7.57	2.404	24	18.483	1.68	1.12	2.304	.075	.019	.67
C.DE K.	4.042	2.623	1.869	2.425	3.476	3.459	3.311	3.284	5.134	4.806
LLUVIAS: a) Superficie										
MEDIA	7.76	2.6	30.05	32.35	2.49	1.66	2.35	.1	.04	1.84
D.E.	.12	.248	.381	3.843	.629	.419	.247	.028	.017	.671
VARIANZA	.014	.061	.338	34.146	.395	.175	.051	0	0	.45
V.MAX.	7.96	3.07	31	38.521	4.13	2.75	2.889	.17	.097	3.947
V.MIN.	7.39	2.225	29	10.883	1.14	.74	1.989	.045	.027	1.085
C.DE K.	4.779	1.687	2.694	7.916	3.579	3.568	2.002	3.218	4.067	4.884
b) Fondo										
MEDIA	7.74	2.61	29.8	32.8	2.45	1.62	2.36	.1	.04	1.85
D.E.	.151	.224	.739	4.81	.586	.398	.22	.025	.014	.54
VARIANZA	.01	.03	.607	23.185	.355	.158	.046	0	0	.392
V.MAX.	7.91	3.029	31	38.64	3.8	2.54	2.874	.157	.095	3.945
V.MIN.	7.59	2.294	28	18.423	1.54	1.02	2.057	.06	.031	1.207
C.DE K.	1.626	1.774	3.467	4.163	2.174	2.187	1.885	2.126	3.075	3.361

TAMA 17. MEDIDAS DE CENTRALIZACION Y DISPERSION DE DIFERENTES  
EPISODIOS CLIMATICOS, PARA LOS DIVERSOS PARAMETROS METEOROL. Gen.

Medida	pH	AT	T(°C)	SS.	0-CAL	0-MRG	MG03	CO3	CO2	PC02
MORTES 2: a) Superficie										
MEDIA	7.75	2.35	29.54	22.9	1.86	1.24	2.38	.07	.05	2.08
D.E.	.114	.287	.798	11.688	.837	.359	.128	.033	.022	.72
VARIANZA	.013	.083	.631	136.629	.701	.133	.052	.001	0	.518
V.MAX.	7.92	2.858	31	33.876	2.91	1.94	2.691	.115	.104	3.608
V.MIN.	7.45	2.108	28	.328	.14	.09	1.824	.01	.024	.936
C.DE K.	4.402	2.563	2.593	2.66	2.516	2.518	3.663	1.947	3.458	3.994
b) Fondo										
MEDIA	7.72	2.47	28.83	24.16	1.93	1.29	2.49	.07	.04	2.18
D.E.	.1	.329	.536	10.719	.809	.541	.308	.033	.021	.687
VARIANZA	.01	.108	.287	114.91	.653	.292	.094	.001	0	.472
V.MAX.	7.98	3.999	30	34.528	3.07	2.05	3.31	.127	.109	3.474
V.MIN.	7.46	2.362	28	.243	.1	.06	2.138	.009	.038	1.422
C.DE K.	5.847	4.378	3.422	3.549	3.299	3.297	5.219	2.691	3.219	2.667
ENERO DE 1985, (Ecoomar-1) a) Superficie										
MEDIA	7.78	2.4	23.3	36.5	2.15	1.43	2.16	.09	.03	1.85
D.E.	.109	.039	1.274	1.291	.426	.283	.053	.018	.012	.412
VARIANZA	.011	.003	1.625	1.667	.182	.081	.003	0	0	.17
V.MAX.	7.94	2.45	26.6	37.843	2.43	1.75	2.263	.118	.071	2.34
V.MIN.	7.98	2.33	22	34.089	1.74	.82	2.049	.056	.029	.953
C.DE K.	3.488	2.431	4.807	2.361	2.813	2.843	2.414	2.723	4.418	3.757
b) Fondo										
MEDIA	7.71	2.36	23.33	37.08	2.09	1.4	2.13	.09	.03	1.31
D.E.	.063	.03	1.344	.684	.274	.183	.047	.012	.005	.286
VARIANZA	.003	0	1.842	.468	.074	.033	.002	0	0	.042
V.MAX.	7.86	3.411	26.1	37.876	2.62	1.75	2.186	.118	.047	1.547
V.MIN.	7.63	2.323	22	36.395	1.79	1.17	2.078	.078	.027	.881
C.DE K.	3.829	1.609	2.82	1.039	2.121	2.139	2.867	2.827	2.286	2.589
SEPTIEMBRE, (Ecoomar-2) a) Superficie										
MEDIA	7.82	2.46	23.3	37.69	2.68	1.79	2.16	.12	.03	1.05
D.E.	.042	.074	.271	.149	.224	.13	.084	.009	.003	.181
VARIANZA	.001	.005	.073	.072	.05	.022	.007	0	0	.017
V.MAX.	7.9	2.321	23.7	37.937	3.08	2.05	2.257	.137	.037	1.272
V.MIN.	7.76	2.261	22.9	37.441	2.37	1.38	1.96	.106	.023	.862
C.DE K.	4.671	4.982	1.917	0	1.993	1.959	3.807	1.963	2.14	2.285
b) Fondo										
MEDIA	7.84	2.48	23.16	37.66	2.77	1.85	2.17	.12	.02	1.81
D.E.	.03	.026	.135	.288	.168	.114	.038	.007	.002	.088
VARIANZA	0	0	.024	.061	.028	.013	.001	0	0	.007
V.MAX.	7.89	2.521	23.3	38.316	3.04	2.04	2.226	.187	.034	1.149
V.MIN.	7.8	2.441	22.9	37.386	2.33	1.48	2.104	.119	.023	.843
C.DE K.	17.132	1.838	4.469	6.309	2.181	2.187	2.133	2.129	2.034	1.998

D.E. = Desviación Estándar; V.MAX. = Valor máximo; V.MIN. = Valor mínimo; C.DE K. = Coeficiente de Kurt



**FIGURA 7**

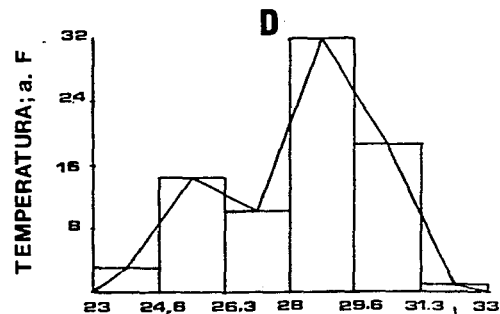
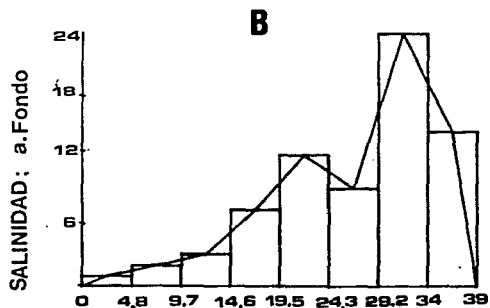
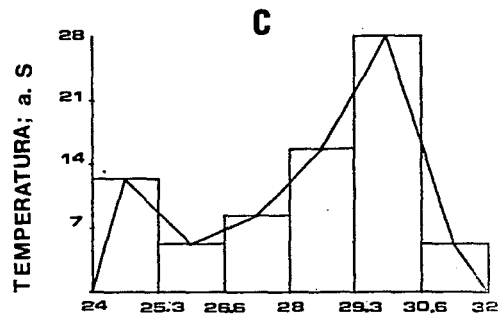
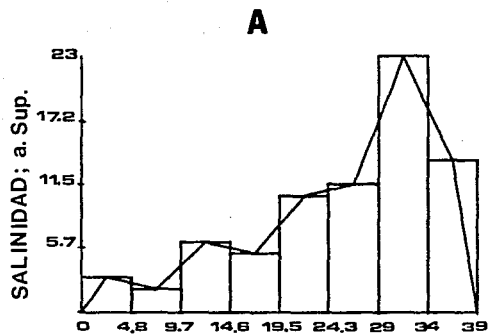


