



## FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

# "VARIACIÓN ESPACIAL EN LA COMPOSICIÓN ISOTÓPICA $\delta^{18}$ O EN TANATOCENOSIS DE CONCHAS SUBMAREALES DE *MULINIA COLORADOENSIS* EN EL DELTA DEL RÍO COLORADO: IMPLICACIONES PALEOECOLÓGICAS".

Tesis

# QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE OCEANÓLOGO

## PRESENTA

Marla Itzel Macias Contreras

Ensenada, B. C. Junio de 2011

"VARIACIÓN ESPACIAL EN LA COMPOSICIÓN ISOTÓPICA  $\delta^{18}$ O EN TANATOCENOSIS DE CONCHAS SUBMAREALES DE *Mulinia coloradoensis* EN EL DELTA DEL RÍO COLORADO: IMPLICACIONES PALEOECOLÓGICAS".

> TESIS QUE PRESENTA

Marla Itzel Macias Contreras

APROBADO POR:

Dr. Miguel Agustín Téllez Duarte Presidente del jurado

Dr. Guillermo E. Avila Serrano Sinodal propietario Dr. Francisco J. Aranda Manteca Sinodal propietario  ${\it DEDICATORIA}$ 

A mís padres, por el apoyo incondicional que me han dado y que sé, siempre me darán.

A mís hermanos, por lo mucho que me aguantan...

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera dar mi más sincero agradecimiento al Dr. Miguel A. Téllez Duarte por el apoyo, la confianza y la paciencia que me brindó a lo largo de la realización de este trabajo.

A mis sinodales Dr. Guillermo E. Avila Serrano, y Dr. Francisco J. Aranda Manteca, por el tiempo dedicado a la revisión y correcciones de la tesis.

A Víctor M. Moreno Rivera por la ayuda proporcionada en el tratamiento de las muestras.

A la Dra. Sharon Z. Herzka por facilitarme el uso del material del laboratorio de isótopos estables para la toma de la muestra de carbonatos.

Para la investigación se contó con el finaciamiento de la UABC a través de la XIII Convocatoria de apoyos a proyectos de investigación; y del CONACYT a través del Convenio CB-2007-01-84710.

#### RESUMEN:

El Delta del río colorado ha sido severamente alterado por la desviación y control de sus aguas, como consecuencia de ello el estuario ha desaparecido, el área de humedales se ha reducido en un 80% y la productividad de la fauna de moluscos ha decaído hasta en un 90%. El uso de los valores de isótopos de oxígeno registrados a lo largo del tiempo en la concha de moluscos, ha sido una herramienta muy útil en la estimación de la magnitud del impacto ecológico dado por la reducción del flujo de agua, sin embargo los estudios isotópicos en conchas realizados en el delta se restringen a organismos intermareales, debido a esto en el presente estudio se realizó una interpretación del significado paleoecológico de la composición isotópica de las conchas submareales de la especie M. coloradoensis, del área deltaica. Para ello se muestrearon 16 estaciones distribuidas en 4 transectos perpendiculares a la línea de costa entre la isla Montage y campo Don Abel. De cada estación se separó una concha bien conservada y una que mostrara huellas tafonómicas de ser más antiqua. de cada una se tomaron dos muestras de carbonato y se realizó el análisis isotópico. En la mayoría de las conchas de *M. coloradoensis* los valores  $\delta^{18}$ O fueron más positivos en el umbo que en el borde, indicando que, aparentemente las primeras etapas de desarrollo ocurren en condiciones de flujo de agua dulce bajo, y su desarrollo posterior se incrementa en condiciones estuarinas. Los valores promedio de  $\delta^{18}$ O en la tanatocenosis no fueron significativamente diferentes entre las conchas de aspecto reciente y antiguo, por lo que, sin importar su aspecto paleoecológico, estos valores indican que todas las conchas pertenecen a una misma población y representan en su mayoría las antiguas condiciones estuarinas, donde, el no haberse encontrado valvas apareadas, ejemplares vivos y conchas adultas muestran, que las conchas juveniles encontradas debieron de haber llegado a la zona submareal por transporte hidrodinámico. Por lo que, no existen evidencias de que actualmente M. coloradoensis se este reproduciendo en la zona intermareal.

Palabras claves: Moluscos, Mulinia coloradoensis, isótopos de oxígeno.

## ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES	14
3. OBJETIVO	18
4. ÁREA DE ESTUDIO	19
5. METODOLOGÍA	21
6. RESULTADOS	25
Abundancia de <i>Mulinia coloradoensis</i>	25
Valores de $\delta^{18}$ O en las conchas de <i>M. coloradoensis</i>	27
7. DISCUSIONES	31
Análisis de la macrofauna	31
Análisis isotópico	33
8. CONCLUSIONES	36
9. REFERENCIAS	37

### LISTA DE FIGURAS:

Pag.

### LISTA DE TABLAS:

 Tabla I. Listado de especies de bivalvos por orden de abundancia dentro del área del Delta del Río Colorado, cubriendo 16 estaciones de muestreo.......26

Tabla IV. Análisis de varianza (Kruskal-Wallis) de una vía entre los transectos.30

Tabla V. Prueba de Mann-Whitney para las conchas recientes y antiguas......30

Pag.

### INTRODUCCIÓN:

Cada átomo de un mismo elemento esta descrito específicamente por el número de protones y neutrones que se encuentran presentes en su núcleo, indicándonos la suma de ambos, su "número másico" (Faure, 1986). Sin embargo, átomos de un mismo elemento pueden poseer diferente número de neutrones en su núcleo, y por tanto, diferente masa atómica. Dichos átomos con igual número atómico pero con diferente masa atómica se denominan isótopos (Guerrero y Berlanga, 2000), los cuales presentan propiedades químicas muy similares, difiriendo únicamente en sus masas (Faure, 1986).

