

Caracterización ambiental y $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento, detrito y vegetación del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México

Andrea Raz-Guzman¹, Guadalupe de la Lanza² y Luis A. Soto³

¹ Laboratorio de Ecología del Bentos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Ap. Postal 70-305. UNAM. CP 04510. México, DF.

² Laboratorio de Química y Productividad Acuáticas. Instituto de Biología. Ap. Postal 70-153. UNAM. CP 04510. México, DF.

³ Laboratorio de Ecología del Bentos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Ap. Postal 70-305. UNAM. CP 04510. México, DF.

(Rec. 29-XI-1990. Acep. 30-III-1992)

Abstract: Hydrological, sedimentary and isotopic ($\delta^{13}\text{C}$) analyses indicate the distribution and origin of organic carbon within estuarine systems. The Alvarado Lagoon system has five areas: Southeast Alvarado Lagoon, Internal Margin of the Bar of Alvarado, Camaronera Lagoon, Transition Zone and Lotic Zone. Water is oligohaline in the rivers and to the southeast of Alvarado Lagoon during the rains and northers and becomes polyhaline in Camaronera Lagoon during the dry season. There is silty-clay sediment -rich in organic matter- to the far northwest of Camaronera Lagoon and along the Bar of Alvarado, and sandy sediment poor in organic matter throughout the rest of the system. Carbonate content in the sediment is generally low, with the exception of Punta Grande, where oyster shells are abundant. Sediment $\delta^{13}\text{C}$ varies from -24.8 to -20.5‰. The more negative values are related to organic carbon from surrounding and terrestrial vegetation, and the less negative values correspond to organic carbon from submerged vegetation within the system. Detritus values of -25.7 to -28.3‰ are characteristic of terrestrial vegetation enriched in ^{12}C . Vegetation forms two isotopic groups: (1) red algae, *Eichhornia crassipes* and *Rhizophora mangle* (-24.6 to -29.4‰) which photosynthesize by means of the C_3 pathway, and (2) filamentous algae and *Ruppia maritima* (-15.8 to -22.1‰) which possibly use the C_4 pathway.

Key words: isotopic carbon ($\delta^{13}\text{C}$), sediment, detritus, aquatic vegetation, C_3 and C_4 photosynthesis, Alvarado Lagoon.

La caracterización hidrológica, sedimentológica y florística de los sistemas estuarinos proporciona una indicación de los aportes que ingresan. Entre los métodos de estudio que se emplean figura el análisis isotópico basado en el delta de carbono trece ($\delta^{13}\text{C}$) del sedimento, detrito y vegetación acuática y circundante.

El $\delta^{13}\text{C}$ ha sido utilizado para caracterizar el carbono orgánico sedimentario, para el cual se ha observado un gradiente de registros más negativos (-25 a -27‰) donde la materia orgánica es de origen terrestre, a registros menos negativos (-21 a -23‰) donde los aportes son estua-

rios (Rashid y Reinson 1979 y Tan y Strain 1979).

Asimismo, el $\delta^{13}\text{C}$ identifica los mecanismos fotosintéticos utilizados por la vegetación (Smith y Epstein 1971 y McMillan *et al.* 1980), la dieta de los consumidores, y el flujo del carbono a través de las redes tróficas (Fry y Parker 1979, Haines y Montague 1979, Fry 1984 y Kitting *et al.* 1984).

En cuanto a la vegetación, la composición isotópica y el patrón inicial de incorporación de carbono indican el mecanismo fotosintético utilizado por cada especie. Por lo general, para la vegetación que fotosintetiza mediante el

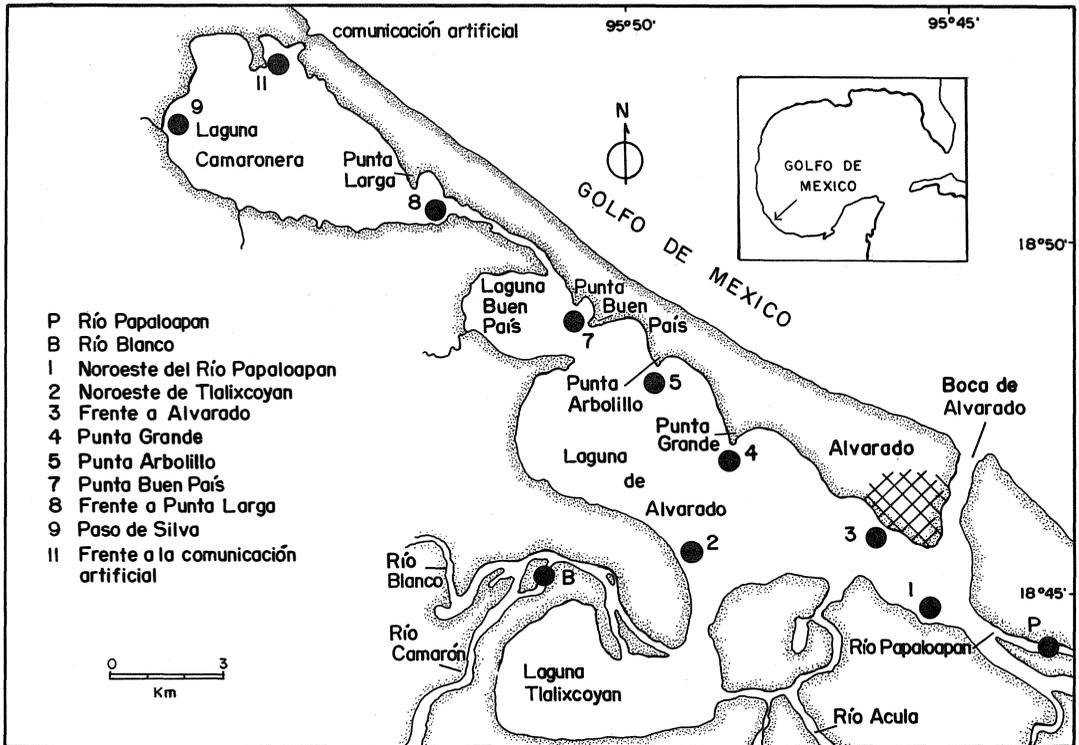


Fig. 1. Toponimia y localidades de muestreo en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz.