FIGURA 8

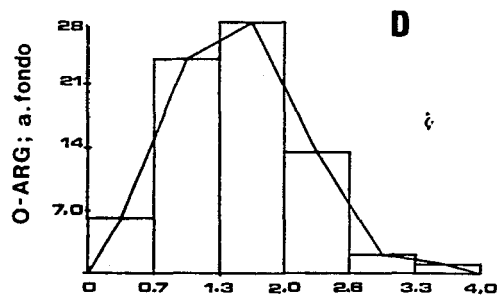
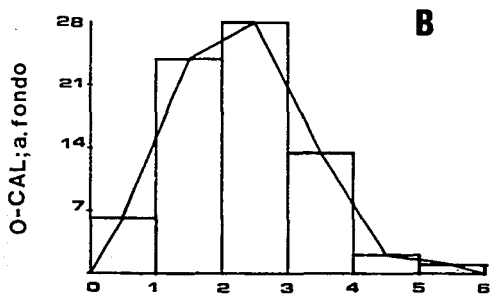
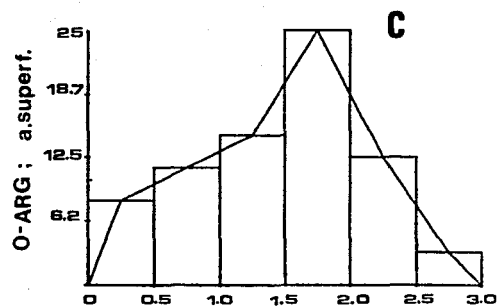
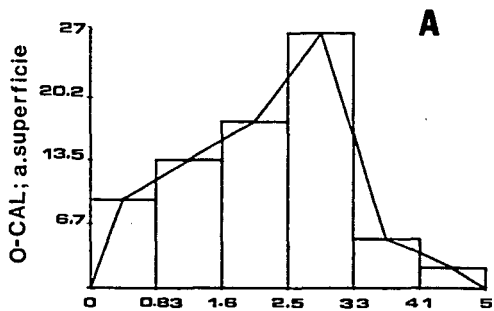


FIGURA 9



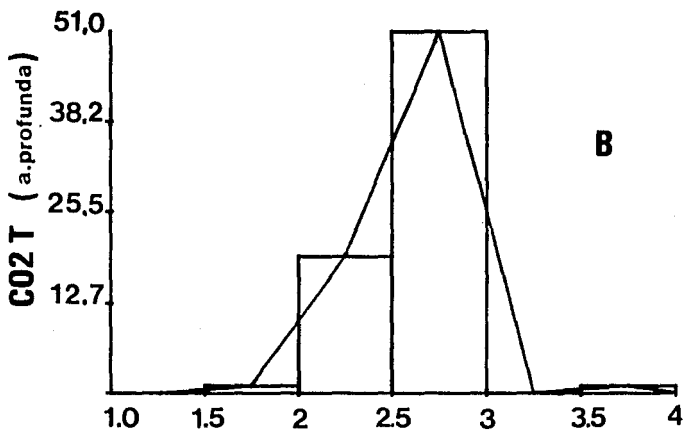
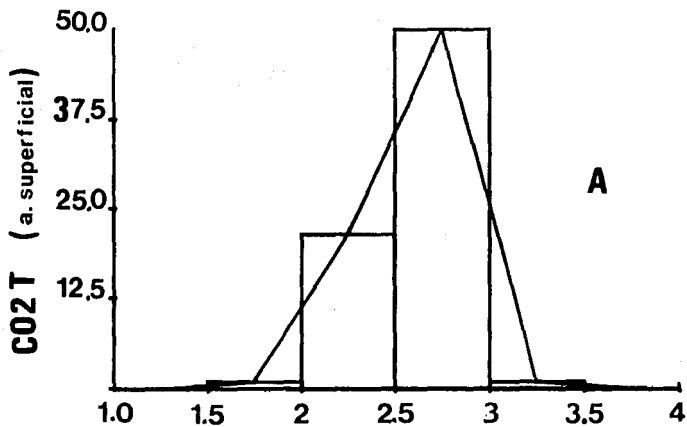
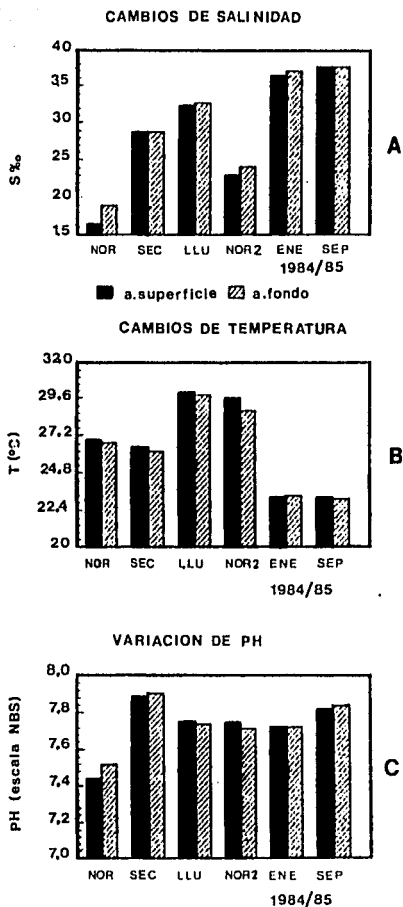
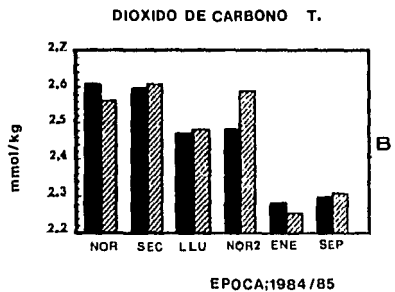
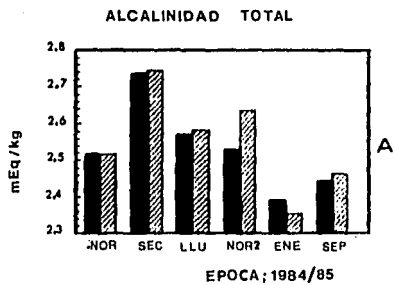


FIGURA 10

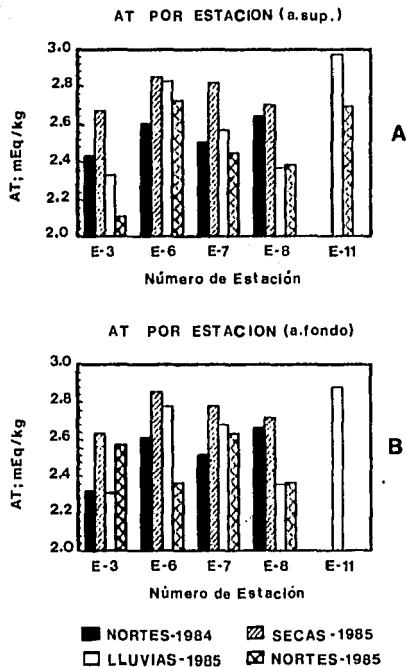


**FIGURA 11**

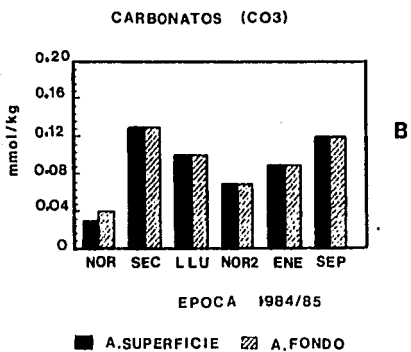
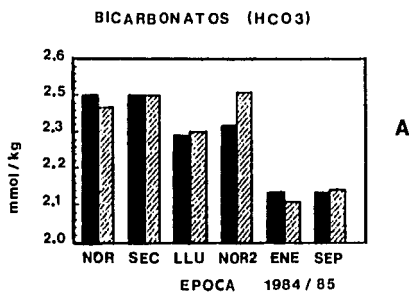