El oxígeno es el elemento químico más abundante en la corteza terrestre. Este compone cerca del 87% de la atmósfera, el 89% del agua, y aproximadamente el 51% de la corteza inorgánica de la tierra (Faure, 1986; Urey, 1948). El oxígeno se encuentra compuesto de tres isótopos estables de masas 16, 17 y 18, donde el isótopo de masa 17, por su escasez, raramente es utilizado en estudios ecológicos o paleontológicos (Gonfiantini y Araguas, 1988). El oxígeno combinado con el hidrógeno forma agua, y su ciclo controla la mayor parte de su dinámica, y consecuentemente, la de sus isótopos (Fry, 2006).

Dentro de la naturaleza hay muchos procesos que causan una distribución desigual de isótopos pesados y livianos entre el sustrato o la fuente y los productos, dicha distribución puede dar información acerca de la física, la química y los procesos que lo produjeron (Dawson, *et al.,* 2002; Santiago, *et al.*,

2005). Estos cambios en la proporción de isótopos es conocido como fraccionamiento isotópico y se debe a que los isótopos más ligeros forman enlacen más débiles, son más reactivos y tienden a concentrarse en el producto de una manera más rápida y con más facilidad en comparación con los isótopos pesados (Mejía-Chang, 2009; Fry, 2006; Dawson, *et al.*, 2002).

La composición isotópica de una substancia o material en particular, se expresa como la proporción de los isótopos pesados en relación a los livianos, utilizando la notación delta ( $\delta$ ) para representarlo (Mejía-Chang, 2009; Dawson, et al., 2002), donde para hacer comparables las frecuencias obtenidas en distintas muestras, los resultados se refieren a un valor estándar, un material que se toma como referencia del valor del isótopo pesado con respecto al ligero (Guerrero y Berlanga, 2000). Para estudios realizados en el agua, la composición isotópica media del océano es la que ha sido tomada como referencia para expresar las concentraciones en oxígeno-18, siendo conocido como SMOW (Standard Mean Ocean Water) (Gonfiantini y Araguas, 1988), mientras que para las muestras de carbonato el estándar utilizado es la Belemnita Pee Dee o "PDB", por sus siglas en ingles, y esta basado en el carbonato de un cefalópodo fósil marino, Bellemnitella americana, el cual pertenecía a la formación Pee Dee en el sur de California, (Guerrero y Berlanga, 2000). Además, para facilitar la expresión de los resultados, los números resultantes se multiplican por mil, expresándose entonces la discriminación de un isótopo pesado en partes por mil ( $\delta^0/_{00}$ ) (Guerrero y Berlanga, 2000),

pudiéndose obtener la variación en oxígeno generalmente con una exactitud entorno a 1º/oo (Gonfiantini y Araguas 1988). Esta relación isotópica se expresa por la fórmula:

$$\delta^{18} \text{O} = \left(\frac{{}^{18} \text{O}/{}^{16} \text{O MUESTRA} - {}^{18} \text{O}/{}^{16} \text{O STD}}{{}^{18} \text{O}/{}^{16} \text{O STD}}\right) x \, 1000$$

Por definición, el estándar tiene un valor de 0‰. Un valor positivo indicará, por lo tanto, que la muestra contiene una mayor proporción de isótopos pesados que el estándar, y valores negativos indicaran que la muestra contiene menos que el estándar (Dawson, *et al.,* 2002).

En el agua de mar, la abundancia de los isótopos de oxígeno, varían en función de dos factores principalmente: 1) La temperatura, donde entre mayor sea esta, las moléculas isotópicamente más ligeras (<sup>16</sup>O) se evaporan preferencialmente enriqueciendo el agua residual con las moléculas mas pesadas (<sup>18</sup>O); y 2), Las descargas de agua dulce, debido a que el agua de origen fluvial es isotópicamente más ligera que el agua de mar en la que se descarga, pudiendo esta diferencia ser utilizada para estimar la contribución de agua de río en áreas estuarinas una vez calibrada con la variación debida, exclusivamente a los cambios de temperatura (Rodríguez *et al.,* 2001).

Dentro de las últimas décadas se ha incrementado el uso de los análisis isotópicos de oxígeno y carbón para la reconstrucción de las condiciones

climáticas del pasado (Pérez – Crespo *et al.,* 2009). Por ejemplo, se ha utilizado en paleontología para inferir las condiciones físicas y ambientales donde vivieron los organismos (especialmente temperatura), y reconstruir su historia de vida y modo de crecimiento (Wefer y Berger, 1991), influencia de agua marina y dulce, zonas de mezcla, y reconstrucciones paleoambientales (Gonfiantini y Araguas, 1988, Goodwin *et al.,* 2004; Téllez *et al.,* 2008).

Los foraminíferos han sido de los organismos más estudiados en relacionar la composición isotópica de su concha con las condiciones ambientales. Entre estos tenemos los de Grossman (1984), quien analizó y comparó la composición isotópica de oxígeno y carbono tanto del agua como de las conchas de foraminíferos bentónico del sur de California, con el fin de evaluar los factores que influyen su composición isotópica. Encontró que esta la determinan tres factores principales: la mineralogía, el fraccionamiento biológico y el efecto del micro-hábitat. Grossman y Ku (1986) realizaron un estudio de la composición isotópica de carbono y oxígeno en foraminíferos aragoniticos, en los que observaron una dependencia de la temperatura en el fraccionamiento isotópico de carbono en los géneros *Hoeglundina* y *Uvigerina*, obteniendo una medida para el cálculo de la paleo-temperatura sin requerir conocer la composición isotópica del agua circundante.