mecanismo de ciclo C_3 (Calvin) los registros de $\delta^{13}C$ varían de -23 a -34 ‰ mientras que para la que utiliza el mecanismo de ciclo C_4 (Hatch-Slack) éstos varían de -3 a -19 ‰ (Smith y Epstein 1971 y McMillan *et al.* 1980).

La vegetación acuática, sin embargo, pertenece a un grupo intermedio entre las plantas C_3 y C_4 , y la relación entre el $\delta^{13}C$ y el mecanismo fotosintético no es tan estricta como en el caso de la vegetación terrestre. Por otra parte, el $\delta^{13}C$ de la vegetación acuática refleja la composición isotópica del HCO_3^- , la cual a su vez depende de la salinidad. El HCO_3^- del agua marina tiene un $\delta^{13}C=0$ ‰ mientras que el del agua dulce varía de -5 a -10 ‰. El CO_2 atmosférico, por su parte, registra un $\delta^{13}C$ de -7 ‰, el cual confiere a la vegetación terrestre una composición isotópica más ligera que la de la vegetación marina y estuarina.

El sistema lagunar de Alvarado es importante ya que proporciona una área de crianza para las larvas y juveniles de los camarones peneidos que mantienen la pesquería del camarón de la plataforma continental adyacente (Sánchez y Soto 1987). Tomando en cuenta lo anterior, la

ubicación geográfica del sistema y su intensa utilización pesquera por parte de la población local, se planteó como objetivo su caracterización en función de la composición isotópica ($\delta^{13}C$) del sedimento, detrito y vegetación.

MATERIAL Y METODOS

El sistema lagunar de Alvarado se localiza al suroeste del Golfo de México entre los $95^{\circ} 43' 30''$ y $95^{\circ} 57' 30''$ long W y los $18^{\circ} 42' 30''$ y $18^{\circ} 52'$ lat N, y se encuentra separado del Golfo de México por una barrera arenosa. Las lagunas de Alvarado, Tlalixcoyan, Buen País y Camaronera forman parte del sistema. La primera se comunica con el mar por la Boca de Alvarado y la cuarta por una comunicación artificial que consta de dos tubos de 1.5 m de diámetro cada uno. Los ríos Papaloapan, Acula, Camarón y Blanco desembocan exclusivamente en las lagunas de Alvarado y Tlalixcoyan, circunstancia que genera una marcada heterogeneidad en cuanto a la distribución de la salinidad en espacio y tiempo (Fig. 1).

Climáticamente se presenta una época seca de marzo a mayo, una de lluvias de junio a octubre, y una de nortes de noviembre a febrero. La vegetación circundante del sistema incluye manglares de *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.)L. y *Laguncularia racemosa* (L.)C.F. Gaertner, pastos halofitos, palmeras y árboles de selva pantanosa. La vegetación acuática comprende el pasto marino *Ruppia maritima* L., algas rodofitas del género *Gracilaria* y algas filamentosas clorofitas. En la época de lluvia el lirio acuático *Eichhornia crassipes* (C. Martius) Solms-Laub. invade las lagunas de Alvarado y Tlalixcoyan (Contreras 1985).

La fauna del sistema se caracteriza por plancton (Flores-Coto y Mendez 1982), foraminíferos (Phleger y Lankford 1974), anélidos poliquetos, crustáceos peracáridos, camarones carídeos y peneidos (Sánchez y Soto sometido), cangrejos anomuros y braquiuros (Raz-Guzman *et al.* 1991), moluscos bivalvos y gasteropodos (Reguero y García-Cubas 1989) y peces (Reséndez 1973).

Información adicional sobre aspectos hidrológicos, geológicos y biológicos se encuentra en los trabajos de Villalobos *et al.* (1966), Villalobos *et al.* (1969), Villalobos *et al.* (1975), Botello (1978), Rosales-Hoz y Alvarez Leon (1979), Flores-Coto y Zavala (1982), Rosales-Hoz *et al.* (1986) y Tovilla y de la Lanza (1989).

Los muestreos se llevaron a cabo durante febrero, abril, agosto y diciembre de 1986 para registrar la variación estacional de la composición isotópica del sedimento, detrito y vegetación, y la salinidad se registró mensualmente con un refractómetro de campo. Once localidades fueron seleccionadas a lo largo del sistema en función de la salinidad y la vegetación acuática (Fig. 1).

Se recolectaron núcleos de sedimento superficial y se determinó la textura a tres fracciones: grava (> 2 mm), arena (0.0625 a 2 mm) y limo-arcilla (< 0.0625 mm), el contenido de carbonatos (Shackley 1975) y el de materia orgánica total (Dean 1974). El detrito y la vegetación fueron recolectados con una red de barra tipo Renfro (Renfro 1962).