■ A, Superficie    ▨ A, Fondo

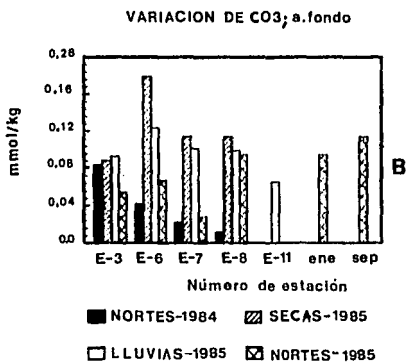
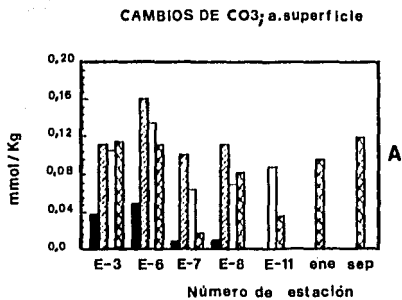
**FIGURA 12**



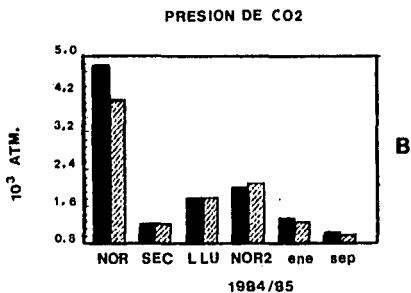
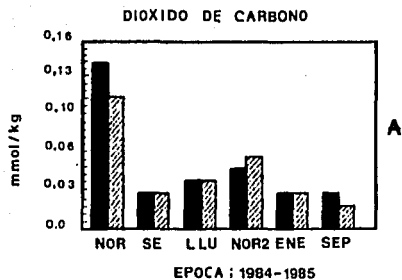
**FIGURA 13**



**FIGURA 14**

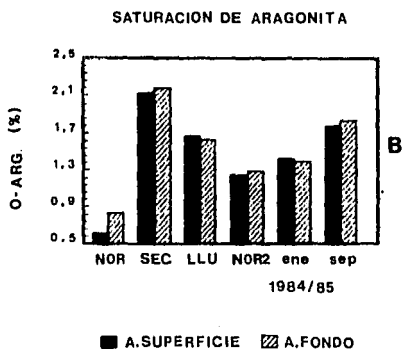
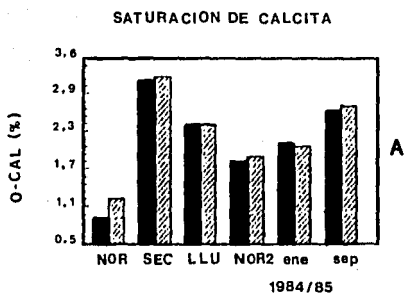


**FIGURA 15**



■ A-SUPERFICIE    ▨ A-FONDO

**FIGURA 16**



**FIGURA 17**



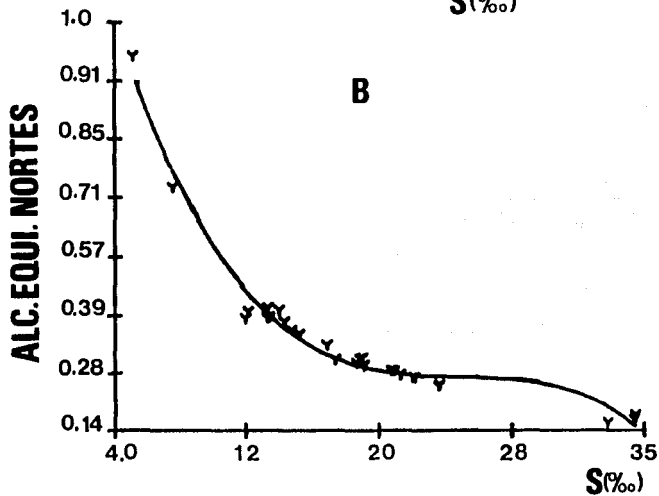
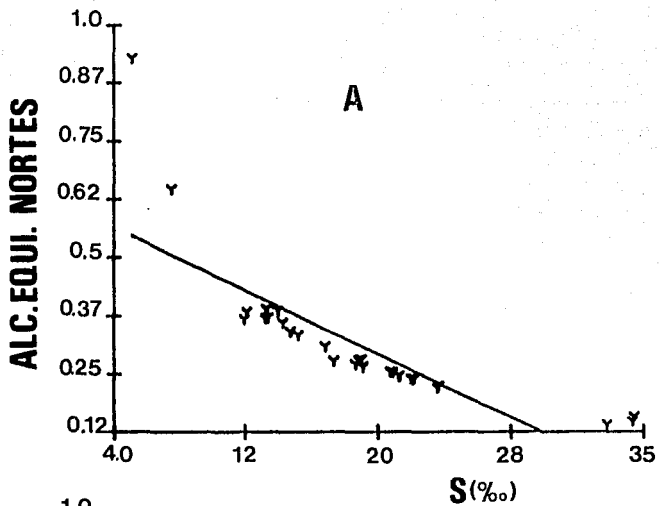


FIGURA 18

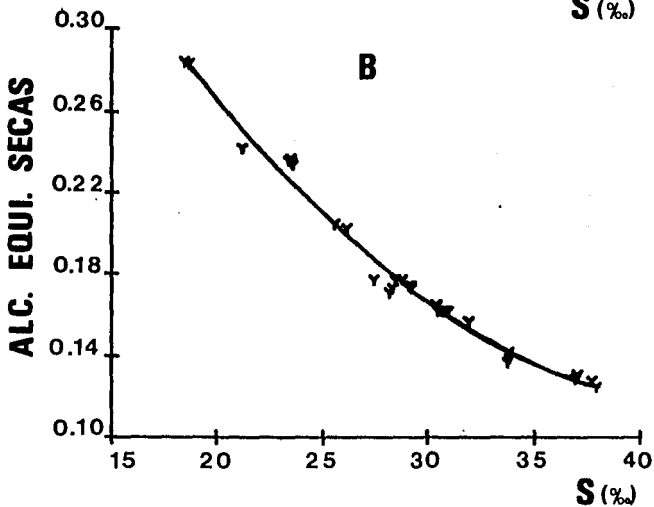
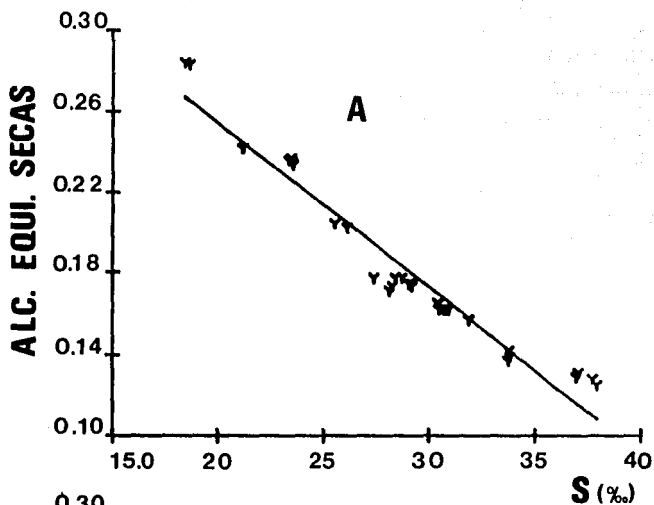