Los cambios isotópicos ocurridos en el agua quedan registrados y también pueden ser inferidos de las conchas calcáreas de moluscos bivalvos, ya

que estos crecen y construyen sus conchas precipitando carbonato de calcio en bandas acrecionales tomando oxígeno del agua circundante, por lo que su composición isotópica refleja la composición de esta, su temperatura y evaporación, creando un registro de las condiciones ambientales locales. Por lo tanto, los cambios en el  $\delta^{18}$ O del agua están registrados en la concha mientras esta crece, lo cual ha sido una herramienta muy útil en la estimación de cambios ambientales por la alteración del flujo de agua dulce en ecosistemas costeros alterados por la intervención humana, como es el caso del Delta del Río Colorado (Goodwin *et al.*, 2004; Téllez, *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2001). Este delta ha sido severamente alterado por la desviación y control de sus aguas, sin existir antecedentes de la estructura de sus comunidades bentónicas anteriores a su transformación que permitan valorar la magnitud del impacto ambiental (Rodríguez *et al.*, 2001).

#### Antecedentes

El Río Colorado, originado en las montañas de Wyoming y Colorado, fluye a través de 2,300 Km cruzando siete estados en los Estados Unidos y dos en México (Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California, 2006), y descarga sus aguas en el Golfo de California (Fig. 1), alimentando lo que era uno de los estuarios desérticos mas grandes del mundo (Luecke et al., 1999). Sin embargo, la construcción de grandes presas en su cauce ha producido un dramático efecto en la descarga de agua dulce hacia el delta (Millán - Nuñez et al., 1999). Si bien es cierto que el agua represada se utiliza para actividades económicamente valiosas, también es cierto que al impedir que el agua fluya por el río ha provocando el deterioro y daño ecológico de su delta, incluyendo la reducción del área total de los humedales en un 80% en los últimos 100 años (Sanjurjo-Rivera y Carrillo-Guerrero, 2006), así como un gran impacto sobre los organismos encontrados en el área, como lo son moluscos, braquiópodos y equinodermos, reflejado en una importante reducción en la abundancia de estos (Millán - Nuñez et al., 1999; Avila- Serrano, et al., 2006). Kowalesky et al., (2000) encontraron que la productividad de la fauna de moluscos ha disminuido hasta en un 90%, atribuyéndoselo primordialmente a la ausencia de flujo del río, que se a traducido en un aumento en la salinidad, alteración en la circulación, así como una disminución en el aporte sedimentario (Cintra-Buenrostro y Flessa, 2004: Carriquiry y Sanchez, 1999).



Figura 1. Origen y trayectoria del Río Colorado así como la localización de las diferentes presas (Tomado de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California, ANEXO II, 2010).

Han sido muchos los estudios en los que se ha utilizado la composición isotópica de las conchas de bivalvos de las especies más representativas del Alto Golfo de California, con el fin de estimar la magnitud del impacto ecológico por la reducción de flujo del Río Colorado. Entre estos, Rodríguez *et al.* (2001), a través de isótopos de oxígeno en las conchas de *Mulinia coloradoensis* observaron su variación en abundancia al sur de la boca del río, corroboró que esta habita aguas salobres.

Goodwin *et al.* (2003), modelaron la disminución en el crecimiento en la concha del molusco *Chione cortezi* del norte del Golfo de California, para observar el efecto de esta variable en los registros de isótopos de oxígeno. Encontró que la gama más completa de condiciones ambientales solamente se refleja en los primeros años de crecimiento.

A través de la composición de isótopos de oxigeno de las conchas de moluscos bivalvos Dettman, *et al.* (2004), desarrollan y describen un nuevo método para calcular el paleoflujo del Río Colorado y la paleosalinidad con una resolución quincenal o estacional.

Goodwin, *et al.* (2004), realizaron las comparaciones de perfiles  $\delta^{18}$ O de diferentes conchas para detectar la mezcla temporal o espacial de los regímenes de temperatura y salinidad, encontrando que este método puede revelar la mezcla temporal o espacial en cualquier concha en la que seria indetectable con radiocarbono o racemización de aminoácido.

Téllez-Duarte, *et al.* (2008), evaluaron la influencia del agua del Río Colorado en la prehistoria utilizando isótopos de oxígeno y fechado por

radiocarbono en conchas de *Protothaca grata* provenientes de sitios arqueológicos. El estudio comparó dos localidades: San Felipe y Campo Cristina, encontrando que los datos isotópicos sugieren que las condiciones estuarinas se extendían hasta la primera localidad, mientras que en Campo Cristina, aproximadamente 60 km más al sur, desaparecían totalmente.

Como hemos visto con anterioridad, todos los estudios isotópicos en moluscos dentro del área deltaica provienen de organismos intermareales, sin haberse explorado la zona submareal adyacente donde es de esperar que el promediado temporal, es decir, la mezcla de varias generaciones de organismos, sea menor, así como el sesgo en interpretaciones paleoecológicas. Además, los organismos que habitan las zonas submareales presentan menor interferencia en sus perfiles isotópicos, ya que no son afectados de manera considerable por las anomalías dadas por la evaporación (Dettman et al., 2004). Para esto, la especie ideal en la interpretación de los cambios ecológicos en el delta es la almeja Mulinia coloradoensis, por ser esta endémica de la zona, y en general es un género característico de ambientes estuarios en todo el mundo. Considerando que es muy poco lo que se conoce de la biología y ecología de esta especie en la zona del delta del Colorado, el presente estudio pretende interpretar el significado paleoecológico de la composición isotópica de las conchas de *M. coloradoensis* durante sus primeras etapas de desarrollo en la zona submareal en el área deltaica.