El material se preservó en hielo hasta su procesamiento. Las muestras se secaron, trituraron y tamizaron a través de una abertura de malla de 0.25 mm, se adicionó HCl al 10 % para eliminar los carbonatos y se determinó el $\delta^{13}\text{C}$ siguiendo el método de combustión en tubos sellados de Boutton *et al.* (1983). El patrón

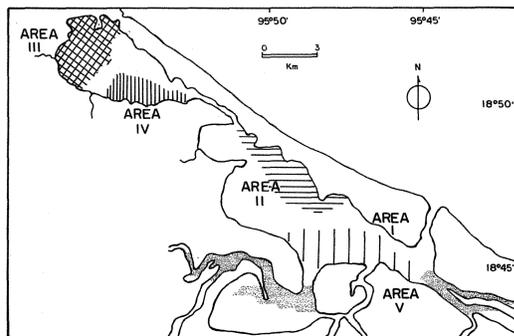


Fig. 2. Areas I, II, III, IV y V en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz.

de trabajo (gas CO_2) tiene un valor de -41.55% (S. Ramos, comunicación personal) con respecto al patrón calcáreo PDB (belemnita fósil *Belemnitella americana*, de la formación PeeDee de Carolina del Sur, EUA) de la Universidad de Chicago. La variación isotópica promedio de cada análisis determinada por el espectrómetro de masas fue de ± 0.2 o/oo.

Los registros isotópicos de cada tipo de muestra resultaron significativamente similares para los cuatro meses, de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, por lo que las variables fueron analizadas a través de valores promedio.

Se aplicó un análisis de conglomerados con el método jerárquico promedial denominado Mean Link (Espinosa *et al.* 1978) a los datos del sedimento y de presencia-ausencia de vegetación acuática con el fin de regionalizar al sistema. Los números de las localidades en el texto corresponden a los números de la figura 1.

RESULTADOS

El análisis de conglomerados determinó cinco áreas: Sureste de Laguna de Alvarado (Area I), Margen Interno de la Barra de Alvarado (Area II), Laguna Camaronera (Area III), Zona de Transición (Area IV) y Zona Lótica (Area V) (Fig. 2). Al respecto, García-Montes (1989) reconoció una relación entre estas áreas y la distribución de los macroinvertebrados bentónicos y Rosales-Hoz *et al.* (1986) definieron cuatro áreas muy similares: 1) con influencia fluvial, 2) lagunar, 3) con influencia marina y 4) de transición. Los registros isotópicos del sedimento, detrito y vegetación se encuentran en el cuadro 3 y su representación gráfica en la figura 3.

CUADRO 1

Registros mensuales de salinidad (‰) del sistema lagunar de Alvarado

loc	1986												\bar{x}	
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E		F
1	18	14	8	10	5	4	0	2	2	2	2	5	3	5.7
2	12	14	14	18	2	4	0	0	2	3	0	8	8	6.5
3	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0.0
4	18	20	17	24	8	4	2	4	4	3	3	14	18	16.7
5	14	-	-	-	10	8	2	4	4	5	4	13	18	8.2
7	14	15	17	24	10	7	4	4	4	4	2	16	14	10.4
8	16	19	18	22	12	14	2	6	5	6	5	9	16	11.5
9	18	22	22	22	19	12	3	5	5	6	4	18	16	13.3
11	16	24	22	22	18	14	5	8	6	8	4	16	16	13.8
P	-	-	8	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	2.6
B	-	-	10	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	3.3

Clave de los símbolos:

1. noroeste del Rio Papaloapan
2. noroeste de Tlalixcoyan
3. frente a Alvarado
4. Punta Grande
5. Punta Arbolillo
7. Punta Buen País

8. frente a Punta Larga
9. Paso de Silva
11. frente a la comunicación artificial
- P Rio Papaloapan
- B Rio Blanco

Caracterización ambiental.

Sureste de Laguna de Alvarado (Area I): Esta región abarcó las localidades frente a Alvarado (3), al noroeste del subsistema Tlalixcoyan (2) y al noroeste del Rio Papaloapan (1). La salinidad mensual determinó condiciones oligohalinas entre junio y diciembre y mesohalinas entre enero y mayo (Cuadro 1) lo que refleja la influencia dulcea-cuícola en el sureste de Laguna de Alvarado, especialmente durante las lluvias cuando el caudal de los ríos aumenta.

El sedimento fue arenoso con un contenido bajo de materia orgánica y carbonatos. Frente a Alvarado se observaron conchas de ostión que no fueron colectadas con los nucleadores y que representan la fracción de grava. Asimismo, se encontraron praderas de *Ruppia maritima* al noroeste de Tlalixcoyan, las cuales se extienden hacia el noroeste del Rio Papaloapan, en donde el pasto se mezcla con algas filamentosas. En estas dos localidades también se colectó detrito de *Eichhornia crassipes*, en particular durante la época de lluvias (Cuadro 2). Los valores isotópicos del sedimento tendieron hacia

el extremo negativo, mientras que los del detrito fueron los menos negativos (Cuadro 3).

Margen Interno de la Barra de Alvarado (Area II): Esta zona incluye Punta Grande (4), Punta Arbolillo (5) y Punta Buen País (7). Las condiciones de salinidad fueron oligohalinas de agosto a diciembre, mesohalinas de enero a julio y polihalinas solo en mayo, con una variación espacial a lo largo de la barra (Cuadro 1).

El sedimento de las primeras dos localidades fue limo-arcilloso y el de la tercera arenoso, con un contenido alto de materia orgánica y variable de carbonatos. También se registraron cantidades notables de grava y carbonatos en Punta Grande que se deben a la presencia de fragmentos de conchas de ostión y que no se relacionan con los procesos hidrodinámicos que definen la textura del sedimento. En esta area se establecen praderas de *R. maritima* y algas rodo fitas (Cuadro 2). Los registros isotópicos del sedimento fueron los más negativos del sistema (Cuadro 3).