FIGURA 19

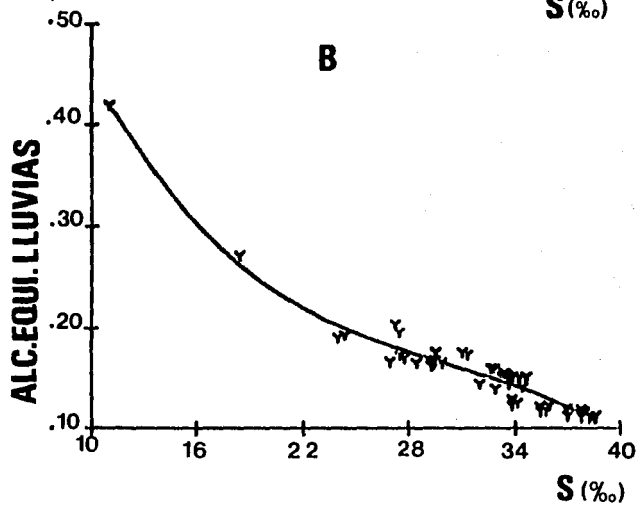
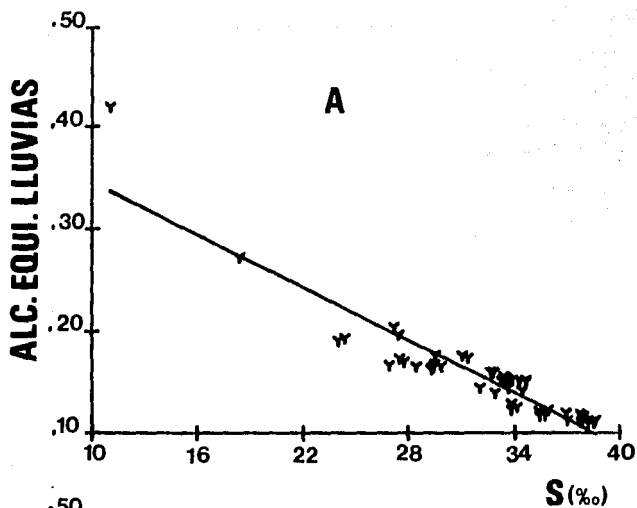


FIGURA 20

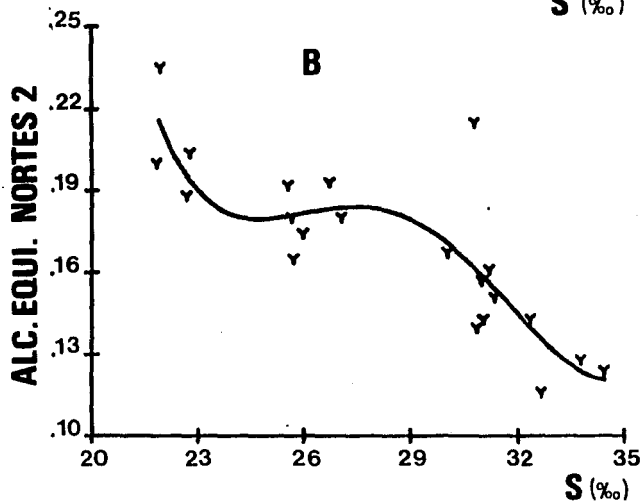
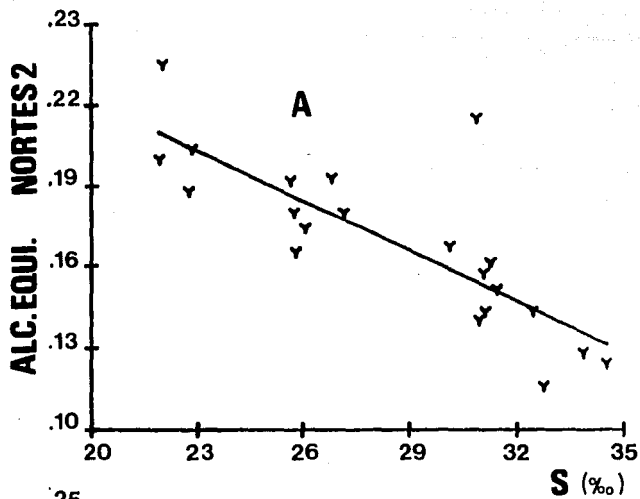


FIGURA 21

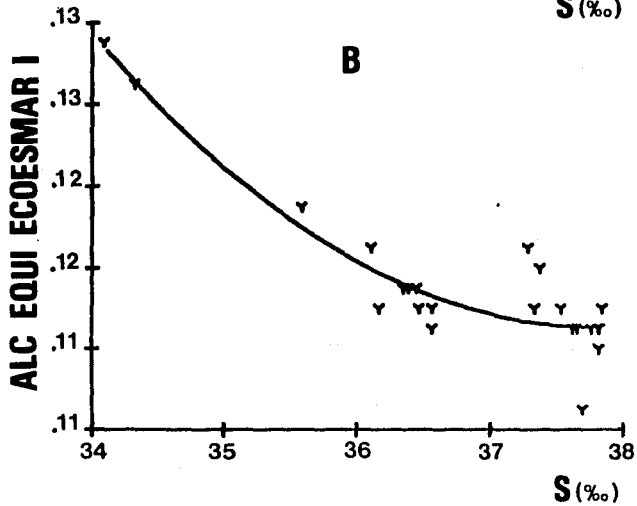
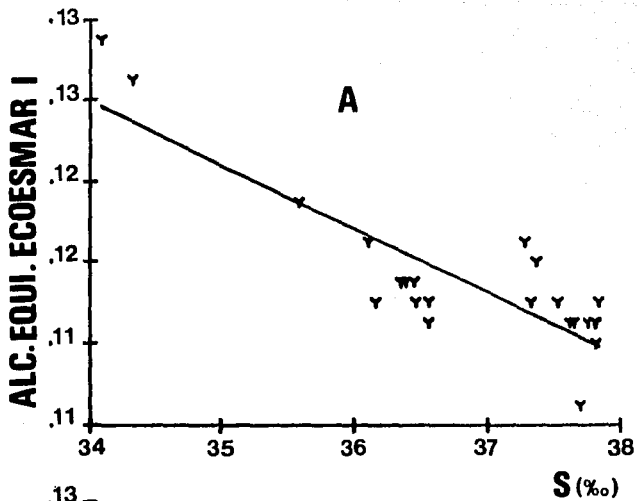


FIGURA 22

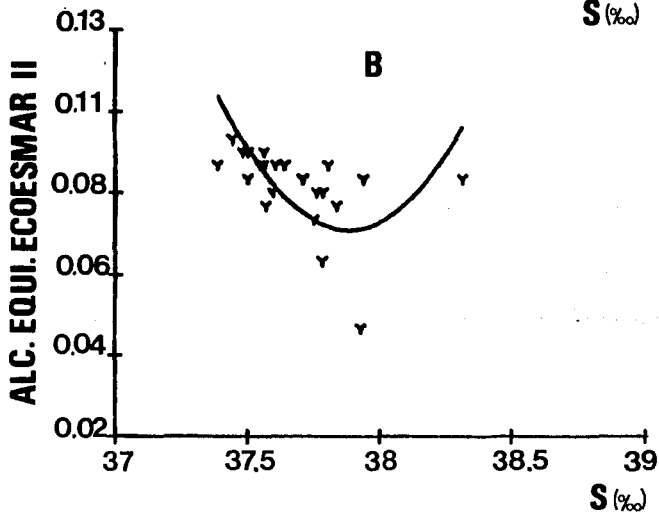
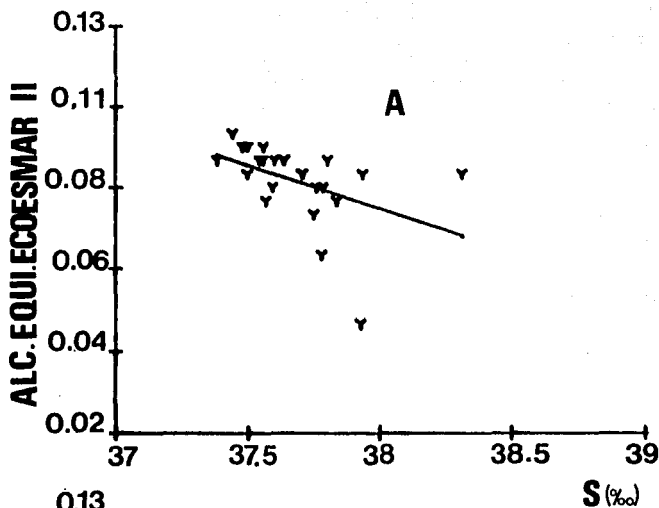


FIGURA 23

## ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el estudio del Sistema del CO<sub>2</sub>, (salinidad, temperatura, pH, etc.) de la Laguna de Términos se reportan en las tablas 7 a la 15. En la tabla 16 se presentan los promedios para cada estación de colecta correspondientes a las diferentes estaciones del año. El estudio de los parámetros estadísticos se encuentra reportado en la tabla 17, estas medidas de dispersión y centralización están representadas en base a las diversas épocas estacionales comprendidas en el año 1984-1985. También se reportan los resultados obtenidos de los dos cruceros Ecoesmar I y II (tablas 9 y 14) realizadas en las Bocas de la Laguna de Términos, con el objeto de tener un patrón de referencia para las aguas de la Laguna.