Objetivo:

Interpretar el significado paleoecológico de la variación espacial en la composición isotópica  $\delta^{18}$ O en conchas juveniles recientes y antiguas de tanatocenosis submareales de *Mulinia coloradoensis* en el Delta del Río Colorado.

## ÁREA DE ESTUDIO:

El Delta del Río Colorado se localiza entre los 31° 41' y 31° 53' N y 114 ° 03' y 115 ° 03' W, en el Alto Golfo de California, entre los estados de Sonora y Baja California, México, dentro de la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (Fig. 2). La región se caracteriza por un clima árido, lluvias escasas con precipitaciones anuales de 68 mm año<sup>-1</sup> (Miranda-Reyes *et al.*, 1990 en Millán Nuñez *et al.*, 1999). El régimen de mareas es macromareal, con un máximo de 12 m en la boca del río. El amplio rango de marea y la baja pendiente del área originan una planicie de mareas expuesta de hasta más de 2 Km durante marea baja (Thompson, 1968). La temperatura promedio mensual alcanzan los 30°C, en verano y 15 °C en invierno (Rodríguez *et al.*, 2001). Debido a estos parámetros y la escasa o nula entrada de agua del Río Colorado, actualmente la evaporación modela la salinidad y la composición isotópica del agua (Dettman *et al.* 2004).



Figura 2. Localización geográfica del área de estudio y de las estaciones de muestreo en el Delta del Río Colorado.

En los márgenes de las playas e islas de la línea costera al oeste del delta, existen cordilleras denominadas cheniers, compuestos hasta en un 90% por conchas de *M. coloradoensis* (Kowalewski, et al., 1994). Las cordilleras forman una secuencia progradante separadas unas de otras por planicies lodosas. No obstante que los cheniers reflejan la gran abundancia de *M. coloradoensis* en el pasado, individuos vivos de esta especie son difíciles de encontrar actualmente (Cintra- Buenrostro, 2006).

METODOLOGÍA:

El muestreo se realizó el 20 de marzo de 2010, ubicando cuatro transectos perpendiculares a la línea de costa entre la Isla Montague y Campo Don Abel, dentro de los cuales se posicionaron cuatro estaciones de muestreo en cada uno. Las estaciones cubren el área conocida de influencia estuarina cuando las aguas del Río Colorado fluían libremente (Fig. 2). Cada estación fue geoposicionada con un GPS Garmin modelo e-Trex, registrándose también la temperatura superficial con un termómetro inmerso en una cubeta, y la salinidad con un refractómetro Vee Gee STX-3. La toma de las muestras de sedimento se realizó con una draga Pomar de 2.4 lts. de capacidad, arrojada desde la borda de una embarcación. El sedimento colectado junto con las conchas fue colocado en bolsas de plástico cerradas herméticamente para su posterior procesamiento y análisis de laboratorio.

Las muestras de sedimento fueron procesadas en el laboratorio de Geología de la Facultad de Ciencias Marinas, de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). La separación de los moluscos se realizó a través de un tamiz con luz de malla de 1 mm, de donde los organismos retenidos fueron separados para ser contabilizados e identificados por especie, y tabulados en orden de abundancia. La identificación se realizó comparando los ejemplares con la colección de referencia de moluscos recientes de la Colección Paleontológica de Referencia de la Facultad de Ciencias Marinas. De las muestras se separaron y seleccionaron las conchas de *M. coloradoesis*. De

cada estación se separó una concha bien conservada, la cual se asume haber muerto recientemente en ausencia de agua dulce; y una que mostrara huellas tafonómicas de haber permanecido en la superficie por un tiempo prolongado, tales como bioerosión y corrosión, lo cual se asume indica que es antigua y murió cuando existía flujo de agua del río (Fig. 3).



Figura 3. *M. coloradoensis* a) de aspecto antiguo cubierta de epibiontes, b) con aspecto reciente y sin epibiontes.

Las conchas fueron montadas en resina para proteger la superficie y prevenir la posibilidad de perder cualquier parte de la concha. Posteriormente fueron cortadas a lo largo del eje antero-posterior con una cortadora Barranca Diamond PF 10 Power Feed Trim Saw wet saw, y pulida la superficie a 100 rpm en una pulidora Buehler Ecomet 3 con una lija de agua #600 para exponer completamente el umbo de la concha. Una vez pulidas las conchas fueron montadas en un portaobjetos y de cada una se tomaron dos muestras de carbonato: una localizada en el umbo, la cual representa la primera etapa de vida del organismo; y otra en el borde, la cual representa el momento de su muerte. Estas fueron tomadas con un taladro de 300-µm bajo microscopio, obteniéndose de 25 a 100 µg de carbonato requerido para su análisis en el espectrómetro de masas y obtener su composición isotópica. Durante el procedimiento de la toma de cada muestra, se utilizó helio para limpiar la superficie de trabajo, así como los instrumentos utilizados para evitar su posible contaminación.

La composición isotópica fue analizada en el laboratorio de geoquímica isotópica de la universidad de Arizona en Tucson, USA, con un espectrómetro Finnigan MAT 252 con una unidad de preparación integrada KIEL III. Estando todos los valores reportados se referidos al estándar de carbonatos PDB.