Laguna Camaronera (Area III): Esta zona se representa por Paso de Silva (9) y la locali-

CUADRO 2

Promedio de las variables del agua y sedimento del sistema lagunar de Alvarado

Localidad	S‰	GR	AR	L-A	MOT	CO ₃ ⁼⁼	veg
NW del Papaloapan	5.7	1.1	90.8	8.1	2.5	7.5	1
NW de Tlalixcoyan	6.5	1.4	84.5	14.0	2.8	6.0	1
frente a Alvarado	0.0	9.1	74.6	16.3	2.6	15.4	0
Punta Grande	16.7	22.3	4.5	72.9	8.2	31.8	1
Punta Arbolillo	8.2	0.0	2.5	97.5	9.2	6.4	1
Punta Buen País	10.4	22.5	44.7	32.7	6.1	19.5	1
frente a Punta Larga	11.5	0.0	95.3	4.7	1.2	2.9	1
Paso de Silva	13.2	0.0	28.4	71.6	10.1	11.6	0
frente comun. artificial	13.8	0.0	15.7	84.3	9.0	13.9	0
Rio Papaloapan	2.6	0.0	20.9	79.1	5.6	13.8	0
Rio Blanco	3.3	19.7	42.9	37.5	15.0	16.3	0

Clave de las abreviaturas: S‰=salinidad (‰), GR=grava (%), AR=arena (%), L-A=limo-arcilla (%), MOT=materia orgánica total (%), CO₃⁼⁼=carbonatos (%), presencia (1) y ausencia (0) de vegetación acuática.

dad frente a la comunicación artificial (11). Los registros de salinidad (Cuadro 1) comprenden los de Rosales-Hoz *et al.* (1986) y extienden el intervalo de 4 a 16‰ de Contreras (1985). De agosto a diciembre se registraron condiciones oligohalinas, de marzo a mayo polihalinas, y en enero-febrero y junio-julio las condiciones mesohalinas representaron dos épocas de transición en el régimen de salinidad. La distribución temporal de las condiciones oligohalinas y polihalinas refleja el efecto tardío de los aportes fluviales y la influencia directa del agua marina, en particular durante la época seca.

El sedimento fue limo-arcilloso con un contenido alto de materia orgánica y bajo de carbonatos. Sin embargo, en el caso particular de Paso de Silva en diciembre se encontró arena con poca materia orgánica (Cuadro 2). El sedimento de esta área ha sido descrito como arenoso limoso con fragmentos de conchas de ostión y almeja que representan vestigios de antiguos bancos (Contreras 1985). Los sedimentos finos responden a un mínimo recambio de agua, lo cual se debe a la falta de ríos y a que el ingreso de agua marina a través de la comunicación está limitado. Dicha limitación se debe a la oscilación de la marea y al diámetro reducido de los tubos. Por otra parte, los aportes dulceacuícolas al sureste del sistema no proporcionan un movimiento significativo al agua en esta área. El sustrato se encuentra desprovisto de vegetación acuática y cubierto por una capa de

detrito de origen vegetal (Cuadro 2). Los valores isotópicos del sedimento tienden hacia los menos negativos y los del detrito hacia los más negativos del sistema (Cuadro 3).

Zona de Transición (Área IV): La localidad frente a Punta Larga (8) representa una zona de transición con salinidad semejante a la de Laguna Camaronera (Cuadro 1) y sedimento arenoso similar al del Sureste de Laguna de Alvarado. Los registros de materia orgánica y carbonatos fueron los mínimos del sistema (Cuadro 2) posiblemente debido a la circulación de agua a través del canal que comunica las lagunas de Buen País y Camaronera que impide la sedimentación de partículas finas. La presencia de *R. maritima* y algas rodofitas en esta zona varía estacionalmente (Cuadro 2). El $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento fue el menos negativo del sistema (Cuadro 3).

Zona Lítica (Área V): Esta incluye los ríos Papaloapan (P) y Blanco (B) en cada uno de los cuales se registraron características hidrológicas y sedimentarias particulares, con un régimen de salinidad oligohalino a lo largo del año (Cuadro 1).

El sedimento del Río Papaloapan fue limo-arcilloso pobre en materia orgánica, mientras que en el Río Blanco predominó la arena y se registró una variación estacional de texturas. Dicha variación se atribuye a la segregación de

CUADRO 3

Promedio del $\delta^{13}C$ (‰) de la vegetación, detrito y sedimento del sistema lagunar de Alvarado

localidad	δ filam	δ lirio	δ Rup	δ rodof	δ Rhiz	δ detr	δ sed
NW del Papaloapan	-19.5	-	-15.8	-	-	^ -25.8	-23.8
NW de Tlalixcoyan	-	-	-21.4	-	-	^ -25.7	-24.0
frente a Alvarado	-	-	-	-	-	-	-23.0
Punta Grande	-	-	-22.1	-24.6	-	-	-24.3
Punta Arbolillo	-	-	-	-24.6	-	-	-24.6
Punta Buen País	-	-	-17.9	-	-29.4	-	-25.6
frente a Punta Larga	-	-	-16.7	-	-	-	-20.5
Paso de Silva	-	-	-	-	-	-27.9	-22.4
frente comun. artificial	-	-	-	-	-28.4	-26.3	-23.3
Rio Papaloapan	-	-	-	-	-	* -28.3	-24.4
Rio Blanco -	-	-27.9	-	-	-	-28.0	-24.7

Abreviaturas:

δ filam $\delta^{13}C$ de algas filamentosas
 δ lirio $\delta^{13}C$ de *Eichhornia crassipes*
 δ Rup $\delta^{13}C$ de *Ruppia maritima*
 δ rodof $\delta^{13}C$ de algas rodofitas

δ Rhiz $\delta^{13}C$ de *Rhizophora mangle*
 δ detr $\delta^{13}C$ del detrito
 δ sed $\delta^{13}C$ del sedimento

^ detrito de *E. crassipes*

* detrito de *Valisneria* spp.

grupos texturales dada por el transporte de partículas residuales por el agente fluvial (Selley 1976) así como a las fluctuaciones temporales de la energía cinética de la corriente (Blatt *et al.* 1972). En este río el contenido de materia orgánica sedimentaria fue alto con un máximo de 21.8 % en diciembre. El contenido de carbonatos en ambos ríos fue bajo. El sustrato de los ríos careció de vegetación acuática pero se encontraron grandes cantidades de detrito vegetal (Cuadro 2). Los valores isotópicos del sedimento se encuentran entre los mas negativos del sistema, mientras que los del detrito representan el extremo mas negativo de los registros (Cuadro 3).