## SALINIDAD

La variación de los valores de salinidad registrados en el área de estudio durante el ciclo 1984-1985, se presentan en las tablas 7 a la 15 y en la Figura 8. Tanto para fondo como para superficie, se observó un sesgo negativo hacia los valores de mayor salinidad. Los valores menores se observaron en la parte suroeste de la laguna, donde la influencia dulceacuicola es mayor, y los resultados de mayor valor numérico para éste parámetro se ubicaron hacia la parte oriental del sistema lagunar-estuario con marcada influencia marina y en las bocas de Puerto Real y del Carmen.

Estacionalmente se encontraron los valores mayores de salinidad durante el inicio de la época de lluvias. En estos meses aún está poco manifestada la influencia de agua dulce y las temperaturas se encuentran elevadas.

Los valores de salinidad obtenidos durante los cruceros ECOESMAR I y II son mayores a los determinados en la laguna, esto se debió a que las bocas tienen permanente influencia marina y a la ubicación de las estaciones de colecta en los cruceros. Comparativamente la BPR (Boca de Puerto Real) obtuvo mayor salinidad en promedio (37.58 ‰) que la Boca del Carmen (36.89 ‰) esto es

debido a que la primera no tiene influencia dulceacuicola y la segunda sí. Las variaciones estacionales no presentaron diferencias muy marcadas ya que los valores fueron bastante homogéneos en los dos cruceros.

#### TEMPERATURA

Los resultados de temperatura obtenidos durante el ciclo estudiado se muestran esquematizados en la figura 8, para los cuales se observa una variación compleja, tanto en agua de la superficie como del fondo causada principalmente por cambios climatológicos y meteorológicos como son, mareas, corrientes, vientos, precipitación pluvial y descarga de los ríos (YAÑEZ-ARANCIBIA Y DAY, 1982).

El cambio de temperatura durante las diferentes épocas climáticas se presenta en forma de histograma en la figura 11b, observándose los valores más altos durante la época de lluvias y el inicio de nortes 2, resultados que concuerdan en buena medida con los reportados por Yañez y Lara (1983). Los valores correspondientes a la época de lluvias fueron muy semejantes a los de nortes 2 (1985), debido a que sólo se tomó en cuenta el inicio de los nortes 2, (único muestreo en octubre de 1985). Los valores de temperatura obtenidos en el sistema fluvio-lagunar fueron más elevados que los encontrados en las Bocas durante los cruceros (Figura 11b), encontrándose una diferencia muy marcada la cual obedece a la localización de las estaciones de colecta realizadas en los cruceros (Figura 2) donde la influencia dulceacuicola es casi nula.

También se observa un ligero aumento de los valores obtenidos en la Boca de Puerto Real comparados con los de Boca del Carmen principalmente en ECOESMAR I puesto que en enero el proceso de mezcla (provocado por la circulación) es más marcado.

#### RESULTADOS OBTENIDOS EN EL pH

Los valores en el pH determinados a 25°C en agua de la superficie y del fondo de la Laguna estudiada están representados en la Figura 7 (a y b), en las cuales se señala con un histograma una



tendencia casi normal, con un máximo en el intervalo de 7.75 y 8.00 en la escala NBS. Los valores más bajos encontrados para este parámetro se obtuvieron en la época de nortes (octubre de 1984), y corresponden a un máximo en la presión parcial de dióxido de carbono ( $PCO_2$ ; Figs. 11c y 16b), SVERDRUP et.al., 1970. Se encontraron valores semejantes durante las demás estaciones del año y en los cruceros ECOESMAR I y II, (Figs. 11c; Tablas 9.14 y 16). Los cambios en el pH están asociados a las variaciones de  $CO_3^{2-}$ ,  $PCO_2$  y  $CO_2T$  principalmente, (STUMM Y MORGAN, 1982).

#### ALCALINIDAD TOTAL Y DIOXIDO DE CARBONO TOTAL

Los resultados obtenidos en la concentración de alcalinidad total y dióxido de carbono total (AT y  $CO_2T$  respectivamente) en agua superficial y del fondo están representados en la Figura 7 mediante un histograma y un polígono de frecuencias, se observó una tendencia normal en ambos casos. El valor más alto de AT fue de 2.37 mEq/kg referentes a las muestras de superficie y 2.5 mEq/kg en las de fondo; respecto al  $CO_2T$ , se reporta un máximo a 2.75 y 2.69 mmol/kg para agua de la superficie y del fondo respectivamente.

los valores de AT agrupados en diferentes épocas climáticas se muestran en la Figura 12a, el valor más alto se obtuvo durante la época de secas debido al incremento en la concentración de iones carbonato ( $CO_3^{2-}$ ) y bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) principalmente, (BUTLER, 1982; MORGAN, 1983). La presencia del carbonato de calcio disminuye la AT, originado por la salida de iones  $CO_3^{2-}$  (MOREL, 1983), sin embargo en la Laguna de Términos esto no se detectó claramente debido a la dinámica existente en este sistema estuarino dada por el aporte fluvial de iones  $Ca^{++}$ ,  $CO_3^{2-}$  y  $HCO_3^-$ . Los cambios en los valores de AT fueron muy similares durante la época de nortes en el ciclo completo 1984-1985, (Figura 12a).

En los cruceros ECOESMAR I y II los resultados en la AT fueron menores en comparación con los obtenidos en el sistema fluvio-lagunar, esto confirma lo establecido anteriormente. Los resultados de este parámetro en la superficie y el fondo fueron: los valores en las muestras de fondo de algunas épocas resultaron

más elevados que los de las muestras de la superficie, debido principalmente a los procesos físicos de mezcla.

En la Fig. 13 se presentan los cambios en los valores de AT en agua de superficie (Fig.13a) y de fondo (Fig.13b). En general, se obtuvieron concentraciones mayores en las muestras colectadas cerca de las desembocaduras de los ríos (estaciones de colecta 6, 7 y 11), y muy marcado en la estación señalada con el número 11, influenciada grandemente por el aporte fluvial del río Candelaria. La baja en la concentración de AT en la estación de colecta 11 con respecto a la 8 y 3 se debe básicamente a los procesos químicos, biológicos y de dilución.

La variación en los valores de  $\text{CO}_2\text{T}$ , son provocados por aumento en la concentración de iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  (Fig.12b). Se encontró una concentración menor en enero y septiembre (ECOESMAR I y II) causado por el aporte fluvial que presenta la Laguna, mismo que conlleva iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ .

#### IONES $\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{CO}_2^*$ (disuelto) y $\text{PCO}_2$

La concentración de estas especies químicas, bicarbonatos, carbonatos y ácido carbónico disuelto ( $\text{CO}_2^*$ ), están representadas en las tablas 7 a la 15. La concentración de  $\text{HCO}_3^-$  fue mayor en el interior de la Laguna (FIG.14a), con lo cual se puede establecer que el aporte fluvial se presenta muy marcado en la época de secas ocasionando un incremento en la alcalinidad (Fig.12a) y la precipitación de calcita y aragonita (Figs.17a y 17b; SVERDRUP et.al., 1970).