Para conocer si la distribución y abundancia de *M. coloradoensis*, así como su composición isotópica, reflejaban un gradiente de dispersión y

disolución de agua dulce a lo largo de la zona de muestreo los valores de  $\delta^{18}$ O fueron procesados estadísticamente, entre cada transectos así como entre grupos: "antiguos" y "recientes" con las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney, respectivamente.

La prueba de Kruskal-Wallis es empleada en la comparación de tres o más poblaciones, equivalente a un análisis de variancia de una sola vía, en la que no se requiere de homocedasticidad y normalidad en los datos, suposiciones necesarias para la aplicación del test paramétrico ANOVA. La hipótesis nula en dicha prueba es:

H<sub>0</sub>: Las muestras pertenecen a una población idéntica.

La prueba de Mann-Whitney es utilizada para conocer si los puntos medios de dos poblaciones independientes son diferentes. Esta prueba tampoco asume normalidad en los valores, siendo su hipótesis nula:

H<sub>0</sub>: Las dos muestras son tomadas de poblaciones con puntos medios iguales.

Los cálculos se realizaron con el programa PAST (Hammer, *et al.,* 2001) versión 1.21. (<u>http://folk.uio.no/ohammer/past/</u>).

#### **RESULTADOS:**

#### Abundancia de Mulinia coloradoensis

Considerando toda el área de muestreo, en total se contabilizaron 8,199 individuos y se identificaron 14 especies (Tabla I.). La mas abundante fue el bivalvo *Saxicava (Saxicavela) pacifica*, con un total de 2,464 individuos, apareciendo en 13 de las 16 estaciones muestreadas. La segunda y tercera posición en abundancia estuvieron *Tellina ulloana* y *Nuculana impar* respectivamente. La fauna encontrada en la zona submareal, se caracteriza por la dominancia de pocas especies ya que tan solo 4 de ellas representan el 80% del total de los individuos.

En cuarto lugar se encontró *Mulinia coloradoensis*, de la que se contabilizaron un total de 918 individuos. Esta especie estuvo ausente en las estaciones 7 y 16, y para las estaciones 6, 7, 14, 15 y 16 no se encontraron organismos de aspecto antiguo. En general se observó que a mayor distancia de la desembocadura del Río Colorado la abundancia relativa de las conchas disminuye (Fig. 4), encontrándose en las estaciones sureñas (transecto 4) tan solo 25 individuos mientras que en el transecto 1 se contabilizaron 336 individuos (Tabla II).

Tabla I. Listado de especies de bivalvos por orden de abundancia dentro del área del Delta del Río Colorado, cubriendo 16 estaciones de muestreo.

Especie	Total	%
1. Saxicava (Saxicavela) pacifica	2464	30.05
2. Tellina ulloana	1922	23.44
3. Nuculana impar	1299	15.84
4. Mullinia coloradenensis	918	11.20
5. Tellina amianta	636	7.76
6. Epilucina californica	240	2.93
7. Chionopsis gnidia	235	2.87
8. Semele guaymasensis	233	2.84
9. Corbula cf. nuciformis	133	1.62
10. Lectopecten palmeri	70	0.85
11. Crassinella sp.	28	0.34
12. Trachycardium consors	13	0.16
14. Cardita laticosta	6	0.07



Figura 4. Porcentaje de abundancia de *Mulinia coloradoensis* a lo largo de los cuatro transectos muestreados en el Delta del Río Colorado.

Tabla II.	Porcentaje	de abu	ndancia	por e	estación	ур	or t	ransecto	de	la	especie
endémic	a Mulinia co	oloradoe	<i>nsis</i> en el	l área	a deltaica	a.					

	# de			% de
Estación	organismos	% de Abundancia	Transecto	Abundancia
1	12	0.14635931		
2	186	2.26856934		
3	1	0.01219661	1	4.09806074
4	137	1.67093548		
5	35	0.42688133		
6	7	0.08537627		
7	0	0	2	3.63458958
8	256	3.12233199		
9	117	1.42700329		
10	101	1.23185754		
11	39	0.47566776	3	3.14672521
12	1	0.01219661		
13	14	0.17075253		
14	3	0.03658983	]	
15	9	0.10976948	4	0.31711184
16	0	0		

De manera inversa, a lo largo de los transectos, al incrementarse la distancia de la boca del río, existe un aumento relativo en el número de especies, así como del número de individuos, encontrándose en las estaciones de los transectos tres y cuatro, hasta 13 de las 14 especies identificadas, de un total de 2,535 y 3, 680 individuos respectivamente.

## Valores $\delta^{18}$ O en las conchas de M. coloradoensis

El análisis isotópico realizado a las muestras de las estaciones 6, 9, 12, 13 y 14 de las conchas seleccionadas como recientes, arrojaron valores de voltaje bajos, probablemente debido a que la cantidad de muestra recuperada fue escasa, por lo que estos datos no son confiables y se eliminaron para la estadística y comparaciones realizadas (Tabla III). Tabla III. Valores  $\delta^{18}$ o para las conchas de *Mulinia coloradoensis*, tanto para los individuos de aspecto reciente como antiguo. Los valores máximos y mínimos para toda el área están remarcados en negritas