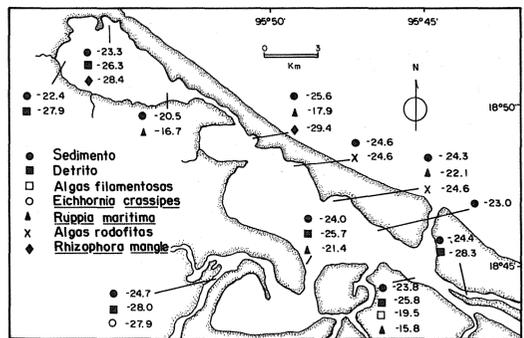
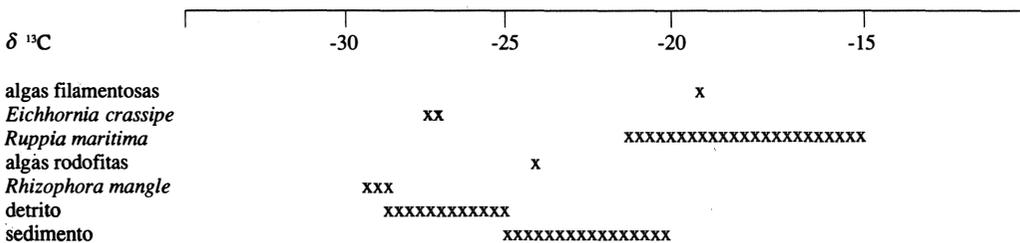


Fig. 3. Distribución del $\delta^{13}C$ (o/oo) del sedimento, detrito y vegetación acuática y circundante del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz.

CUADRO 4

Distribución del $\delta^{13}C$ (‰) de la vegetación, detrito y sedimento del sistema lagunar de Alvarado



Vegetación acuática: La vegetación acuática que se caracterizó isotópicamente fueron las algas filamentosas, el lirio acuático *Eichhornia crassipes*, el pasto marino *Ruppia maritima*, las algas rodofitas y el mangle rojo *Rhizophora mangle* (Cuadro 3). La distribución de los registros isotópicos del sedimento, detrito y vegetación se incluye en el cuadro 4 y su distribución en el sistema en la figura 3.

DISCUSION

Caracterización isotópica: El $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento frente a Alvarado refleja la composición isotópica ligera del carbono orgánico acarreado por los ríos y depositado en los bajos que se forman frente al puerto. Por otra parte, es posible que influya el carbono orgánico de origen marino que penetra a través de la Boca de Alvarado con la corriente de marea durante la época seca. Al respecto, Tan y Strain (1979) registraron un gradiente de la parte interna del estuario de Saint Lawrence, Canada hacia el Golfo de Saint Lawrence en donde los registros isotópicos más pesados correspondían a la mezcla de carbono terrestre y marino. Asimismo, Fry *et al.* (1977) registraron valores representativos de la mezcla de carbono terrestre y marino al norte de Laguna Madre, Texas.

La composición isotópica del sedimento al noroeste de Tlalixcoyan refleja la mezcla de aportes autoctonos (praderas de *R. maritima*) con aportes aloctonos (vegetación terrestre y mangle enriquecidos en ^{12}C provenientes de la planicie costera y los márgenes del sistema fluvial Blanco-Tlalixcoyan). Asimismo, el detrito de *E. crassipes* puede influir sobre el $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento.

El $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento al noroeste del Río Papaloapan es consecuencia de la mezcla del carbono orgánico isotópicamente ligero de origen terrestre (acarreado por el río) y del carbono orgánico isotópicamente pesado derivado de las algas filamentosas y *R. maritima*. El $\delta^{13}\text{C}$ del detrito de *E. crassipes* puede influir nuevamente sobre la composición isotópica del sedimento en esta zona.

El sedimento de Punta Grande, Punta Arbolillo y Punta Buen País es isotópicamente similar. Sin embargo, los valores reflejan el efecto que ejerce la vegetación acuática y circundante, a través del aporte de carbono orgánico al sustrato, sobre la composición isotópica

del sedimento. En Punta Grande se establecen algas rodofitas y *R. maritima* que contribuyen a incrementar el $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario. En Punta Arbolillo se observó una relación directa entre el $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario y el de las algas rodofitas, mientras que en Punta Buen País el productor primario que aporta la mayor parte del carbono orgánico sedimentario es *R. mangle* cuya composición isotópica contribuye a aligerar el $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario, a pesar de la presencia de *R. maritima*.

El $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento de Paso de Silva y frente a la comunicación indica una composición isotópica intermedia entre la de la vegetación terrestre y estuarina, así como la presencia del carbono orgánico marino ($\bar{x}=-21\%$) que penetra por la comunicación artificial. Situaciones similares han sido registradas por Tan y Strain (1979) en el estuario de Saint Lawrence y por Fry *et al.* (1977) al norte de Laguna Madre, Texas.