Los valores obtenidos en la concentración de  $\text{CO}_3^{2-}$  representaron una variación paralela con la de los iones  $\text{HCO}_3^-$ , encontrándose un máximo durante la época de secas (Fig.12b). La concentración en el agua de mar de este ión, es similar dentro y fuera de la Laguna como se pudo observar en los resultados obtenidos en ECOESMAR I y II (Tablas 7 a 15; Fig.14a). Se hizo una comparación de la concentración de estos iones entre el agua superficial y del fondo en algunas estaciones de colecta (3,6,7,8,11 y las de los cruceros), se observó una alta concentración en ambas profundidades en la estación 6, principalmente en la época de secas, en la

cual se alcanzó una concentración de 0.16 mmol/kg en agua superficial y 0.18 mmol/kg en agua del fondo (fig.15), esta elevación se debe a la influencia ejercida en esa zona por los procesos gelógicos y biológicos que ahí se suceden. Durante los cruceros se observó un cambio considerable; en el mes de septiembre (ECOES MAR II), la variación en la concentración de este ión fue casi constante (Fig.16) en relación a la de enero, en donde se observó una variación compleja con valores bajos que se aproximan a los obtenidos dentro de la Laguna, este hecho es explicado en base a el intercambio de agua que se realiza durante la época de nortes y se manifiesta en las dos Bocas del sistema estuarino (Boca del Carmen y Boca de Puerto Real).

La concentración del  $\text{CO}_2^*$ , está relacionada con la presión parcial de  $\text{CO}_2$  en el agua de mar; se observaron valores altos en la época de nortes, siendo el valor más alto en ésta época, (octubre-noviembre de 1984; Tablas 7 y 8). Estos valores son establecidos por los cambios en la  $\text{PCO}_2$  atmosférico (SVERDRUP et.al., 1970). Se obtuvieron concentraciones mayores de  $\text{CO}_2^*$  y  $\text{PCO}_2$  en el sistema estuarino que los obtenidos en agua de mar (Fig.15). La  $\text{PCO}_2$  resultó significativamente más alta, hecho que se atribuye a los procesos de fotosíntesis, respiración, oxidación de materia orgánica, transporte de agua y a altas y bajas en la temperatura del agua de la superficie (SVERDRUP et.al., 1970; RILEY Y CHESTER, 1973).

La  $\text{PCO}_2$  resultó ser mayor en el agua de mar durante el mes de enero comparada con la obtenida en el mes de septiembre ya que el proceso de respiración adquiere un carácter dominante en la época de nortes (otoño e invierno; RILEY Y CHESTER, 1973). Este suceso también provoca un máximo en la  $\text{PCO}_2$  en nortes dentro del sistema fluvio-lagunar (Fig.16b).

#### SATURACION DE CALCITA Y DE ARAGONITA

Los resultados correspondientes a la saturación tanto de calcita como de aragonita se esquematizaron en la Fig.9 expresados en porcentajes; el histograma y el polígono de frecuencias tienden a una distribución normal principalmente a las muestras del fondo lo que era de esperarse; en la superficie los más altos fue-

ron de 2.82 y 1.69 para calcita y aragonita respectivamente y de 2.63 y 1.75 en el fondo

El porcentaje de saturación de calcita y aragonita está asociado con el cambio de iones  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{PCO}_2$  (Fig. 15 y 17) principalmente; se observó que a valores menores de  $\text{PCO}_2$ , menor es la concentración de carbonato y bajo el porcentaje de saturación. También se encontró un máximo en la época de secas en los valores de O-CAL, O-ARG y  $\text{CO}_3^{=}$ , lo que corresponde a un mínimo en la  $\text{PCO}_2$ . Durante los nortes se dió una disminución en el porcentaje de saturación relacionado con el aumento en la  $\text{PCO}_2$ . El aumento en la concentración de iones  $\text{CO}_3^{=}$  hace que la reacción con los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  se incremente, obteniéndose mayor precipitación (CLOUD, 1965). Los valores en el porcentaje de saturación de calcita y aragonita durante los cruceros fueron altos en relación a los obtenidos en el sistema fluvio-lagunar, observandose claramente en las épocas de nortes y lluvias; en estas épocas se vió muy marcada la diferencia con los obtenidos en la época de secas. Esta variación se deriva de la constancia continua de los parámetros de salinidad, temperatura y pH, que es difícil que se establezca en este sistema estuarino lo cual se puede observar en intervalos cortos de tiempo durante la época de secas.

En general, los datos obtenidos en el porcentaje de saturación excedieron a la saturación ( $>1$ ). Los valores más altos se encontraron cerca de las desembocaduras de los ríos (Tabla 7 a 15; Fig.17).

Generalizando se puede indicar que el sistema fluvio-lagunar en la Laguna de Términos presenta una variación bien definida en cuando al sistema del  $\text{CO}_2$  se refiera, durante las épocas de nortes, secas y lluvias.

La mayoría de los parámetros estudiados alcanzaron sus valores más altos en la época de secas comprendida en los meses de febrero y marzo de 1985, y sus menores valores durante la época de nortes 2 principalmente.

El presente estudio sugiere que el sistema del  $\text{CO}_2$  en la Laguna de Términos (haciendo énfasis en la época de lluvias) puede ser dividido en tres zonas;

- 1) Una zona marina, que comprende las estaciones 1, 3, 8, 9 y 10;

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- ii) Una zona netamente estuarina localizada al sur de la Laguna, influenciada en gran parte del año por el aporte de los ríos y que comprende a las estaciones 4, 6, 7, 11, 12 y 13;
- iii) y una área de mezcla aún no bien definida que ocasionalmente comprende a las estaciones de colecta 5, 2, y 14 (tratando de abarcar la parte central de la Laguna).

Se efectuó otra comparación de las diversas épocas climáticas mediante el concepto de alcalinidad equivalente (ALC.EQUI. =  $AT' / (S\%) (1.80655)$ ), en función de la salinidad. Estos se encuentran representados en forma gráfica en las Figs 18 a 23 de las cuales, aquellas señaladas con el inciso (a) relacionan a la ALC.EQUI. con la salinidad en forma lineal y las señaladas en el inciso (b) se representa un ajuste de estas curvas obtenidas con el método de mínimos cuadrados, hasta obtener el polinomio deseado. El valor promedio de ALC.EQUI. para el agua de mar es de 0.12; el valor más próximo a este fué obtenido en los cruceros ECOESMAR I y II como era de esperarse. En la época de nortes 1 y secas se encontraron los mejores resultados en la relación ALC.EQUI. - Salinidad, fijándose a un polinomio de segundo grado (Fig.18b),

$$\begin{aligned} \text{ALC.EQUI.} &= 0.6231 - 0.0231 \% + 2.6286 \times 10^{-4} (S\%)^2 \\ \text{coeficiente de correlación} &= 0.9924 \\ \text{error estándar} &= 5.6441 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

Y para la época de lluvias se fijó una ecuación de tercer orden (Fig.20b);

$$\begin{aligned} \text{ALC.EQUI.} &= 0.4292 - 1.5005 \times 10^{-3} S\% - 5.1578 (S\%)^2 + \\ &\quad + 9.1077 \times 10^{-6} (S\%)^3 \\ \text{coeficiente de correlación} &= 0.9929 \\ \text{error estándar} &= 5.5344 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

## CONCLUSIONES

Se estableció como marco de referencia a la Laguna de Términos que como sistema estuarino presenta gran variedad en los parámetros del Sistema del Dioxido de Carbono. Esta variación está determinada especialmente por los cambios en las estaciones ocurridas a lo largo del ciclo anual y al aporte de los ríos que desembocan en el sistema.

Los parámetros considerablemente afectados son: Salinidad, Temperatura, porcentos de saturación de calcita y aragonita y concentración de dioxido de carbono total.