	$\delta^{18}$ O VPDB (Conchas recientes)			$\delta^{18}$ O VPDB (Conchas antiguas)		
Estación	umbo	Borde	Promedio	umbo	Borde	Promedio
1	-4.44	0.23	-2.11	-2.03	-2.38	-2.21
2	-3.42	-2.89	-3.15	-2.20	-2.69	-2.44
3	3.96	-3.12	0.42	-2.79	-3.33	-3.06
4	-2.35	-1.36	-1.85	-2.11	-3.40	-2.76
5	-2.21	-2.77	-2.49	-2.58	-2.66	-2.62
6		-2.95	-2.95			
8	-0.61	-2.40	-1.51	-1.58	-2.17	-1.87
9		-2.50	-2.50	-1.00	-1.57	-1.28
10				-2.49	-3.90	-3.19
11	-2.85	-1.53	-2.19	-0.95	-1.79	-1.37
12		-2.20	-2.20	-1.25	-3.49	-2.37
13		-3.87	-3.87			
14		-2.30	-2.30			
15	-2.16	-3.75	-2.95			
Promedio	-1.76	-2.42	-2.17	-1.90	-2.74	-2.32

Considerando todos los datos obtenidos en el área de estudio, los valores promedio  $\delta^{18}$ O en el umbo, los cuales representan las primeras etapas de crecimiento de los organismos, en las conchas recientes y antiguas fueron de - 1.76 y -1.90‰ respectivamente, los cuales son valores más positivos que los obtenidos en la última etapa de vida, donde en las conchas recientes el promedio fue de -2.42‰ y de -2.74‰ en las conchas antiguas.

Los valores promedio de  $\delta^{18}$ O en el umbo y la última línea de crecimiento, en *M. coloradoensis* con rasgos tafonómicos que denotaban mayor antigüedad se encontraron en un rango de -0.95 a -3.90 ‰, con un promedio de – 2.32 ‰. En los organismos de aspecto reciente los valores variaron en el rango de 3.96 a -4.44 ‰ con un promedio de -2.17‰ (Tabla III).

Comparando los valores promedio para cada transecto, las conchas de aspecto antiguo tienden a valores  $\delta^{18}$ O más positivos lejos de la desembocadura, y lo inverso en las conchas recientes (Fig. 5).



Figura 5. Promedio de los valores de isótopos de oxígeno de las conchas de *Mulinia coloradoensis* para cada transecto. Los cuadros representan los promedios para los organismos considerados como recientes y los rombos a los organismos antiguos. La línea horizontal punteada representa el valor promedio de  $\delta^{18}$ O para organismos colectados vivos de la especie *Chione fluctifraga* en la actualidad (Dato tomado de Rodríguez, *et al.,* 2001).

Con el fin de probar estadísticamente si existen diferencias significativas entre los valores promedio  $\delta^{18}$ O de cada concha entre transectos, se realizó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, encontrándose que no existe diferencia significativa con una significancia estadística p= 0.55 en conchas antiguas, y 0.39 en conchas recientes (Tabla IV).

Muestras	Ν	GI	Hc	Р
Antiguas	10	2	1.172727	0.5563
Recientes	13	3	3.93956	0.3816

Tabla IV. Análisis de varianza (Kruskal-Wallis) de una vía entre los transectos.

Donde:

N=Tamaño total de la muestra

GI=Grados de libertad.

Hc= Valor estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis.

P=Grado de significancia estadística

Asimismo, para probar si existen diferencia significativas entre los valores  $\delta^{18}$ O de las muestras antiguas y recientes, se realizó la prueba de Mann-Whitney (Tabla V), en la cual se encontró una probabilidad de significancia alta (p= 0.97), lo que nos indica que no hay diferencia significativa entre estos grupos, por lo que los valores de  $\delta^{18}$ O reflejan las mismas condiciones ambientales para todas las conchas.

Tabla V. Prueba de Mann-Whitney para las conchas recientes y antiguas.

Muestras	Ν	U	р
Antiguas	10	66	0.9753
Nuevas	13	64	

Donde:

N=Tamaño total de la muestra

U= Valor estadístico de la prueba de Mann-Whitney.

P=Grado de significancia estadística

#### DISCUSIONES

#### Análisis de la macrofauna:

A lo largo de las estaciones muestreadas la mayor riqueza de especies fue en las estaciones sureñas y lejanas a la costa, lo que coincide con el aumento en el número de individuos. Esto puede atribuirse a que ambientalmente las condiciones son más rigurosas cerca a la desembocadura del río, ya que la obstrucción de su flujo transformó el antiguo estuario en un ambiente hipersalino o antiestuarino (Carbajal *et al.,* en Rodríguez, *et al.,* 2001), de tal forma que en la actualidad al sur de su desembocadura las condiciones marinas son más estables.

Dicha distribución e incremento en el número de especies a medida que nos alejamos de la costa, responde a la hipótesis de estabilidad-tiempo de Sanders (1968), según la cual establece que la diversidad se ve favorecida por la persistencia de condiciones ambientales estables, a lo largo de periodos de tiempo prolongados (Cognetti, *et al.*, 2001), lo cual es de esperar en condiciones marinas donde las variables ambientales cambian menos abruptamente que en las aguas estuarinas. A esto hay que agregar que la zona submareal es más estable que la intermareal.

*Mulinia coloradoensis* componen alrededor del 90% de los cheniers activos del Delta, reflejo de la gran abundancia de esta especie previo al apresamiento de las aguas del río (Kowalewski, *et al.,* 1994). Sin embargo, en

las tanatocenosis ocupa el cuarto lugar de abundancia en la zona submareal, siendo más abundante en las estaciones cercanas a la boca del río y decrece al incrementarse la distancia de ésta. El cambio en abundancia, así como la distribución que presenta a lo largo del Delta del Colorado, coincide con la encontrada en los cheniers, lo cual se atribuye a que esta especie disminuye su abundancia a mayor distancia de la desembocadura del río en condiciones estuarinas. En esta forma, los datos publicados sobre los cheniers y los reportados en este trabajo de la zona submareal coinciden en que su distribución esta ligada a la influencia de agua dulce y la salinidad (Avila-Serrano, et al., 2006; Rodríguez, et al., 2001). Además, la ausencia de M. coloradoensis de aspecto reciente en las estaciones 7 y 16, por un lado sugieren que probablemente su escasa presencia en el transecto cuatro sea debido al transporte por corrientes más que al reclutamiento en los extremos del delta. La ausencia de ejemplares de aspecto antiguo predominantemente en el último transecto (estaciones 14, 15 y 16), también sugiere que esto se deba a que el retrabajamiento y transporte elimina los ejemplares más antiguos, y que los juveniles sean más rápidamente destruidos durante el transporte. Esto también explica la presencia solo de organismos de aspecto reciente en los límites del delta.