El $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario difiere del $\delta^{13}\text{C}$ del detrito en ambas localidades, lo que sugiere que el detrito no se encuentra incorporado al sedimento o en estado de degradación suficiente como para aportar su carbono orgánico al reservorio de materia orgánica sedimentaria en el momento de la recolección. El $\delta^{13}\text{C}$ del detrito de Paso de Silva fue uno de los más negativos del sistema y refleja un enriquecimiento en ^{12}C . Esto indica que el detrito parte de la vegetación terrestre circundante como los pastizales y árboles de selva pantanosa.

Al respecto, Hackney y Haines (1980) detectaron material vegetal terrestre en el estuario del Río Mississippi como la fuente de carbono para la fauna de la marisma, mientras que Odum *et al.* (1973) identificaron para los sistemas estuarinos en general a los pastos marinos, mangles, pastos de marisma, macroalgas y vegetación terrestre, entre las principales fuentes de la producción primaria. El $\delta^{13}\text{C}$ del detrito frente a la comunicación se puede relacionar con el de *R. mangle*, el cual aporta carbono orgánico al sustrato a través de la caída de hojas.

El $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento frente a Punta Larga fue el más pesado del sistema y se relaciona estrechamente con la composición isotópica del principal productor primario de la localidad, *R. maritima*. El carbono orgánico derivado de dicha vegetación contribuye al enriquecimiento en $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica sedimentaria,

ocasionando un $\delta^{13}\text{C}$ menos negativo. Esto ha sido observado también al noreste de Laguna de Términos, Campeche en los ceibadales de *Thalassia testudinum* (Raz-Guzman y de la Lanza 1991).

El $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario del Río Papaloapan es cercano al del noroeste del mismo río y refleja fuentes orgánicas similares, mientras que el del detrito se identificó con el pasto *Valisneria* spp. que se establece a lo largo del río. Esta planta ha sido caracterizada en Frontera, Tabasco con un valor isotópico similar (Raz-Guzman, datos sin publicar).

La composición isotópica del sedimento del Río Blanco es similar a la del noroeste de Tlalixcoyan y, como en el caso anterior, indica fuentes orgánicas similares, mientras que la del detrito fue similar a la de *E. crassipes*. Considerando que la caracterización isotópica de los dos ríos fue semejante en cuanto a sedimento y detrito, se puede concluir para los dos casos que el detrito, *Valisneria* spp., *E. crassipes* y la vegetación circundante y terrestre de ciclo C_4 enriquecida en ^{13}C , pueden influir en la composición isotópica del sedimento.

Botello *et al.* (1980) caracterizaron el sedimento del sistema con un solo valor isotópico y sugirieron que la mayor parte del carbono orgánico en los sedimentos recientes era de origen marino. Posteriormente, Botello y Macko (1982) postularon que dicho valor representaba al detrito de la vegetación circundante, en particular el mangle, como la fuente principal del carbono orgánico sedimentario en el sistema. Sin embargo, no consideraron la variedad de productores primarios y fuentes potenciales de carbono orgánico ni las interacciones especie-ambiente que se llevan a cabo en el sistema.

Vegetación acuática: Los valores isotópicos de la vegetación acuática y circundante mas negativos correspondieron a los fragmentos de tallos y hojas de *R. mangle* en Punta Buen País y frente a la comunicación artificial de Laguna Camaronera. Estos valores indican un marcado enriquecimiento en ^{12}C , lo cual se relaciona con dos aspectos: (1) bioquímicamente, con la utilización del mecanismo fotosintético de ciclo C_3 en el que la enzima ribulosa-1.5-difosfato discrimina al ^{13}C , el cual es entonces eliminado de la planta vía transpiración por las hojas durante la oscuridad o vía translocación a las raíces, y (2) anatómicamente, con la formación de

los componentes estructurales necesarios para la vegetación terrestre, como celulosa, lignina y lípidos (Faure 1977 y Haines y Montague 1979). El aporte del carbono orgánico del mangle al sedimento aligera la composición isotópica de este último, lo cual se observa en el $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario de Punta Buen País. Los valores isotópicos del mangle aquí señalados son similares a los registrados por Rodelli *et al.* (1984) y Raz-Guzman y de la Lanza (1991).

El siguiente registro entre los marcadamente negativos fue el de *E. crassipes*, el cual indica una fotosíntesis de ciclo C_3 como en el caso del mangle rojo. Esta especie fue recolectada en el Río Blanco, por el cual es acarreada desde los sistemas dulceacuícolas de la planicie costera hasta la laguna. El lirio acuático aporta grandes cantidades de detrito con una composición isotópica muy similar, lo cual se debe a que el $\delta^{13}\text{C}$ del material que resulta de la descomposición de las plantas vasculares difiere poco del $\delta^{13}\text{C}$ de estas últimas (Schwinghamer *et al.* 1983 in Fry y Sherr 1984). El $\delta^{13}\text{C}$ de este lirio es más ligero que el de -24.1 a -26.0 ‰ que fue registrado para esta especie en Tabasco (Raz-Guzman, datos sin publicar).

Las macroalgas componen un grupo muy grande de especies que se caracterizan por valores muy variables (Fry y Sherr 1984). La amplitud del intervalo indica que esta vegetación puede utilizar ambos mecanismos fotosintéticos. El $\delta^{13}\text{C}$ de las algas rodofitas de Punta Grande y Punta Arbolillo es característico de vegetación C_3 , junto con el mangle rojo y el lirio acuático. Dicho valor isotópico es similar a los de las algas de Laguna de Términos (Raz-Guzman y de la Lanza 1991).