La diversidad en los resultados obtenidos en el área lagunar definen diferentes zonas claramente establecidas;

1. Una zona lagunar-marina influenciada directamente por la entrada y salida de agua a la laguna, mediante la cual se comunica con el océano (Golfo de México). En esta zona se encuentran localizadas las siguientes estaciones de colecta 1, 3, 8 y 9 extendiéndose a lo largo de la Isla del Cármen, en la cual se encuentran las más bajas concentraciones de alcalinidad y las más altas salinidades promediados en todo el año, con los valores de pH más bajos. Las cantidades más altas de estos parámetros se obtuvieron durante los meses de marzo y abril.
2. Una zona netamente lagunar localizada en la parte central de la laguna y que comprende las estaciones de colecta 2, 5 y 10. En esta parte de la Laguna se presentaron los valores intermedios de salinidad, alcalinidad total y pH. Asimismo los valores en promedio anual más altos obtenidos en estos parámetros fueron de 28.579‰, 2.629 mEq/kg, y 7.0 respectivamente correspondientes a los determinados en marzo y abril.
3. Una zona netamente fluvio-lagunar comprendida en la parte sur del sistema estuarino influenciada directamente por el aporte de los ríos; Palizada, Chumpun y Candelaria. En esta zona quedan comprendidas las estaciones de colecta; 4, 6, 7, 11, 12, 13 y 14 encontrándose en ella los menores valores de salinidad, temperatura, alcalinidad y pH obtenidos en promedio

por año y durante los meses de junio y julio.

La variación en la concentración de estos tres parámetros adicionales a la temperatura originan en forma espontánea alteraciones en los demás componentes del Sistema del Dióxido de Carbono, estos componentes son: porcentos de saturación de calcita y aragonita, concentración de CO<sub>2</sub> total, concentración de iones carbonato y bicarbonato, presión parcial de CO<sub>2</sub> y cantidad de CO<sub>2</sub> presente en el sistema, esto se debe a la íntima relación existente entre ellos, misma que ha sido discutida en los párrafos anteriores a las conclusiones. Es por ello que se tomaron como representativos los tres primeros, sin restarle importancia a los demás.

La caracterización de éstas áreas bien definidas en la Laguna en base a los parámetros variantes, establecen una zonación en la Laguna de Términos que posee características químicas y biológicas propias que varían principalmente en función del tiempo y espacio. Esta zonación detectada en la Laguna como resultado del presente estudio, podrá servir como referencia química en la formación de criterios de clasificación de estuarios y Lagunas costeras.

## BIBLIOGRAFIA

- Almgren T., Dyrssen D. and Strandberg M. (1975) Determination of pH on the mols per Kg seawater scale (Mw). *Deep-Sea Res.* 22, 635-646.
- Amezcuca L.F. y Yañez A.A., 1980. Ecología de los sistemas fluvio-lagunares asociados a la Laguna de Términos. I. El hábitat y estructura de las comunidades de peces. *An Centro Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ.Nal.Autón. de México, 7 (1): 69-118.
- Bastes, R.G. (1973). Determination of pH. Theory and Practice, Wiley, New York, 479 pp.
- Ben-Yaakov S. (1970) A method for calculating the "in situ" pH of seawater. *Limnol. Oceanogr.* 15, 326.
- Ben-Yaakov, S. (1973) pH buffering of pore water of recent anoxic marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 18: 86-94.
- Ben-Yaakov, S., Ruth, E. and Kaplan, I.R., 1974. Calcium carbonate saturation in northeastern Pacific.: "in situ" determination and geochemical implications. *Deep-Sea Res.*, 21; 229-243.
- Barner R.A. (1976) The solubility of calcite and aragonite in seawater at one atmosphere and 34.5 parts per thousand. *Am. J. Sci.* 276, 713-730.
- Borchert, H. 1965. Principles of oceanic salt deposition and metamorphism, p.205-276. In: J.P.Riley and G. Skirrow (eds.), *Chemical Oceanography*, V.2.Academic.
- Buch K. (1933) On boric acid in the sea and its influence on the carbonic acid equilibrium. *J.Cons.* 8, 309-325.
- Butler, J.W. (1982). Carbon Dioxide Equilibrium and their applications, Addison-Wesley Publishing Co., Moss.
- Carbajal, R.J., 1973. Condiciones ambientales y productividad de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Laguna*, 31: 35-38.
- Cloud, P.E., Jr. (1968) Carbonate Precipitation and Dissolution in the marine Environment, in *Chemical Oceanography*, J. P.Riley and G.Skirrow, Eds. Vol.2, 2a Ed., Academic Press, London, N.Y.



- Culberson C. and Pytkowicz R.M. (1968) Effect of pressure on carbonic acid, boric acid and the pH in seawater *Limnol. Oceanogr.*, 13, 403-417.
- Culberson C. and Pytkowicz R.M. (1973) Ionization of water in seawater. *Mar. Chem.* 1, 309-316.
- Culkin F. (1965) The major constituents of seawater in, *Chemical Oceanography* (eds. J.P. Riley and G. Skirrow), Academic Press, 121-161.
- Edmond J.M. (1970) High precision determination of titration alkalinity and total carbon dioxide content of seawater by potentiometric titration. *Deep-Sea Res.* 17, 737-750.
- Edmond y Gieskes J.M.T.M. (1970) On the calculation of the degree of saturation of seawater with respect to calcium carbonate under "in situ" conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34,, 1263-1291.
- Fernández, H. y L.D. Mee, 1980. Variación de la concentración de algunos iones en el agua de la Laguna Apozahualco, Guerrero, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. de México, 7 (1): 33-38.
- García-Cubas, A., 1981. Moluscos de un Sistema Lagunar Tropical en el Sur del Golfo de México (Laguna de Términos, Campeche). *Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. de México, *Pub. Especiales*, 5: 1-182.
- Garrels, R.M., and Perry, E.A., Jr., in *The sea* (1973), Vol. 5 Goldberg, E.D., Ed., Wiley-Interscience, New York, 303 pp.
- Gieskes, J.M.T.M. (1969) Effect of temperature on the pH of seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 679-685.
- Gran G. (1952) Determination of the equivalence point in potentiometric titrations. Part 11. *Analyst*, 77, 661-671.
- Grashoff, K. (ed.) 1982. *Methods of Seawater Analysis*, Verlag-Chemil, 419 pp.
- Hansson, I. (1972) An analytical approach to the carbonate system in seawater. Ph. D. Thesis, University of Göteborg, Sweden.
- Hansson, I. (1973) A new set of pH scales and Standard buffers for seawater. *Deep Sea Res.* 20, 479-491.

- Harned H.S. and Scholes S.R. (1941) The ionization constant of  $\text{HCO}_3^-$  from 0 to 50°C. *J. Am. Chem. Soc.*, 63, 1706-1709.
- Harned, H.S. and Davis, R.D. Jr (1943) The ionization constant of carbonic acid in water and the solubility of carbon dioxide in water and aqueous salts solutions from 0 to 50°C, *J. Am. Chem. Soc.*, 65, 2030.
- Harned H.S. and Owen B.B. (1958) The Physical Chemistry of Electrolyte Solutions, ACS Monogr. Ser. No. 137, 803 pp, Reinhold.
- Harvey H.W. (1966) The chemistry and fertility of sea water. Cambridge University Press, 240 pp.
- Ingle S.E., Culberson C.H., Hawley J.E. and Pytkowicz R.M. (1973) The solubility of calcite in seawater at atmospheric pressure and 35% solubility. *Mar. Chem. L.*, 295-307.
- Ingri N. (1959) Equilibrium studies of polyanions. IV. Silicate ions in NaCl medium. *Acta Chem. scand.*, 13, 758-775.
- Jacobson R.L. and Langmuir D. (1974) Dissociation constants of Calcite and  $\text{CaHCO}_3^-$  from 0 to 50°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38. 301-318.
- Kester, D.R. and Pytkowicz R.M. (1967) Determination of the apparent dissociation constants of phosphoric acid in seawater. *Limnol. Oceanogr.* 12: 243-252.
- Lyman, J. (1957) Buffer mechanism of seawater. Ph. D. Thesis, University of California. Los Angeles, 196 pp.
- Mc. Intyre, W.G. (1965) The temperature variation of the solubility product of calcium carbonate in seawater. *Fish. Res. Bd. Can. Manuscript rep. ser.*, No.200.
- Mancilla, M. y Vargas, M. 1980. Los primeros estudios sobre el flujo neto de agua a través de la Laguna de Términos, Campeche, *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Natl. Autón. de México, 7 (2): 1-12.
- Manov, G.G. Delollis N.J. and Acree S.F. (1944) Ionization constant of boric acid and the pH of certain borax-chloride buffer solutions from 0 to 60°C. *J. Res. Natn. Bur. Stds.* 33, 287-306.