#### Análisis isotópico

En todas las conchas antiguas de *M. coloradoensis*, y en la mayoría de los casos de las conchas modernas analizadas, los valores  $\delta^{18}$ O fueron más positivos en el umbo que en el borde. Esto aparentemente indican que su reclutamiento ocurrió en la temporada de invierno, entre los meses de septiembre a febrero, durante los periodos cuando existía menor descarga de agua dulce proveniente del Río Colorado; mientras que los valores  $\delta^{18}$ O relativamente más negativos encontrados para la última línea de crecimiento indican que el crecimiento posterior ocurrió en las condiciones estuarinas que existían durante la primavera y principios de verano (entre los meses de mayo y julio), cuando el río fluía libremente alimentado por los deshielos cuenca arriba, e incrementaba la mezcla de agua dulce en el delta (Dettman et al., 2004). El sustento para la interpretación anterior se basa en que bajo las condiciones actuales sin flujo del Río Colorado hacia el Golfo de California, la composición isotópica en conchas vivas de Chione fructifraga varía entre 0.10 ‰ a -2.48‰ PDB (Rodríguez et al. 2001), variación atribuida a la influencia solo de la temperatura y evaporación. Por lo anterior, podemos asumir que valores más negativos de -2.5‰ es una señal de condiciones estuarinas.

Si bien los valores promedio  $\delta^{18}$ O entre umbo y borde de cada transecto en las conchas antiguas mostraron una tendencia a ser más positivos al sur del delta, lo cual cabe esperar, los datos individuales mostraron una gran

variabilidad, encontrándose incluso el valor más negativo en el transecto 3 (-3.90‰), lo cual se esperaría más cerca de la desembocadura del río. Por el contrario, las conchas recientes mostraron un patrón inverso, con valores más negativos al sur del delta, lo cual no es de esperar actualmente por la desaparición de las condiciones estuarinas. Sin embargo, estadísticamente, la prueba de Kruskall-Wallis no mostró diferencias significativas entre transectos, lo cual sugiere que pertenecen a una misma población. Similarmente, por la prueba de Mann-Whitney no se encontraron diferencias significativas entre las almejas recientes y antiguas. Lo anterior implica que las conchas muertas no corresponden a un patrón que cabría esperar en las almejas vivas, y por tanto, no son un reflejo fiel de las biocenosis de las que se originaron.

Por otro lado, en el caso de los valores  $\delta^{18}$ O muy negativos encontrados para la conchas de aspecto reciente de las primeras estaciones (-4.44‰ y - 3.42‰, estaciones 1 y 2 respectivamente), evidentemente no corresponden a las condiciones actuales del delta, ya que dichos valores solo cabría esperarlas en circunstancias tan recientes como las descargas controladas ocurridas en los años 1984-1985 y 1993-1994, debido a deshielos y lluvias extraordinarias en la cuenca del Colorado (Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California, 2006). Por tanto, estas conchas bien conservadas pueden ser producto de un artificio tafonómico más que una señal ecológica, en el que su buena conservación se deba a un rápido sepultamiento por lodo, y posterior exhumación.

La zona deltaica actualmente experimenta un proceso de erosión, retrabajamiento y transporte de sedimentos predominantemente hacia el sur (Carriquiry y Sánchez, 1999). Estos procesos afectan el transporte de conchas de moluscos, particularmente las de tamaño pequeño por ser más susceptibles al transporte hidrodinámico como partículas sedimentarias. El aporte de conchas juveniles de organismos de distintas generaciones ha ocasionado un promediado temporal, es decir, conchas de distintos años de reclutamiento se han estado mezclando por varios años, dando por resultado que las variables ambientales a evaluar del conjunto de organismos sean un promedio. Este proceso de mezcla, enterramiento, exhumación y transporte explica que no existan diferencias significativas en la composición isotópica de conchas de aspecto moderno y antiguo a lo largo del delta. Esto también implica que la gran mayoría de las conchas sean anteriores al apresamiento de las aguas del río, ya que tanto recientes como antiguas mayormente presentan valores que sugieren haber vivido en algún momento de su corta vida en condiciones estuarinas.

Por otro lado, el no haberse encontrado valvas apareadas o ejemplares vivos en todas las estaciones, la ausencia de conchas adultas, y la total ausencia de conchas antiguas y escasez de modernas en el último transecto, indican que debieron haber llegado a la zona submareal por transporte hidrodinámico (Avila-Serrano y Téllez-Duarte, 2000). Por tanto, no existen evidencias de que actualmente *M. coloradoensis* se este reproduciendo en la

zona intermareal, y todas las conchas juveniles han derivado de poblaciones que prosperaron en condiciones estuarinas.