La composición isotópica de las algas filamentosas y *R. maritima* registrada al noroeste del Río Papaloapan señala un mecanismo de ciclo C_4 en el que la fijación del carbono se lleva a cabo por la acción de la enzima fosfoenolpiruvato sin discriminación de ^{13}C . Asimismo, el $\delta^{13}\text{C}$ de la vegetación acuática puede reflejar la composición isotópica del sustrato activo utilizado en la fotosíntesis. Uno de los sustratos es el HCO_3^- cuyo $\delta^{13}\text{C}$ es de -5 a -10 ‰, en aguas de baja salinidad, como la de esta localidad.

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de *R. maritima* al noroeste de Tlalixcoyan, Punta Grande, Punta Buen País y frente a Punta Larga permiten observar

el efecto isotópico que tiene el carbono orgánico del pasto sobre el sedimento, en particular en la última localidad en donde se registró el $\delta^{13}\text{C}$ sedimentario menos negativo del sistema. Estos registros isotópicos de *R. maritima* son característicos de los pastos marinos (Smith y Epstein 1971 y Beer y Waisel 1979).

Los valores isotópicos de las algas filamentosas y *R. maritima* se consideran entre los primeros registrados para esta vegetación ya que no se cuenta con registros anteriores en la literatura.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto Ecología Poblacional de los Camarones Peneidos de los Principales Sistemas Lagunares del Golfo de México, financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) clave PCEBNA-021436. Agradecemos el apoyo brindado tanto por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, como por el Centro Regional de Investigación Pesquera de Alvarado, Veracruz, Secretaría de Pesca.

RESUMEN

Los análisis hidrológicos, sedimentarios e isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) determinan la distribución y origen del carbono orgánico dentro de sistemas estuarinos. El sistema lagunar de Alvarado se caracterizó por cinco áreas: el Sureste de Laguna de Alvarado, el Margen Interno de la Barra de Alvarado, la Laguna Camaronera, la Zona de Transición y la Zona Lítica. El agua es principalmente oligohalina en los ríos y al sureste de Laguna de Alvarado durante las lluvias y nortes, y se vuelve polihalina en Laguna Camaronera en la época seca. El sedimento es limo-arcilloso, rico en materia orgánica al noroeste de Laguna Camaronera y en la barra de Laguna de Alvarado, y arenoso y pobre en materia orgánica en el resto del sistema. El contenido de carbonatos en el sedimento fue bajo, excepto en Punta Grande en donde las conchas de ostión son abundantes. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento variaron de -24.8 a -20.5‰, los más negativos se relacionan con el carbono orgánico de la vegetación terrestre y circundante, y los menos negativos con el de las praderas de vegetación acuática a lo largo del sistema. El

$\delta^{13}\text{C}$ del detrito (-25.7 a -28.3‰) es característico de vegetación terrestre enriquecida en ^{12}C . La vegetación formó dos grupos isotópicos: (1) algas rodofitas, *Eichhornia crassipes* y *Rhizophora mangle* (-24.6 a -29.4‰) con fotosíntesis de ciclo C_3 , y (2) algas filamentosas y *Ruppia maritima* (-15.8 a -22.1‰) posiblemente de ciclo C_4 .

REFERENCIAS

- Beer, S. & Y. Waisel. 1979. Some photosynthetic carbon fixation properties of seagrasses. *Aquat. Bot.* 7: 129-138.
- Blatt, H., G. Middleton & R. Murray. 1972. *Origin of Sedimentary Rocks*. Prentice-Hall, Inc. USA. 634 p.
- Botello, A.V. 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 5: 159-178.
- Botello, A.V. & S. Macko. 1982. Oil pollution and the carbon isotope ratio in organisms and recent sediments of coastal lagoons in the Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta* no. SP: 55-62.
- Botello, A.V., E.F. Mandelli, S. Macko & P.L. Parker. 1980. Organic carbon isotope ratios of recent sediments from coastal lagoons of the Gulf of Mexico, Mexico. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 44: 557-559.
- Boutton, T.W., W.W. Wong, D.L. Hachey, L.S. Lee, M.P. Cabrera & P.D. Klein. 1983. Comparison of quartz and pyrex tubes for combustion of organic samples for stable carbon isotope analysis. *Anal. Chem.* 55: 1832-1833.
- Contreras, F. 1985. *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México. 253 p.
- Dean, N.D. Jr. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; Comparison with other methods. *J. Sedim. Petrol.* 44: 242-248.
- Espinosa, G., A. López & L. Reyes. 1978. Análisis/Cúmulos: un programa para análisis de cúmulos. *Comunicaciones técnicas. Serie amarilla: Desarrollo*. Vol. 1. No. 6. IIMAS, Univ. Nal. Autón. México 27 p.
- Faure, G. 1977. *Principles of Isotope Geology*. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 464 p.
- Flores-Coto, C. & M.L. Mendez. 1982. Contribución al conocimiento del ictioplancton de la Laguna de Alvarado, Veracruz. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 9(1): 141-160.