- Mehrbach, C., Culberson, C.H., Hawley, J.E. and Pytkowics, R.M. (1973) Measurements of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. *Limnol. Oceanogr.*, 18 897-907.
- Millero, F.J. (1979) The thermodynamics of the carbonate system in seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 1651-1661.
- Millero, F.J. (1981) The ionization of acids in estuarine waters *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 2085-2090.
- Morel, M.M.F. (1983) Principles of Aquatic Chemistry, Wiley, Interscience, New York.
- Morse, J.W., Mucci, A. and Millero, F.J. (1980) The solubility of calcite and aragonite in seawater of 35 ‰ salinity at 25°C and atmospheric pressure, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 85- 94.
- Owen, B.B. (1934) The dissociation constant of boric acid from 10 to 50°, *J. Am. Chem. Soc.* 56, 1695-97.
- Phleger, F.B. y A. Ayala-Castañares, 1971. Processes and history of Terminos Lagoon, México. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 55 (2): 2130-2140.
- Pytkowicz, R.M., 1975. Activity coefficients of bicarbonates and carbonates in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 20 (6): 971-975.
- Pytkowicz, R.M. y Atlas, E., 1975. Buffer intensity of seawater. *Limnol. Oceanogr.* 20 (2): 222-229
- Plath, D.C. (1979) The solubility of carbonate c. (CaCO<sub>3</sub>) in seawater and the determination of activity coefficients in electrolyte Solutions, M.Sc. Thesis, Oregon State University, Corvallis, 92 pp.
- Plummer, L.H. and Sundquist, E.T., (1982) Total individual ion activity coefficients of calcium and carbonate in seawater at 25°C and 35‰, and applications to the agreement between apparent and the thermodynamic constant of calcite and aragonite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 246-258.
- Riley, J.P., and Chester, R. (1973) Introduction to Marine Chemistry, 2a. Ed., Academic Press, Britain.
- Rosales, Haz L. Manual de laboratorio de oceanografía química,

- Inst.Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Auton. de México, 1980, 168 pp.
- Sillén L.G. (1959) Graphic representation of equilibrium data. In: *Treatise on analytical chemistry* (I.M. Kolthoff and P.J. Elving, eds.), Interscience, New York, Part I, Sec.B., Ch, 8, 227-317.
- Skirrow, G. (1975) The dissolved gases- carbon dioxide in. *Chemical Oceanography* (eds. J.P. Riley and G. Skirrow), Vol.2, 2a edn., pp 1-181. Academic Press.
- Stumm, W., and J.J. Morgan. 1981. *Aquatic Chemistry*. Wiley, Interscience.
- Sverdrup, H.U., Martin W. Johnson and Richard H. Fleming, 1970, *The Oceans*, Copyright, U.S.A.
- Toral, S., Estudio de los Cichlidae (Pisces: Perciformes) de la Laguna de Términos y sus afluentes. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Univ.Nal.Autón.de México, 32 pp. 1971.
- UNESCO, 1983. Carbon dioxide sub-group of the joint panel on oceanographic tables and standards, UNESCO Tech.Pap. Mar.Sci., No. 42, (Mimeographed).
- Uppström, L. (1974) The boron-chlorinity ratio of deep seawater from the Pacific. *Ocean. Deep-Sea Research*, 21, 161-163.
- Valdés L.D.S., (1982) Constantes de Equilibrio del Acido Carbonico en aguas hipersalinas, tesis prof., Inst.Cienc. del Mar y Limnol., Univ.Nal. Autón. de México, 51 pp.
- Weiss, R.F., (1974) Carbon dioxide in water and seawater: The solubility of a non-ideal. *Mar. Chem.*, 2, 203-215.
- Whitfield y Turner (1981) In Whitfield, M. and Jagner, D., *Marine Electrochemistry, A practical Introduction*, Wiley, 529 pp.
- Woodwell, G.M. and Pecan, E.V., Eds., "Carbon and the Biosphere", U.S. Atomic Energy Commissions, Washinton, D.C., 1973,
- Yañez-Arancibia, A., J.W. Day, Jr., "Ecological Characterization of Terminos Lagoon a Tropical Lagoon-estuarine System in the Southern Gulf of México", Lasserre, P. y H. Postma (Eds.) *Coastal Lagoons. Oceanologica Acta*. Vol. Spec. 5 (4), 1982, 431-440 pp.

Yañez-Arancibia, A., A.L. Lara-Dominguez, Pierre Chavance, Domingo F. Hernández, (1983). Environmental Behavior of Term. Lagoon Ecol. Syst., Camp. México. An. *Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nat. Autón. de México, 10 (1), 137-176.

Yañez-Arancibia, A 1987. Lagunas Costeras y Estuarios: Cronología, Criterios y Conceptos para una Clasificación Ecológica de Sistemas Costeros. In: *Ecosistemas Costeiros. Costa Sul e Sudeste Brasileira*. Publ. ACIESP, *Academia de Ciências Sao Paulo*. Vol. 54(3).

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Distribución del Carbono en la superficie terrestre.
- FIGURA 2. Esquema de la Laguna de Términos.
- FIGURA 3. Curva de titulación.
- FIGURA 4. Comportamiento de los diferentes iones del Sistema del Dióxido de Carbono.
- FIGURA 5. Simplificación de la curva de titulación.
- FIGURA 6. Equipo de medición.
- Siguientes figuras; Histogramas y polígonos de frecuencia de los diversos parámetros del Sistema del CO<sub>2</sub>.
- FIGURA 7. Alcalinidad total y pH.
- FIGURA 8. Salinidad y Temperatura.
- FIGURA 9. Porcientos de Saturación de Calcita y Aragonita.
- FIGURA 10. Dióxido de carbono total.
- Siguientes figuras; Variaciones estacionales comparativas en agua superficial y del fondo.
- FIGURA 11. Salinidad, Temperatura y pH.
- FIGURA 12. Alcalinidad total y Dióxido de Carbono total.
- FIGURA 14. Bicarbonatos y Carbonatos.
- FIGURA 16. Dióxido de carbono y Presión parcial de CO<sub>2</sub>.
- FIGURA 17. Porcientos de saturación de Calcita y Aragonita.
- FIGURA 13. Cambios en la concentración de Alcalinidad total durante diversas estaciones de colecta en agua del fondo y de la superficie.
- FIGURA 15. Variación en la concentración de iones carbonatos en diferentes estaciones de colecta tanto de superficie como de fondo.
- Figuras siguientes; Estudio comparativo de los resultados de alcalinidad equivalente (ALC. EQUI.), y Salinidad, adicionado a las correspondientes curvas de ajuste obtenidas en cada caso. Los datos involucrados están distribuidos por épocas estacionales.
- FIGURA 18. Nortes (Octubre y noviembre de 1984).
- FIGURA 19. Secas (Febrero y marzo de 1985).
- FIGURA 20. Lluvias (Junio y Julio de 1985).
- FIGURA 21. Nortes 2 (Octubre de 1985).
- FIGURA 22. Crucero ECOESMAR I (Enero de 1985).
- FIGURA 23. Crucero ECOESMAR II (Septiembre de 1985).