- Flores-Coto, C. & F. Zavala. 1982. Descripción de huevos y larvas de *Dormitator maculatus* (Bloch) de la Laguna de Alvarado, Veracruz (Pisces: Gobiidae). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 9(1): 127-140.
- Fry, B. 1984. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios and the trophic importance of algae in Florida *Syringodium filiforme* seagrass meadows. Mar. Biol. 79: 11-19.
- Fry, B. & P.L. Parker. 1979. Animal diet in Texas seagrass meadows: $\delta^{13}\text{C}$ evidence for the importance of benthic plants. Est. Coast. Mar. Sci. 8: 499-509.
- Fry, B. & E.B. Sherr. 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. Contrib. Mar. Sci. 27: 13-47.
- Fry, B., R.S. Scalán & P.L. Parker. 1977. Stable carbon isotope evidence for two sources of organic matter in coastal sediments: seagrasses and plankton. Geochim. et Cosmochim. Acta 41: 1875-1877.
- García-Montes, J. 1989. Composición, distribución y estructura de las comunidades de macroinvertebrados epibénticos del sistema lagunar Alvarado, Veracruz. Tesis de Maestría. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UACPyP-CCH. UNAM. 124 p.
- Hackney, C.T. & E.B. Haines. 1980. Stable carbon isotope composition of fauna and organic matter collected in a Mississippi estuary. Est. Coast. Mar. Sci. 10: 703-708.
- Haines, E.B. & C.L. Montague. 1979. Food sources of estuarine invertebrates analyzed using $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios. Ecology 60: 48-56.
- Kitting, C.L., B. Fry & M.D. Morgan. 1984. Detection of inconspicuous epiphytic algae supporting food webs in seagrass meadows. Oecologia (Berl.) 62: 145-149.
- McMillan, C., P.L. Parker & B. Fry. 1980. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in seagrasses. Aquat. Bot. 9: 237-249.
- Odum, W.E., J.C. Zieman & E.J. Heald. 1973. The importance of vascular plant detritus to estuaries. p. 91-114. In: Proceedings of the Second Coastal Marsh and Estuary Management Symposium, Baton Rouge. Louisiana. Louisiana State University Press.
- Phleger, F.B. & R.R. Lankford. 1974. Sedimentos y foraminíferos de la laguna de Alvarado, Veracruz, México. V Congreso Nacional de Oceanografía. Guaymas, Sonora, México.
- Rashid, M.A. & G.E. Reinson. 1979. Organic matter in surficial sediments of the Miramichi Estuary. New Brunswick, Canada. Est. Coast. Mar. Sci. 8: 23-38.
- Raz-Guzman, A. & G. de la Lanza. 1991. Evaluation of photosynthetic pathways of vegetation, and of sources of sedimentary organic matter through $\delta^{13}\text{C}$ in Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. An. Inst. Biol. Ser. Bot. Univ. Nal. Autón. México 62(1): 39-63.
- Raz-Guzman, A., A.J. Sánchez & L.A. Soto. 1992. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros y anomuros de Laguna de Alvarado, Veracruz (Crustacea: Brachyura, Anomura). An. Inst. Biol. Cuadernos 14. Ser. Zool. Univ. Nal. Autón. México 51 p.
- Reguero, M. & A. García-Cubas. 1989. Moluscos de la Laguna de Alvarado, Veracruz: Sistemática y Ecología. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 16(2): 279-306.
- Renfro, W.C. 1962. Small beam net for sampling postlarval shrimp. U.S. Fish. Wildl. Serv. Circ. 161: 86-87.
- Resendez, A. 1973. Estudio de los peces de la laguna de Alvarado, Ver., México. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 34: 183-281.
- Rodelli, M.R., J.N. Gearing, P.J. Gearing, N. Marshall & A. Sasekumar. 1984. Stable isotope ratio as a tracer of mangrove carbon in Malaysian ecosystems. Oecologia 61: 326-333.
- Rosales-Hoz, M.T.L. & R. Alvarez-Leon. 1979. Niveles actuales de hidrocarburos organoclorados en sedimentos de lagunas costeras del Golfo de México. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 6(2): 1-6.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards & U. Alvarez-Rivera. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon System, Veracruz, Mexico. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 13(3): 19-28.
- Sánchez, A.J. & L.A. Soto. 1987. Camarones de la Superfamilia Penaeoidea (Rafinesque, 1815) distribuidos en la plataforma continental del suroeste del Golfo de México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 14(2): 157-180.
- Sánchez, A.J. & L.A. Soto. (sometido). Distribución de estadios inmaduros de camarones peneidos (Decapoda: Penaeidae) en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Rev. Biol. Trop.
- Selley, R.C. 1976. An Introduction to Sedimentology. Academic Press Inc. (London) Ltd. 408 p.
- Shackley, M.L. 1975. Achaological sediments. Butterworths. London. 159 p.
- Smith, B.N. & S. Epstein. 1971. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. Plant Physiol. 47: 380-384.
- Tan, F.C. & P.M. Strain. 1979. Organic carbon isotope ratios in recent sediments in the St. Lawrence Estuary and the Gulf of St. Lawrence. Est. Coast. Mar. Sci. 8: 213-225.
- Tovilla, C. & G. de la Lanza. 1989. Contribución a la biología de *Neritina virginea* (Mollusca) en comunidades de pasto marino *Ruppia maritima* L. (Ruppiaceae) en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México, Ser. Zool. 60(2): 143-158.

- Villalobos, A., J. Cabrera, F. Manrique, S. Gómez, V. Arenas & G. de la Lanza. 1969. Relación entre poslarvas planctónicas de *Penaeus* sp. y caracteres ambientales en la Laguna de Alvarado, Veracruz, México. *Lagunas Costeras, un Simposio. Memorias del Simposio Internacional sobre Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967: 601-620.*
- Villalobos, A., J. Cabrera, F. Manrique, S. Gómez, V. Arenas & G. de la Lanza. 1975. Estudios hidrobiológicos en la Laguna de Alvarado (Febrero-Agosto, 1966). *An. Inst. Biol. Ser. Zool. Univ. Nal. Autón. México 46(1): 1-34.*
- Villalobos, A., J.A. Suarez-Caabro, S. Gómez, G. de la Lanza, M. Aceves, F. Manrique & J. Cabrera. 1966. Consideration on the hydrography and productivity of Alvarado Lagoon, Ver., México. *Proc. Gulf and Carib. Fish. Inst.: 75-85.*