## CONCLUSIONES:

- Al igual que las tanatocenosis supramareales, la abundancia de *M. coloradoensis* en el área submareal decrece con el aumento en la distancia de la desembocadura del Río Colorado, siendo estas de organismos juveniles principalmente. Este patrón se relaciona a la antigua extensión del estuario.
- Los valores promedio δ<sup>18</sup>O en la tanatocenosis de conchas de aspecto reciente y antiguo, no fueron significativamente diferentes. Por tanto, sin importar su aspecto paleoecológicamente representan en su mayoría las antiguas condiciones estuarinas, ya que actualmente M. coloradoenis se encuentra extinta en todo el sur del delta en la zona submareal.
- Aparentemente en M. coloradoensis las primeras etapas de desarrollo ocurren en condiciones de flujo de agua dulce bajo, pero su desarrollo posterior se incrementa en condiciones estuarinas. Esto sustenta que el colapso actual de sus poblaciones se puede atribuir a la alteración de su hábitat por el control del flujo del Río Colorado.
- La distribución de conchas juveniles de *M. coloradoensis* en la zona submareal en toda la extensión del antiguo estuario no muestra diferencias significativas en los valores  $\delta^{18}$ O, lo que implica que estas tanatocenosis se encuentran promediadas en el tiempo debido al transporte, retrabajamiento, y periodos de enterramiento y exhumación de las conchas, que por su tamaño pequeño son mas susceptibles al transporte. Por tanto, cualquier interpretación paleoecológica debe considerar este sesgo tafonómico.

Referencias:

Avila – Serrano, G. E., Flessa, K. W., Téllez – Duarte, M. A. y Cintra – Buenrostro, C. E. 2006. Distribución de la macrofauna intermareal del Delta del Rio Colorado, Norte del Golfo de California, México. 32(4): 649:661.

Avila – Serrano, G. E. y Téllez-Duarte, M. A. 2000. Procesos tafonómicos en tanatocenosis recientes de playa el pelicano, Baja California. Ciencias Marinas. 26(4): 677-694.

Carriquiry, J.D. y Sánchez, A. 1999. Sedimentation in the Colorado River Delta and upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. Marine Geology 158: 125-145.

Cintra – Buenrostro, C. E. y Flessa, K. W. 2004. Cavidades, mordiscos y peladas: herramientas para determinar la importancia trófica de una especie en desvanecimiento dentro del Delta del Río Colorado, México. Ciencia y Mar. 8 (24): 3-19 pp.

Cognetti, G., Sara, M. y Magazzu, G. 2001. Biología Marina. Primera edición. Barcelona España. 619 pp.

Dawson, T. E., Mambelli, S., Plamboeck, A. H., Templer, P. H. y Tu, K. P. 2002. Stable isotopes in plant ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 33: 507-559 pp

Dettman, D. L., Flessa, K. W., Roopnarine, P. D., Schone, B. R. y Goodwin, D. H. 2004. The use of oxygen isotope variation in shells of estuarine mollusks as a quantitative record of seasonal and annual Colorado River discharge. Geochimica et Cosmochimica Acta.68 (6): 1253–1263 pp.

Faure, G. 1986. Principles of isotope geology. John Wiley and sons, Inc. Segunda edicion. New York. 589 pp.

Fry, B. 2006. Stable isotope ecology. Springer. Primera edición. New York. 308 pp.

Gonfiantini R. y Araguas – Araguas, L. 1988. Los isótopos ambientales en el estudio de la intrusión marina. TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros Almuñécar (Granada, España).

Goodwin, D. H., Schone, B. R. y Dettman, B. R. 2003. Resolution and Fidelity of Oxygen Isotopes as Paleotemperature Proxies in Bivalve Mollusk Shells: Models and Observations. PALAIOS 18: 110–125 pp.

Goodwin, D. H., Flessa, K. W., Téllez - Duarte, M. A., Dettman, D. L., Schöne, B. R. y Avila – Serrano, G. E. 2004. Detecting time-averaging and spatial mixing using oxygen isotope variation: a case study. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 205: 1-21 pp.

Grossman, E.L. y Ku, T. L., 1986. Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: Temperature effects. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 59: 59 – 74 pp.

Grossman, E.L., 1984. Stable isotope fractionation in live benthic foraminifera from the Southern California Borderland. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 47: 301–327 pp.

Guerrero R. y Berlanga, M. 2000. Isótopos estables: fundamentos y aplicaciones. Actualidad SEM, Boletín informativo de la sociedad española de Microbiología. (30):17-23 pp.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. y Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp. <u>http://palaeo-electronica.org/2001\_1/past/issue1\_01.htm</u>

Luecke, D. F., Pitt, J., Congdon, C., Glenn, E., Valdes-Casillas, C. y Briggs, M. 1999. El Delta una vez más: Restaurando el hábitat ribereño y los humedales del Río Colorado. Enviromental defense. 110 pp. Consultado en línea en diciembre del 2010. http://www.edf.org/documents/1694\_Delta\_Spanish.pdf.

Kowalewski, M., Avila-Serrano, G.E., Flessa, K.W. y Goodfriend, G.A. 2000. Dead delta's former productivity: two trillion shells at the mouth of the Colorado River. *Geology*, 28:1059–1062 pp.

Kowalewski, M., Flessa, K.W. y Aggen, J.A. 1994. Taphofacies analysis of recent shelly cheniers (beach ridges) northeastern Baja California, Mexico. *Facies*, 31: 209–242.

Mejia-Chang, M. 2009. Los isotopos estables de oxigeno como indicadores del uso y el intercambio de agua en las plantas epifitas vasculares tropicales. Acta Biologica Panamensis. 1: 46-67 pp.

Millán – Núñez, R.; E. Santamaría del Ángel, R. Cajal – Medrano y O. A. Barocio León. 1999. El delta del Río Colorado: un ecosistema con alta productividad primaria. Ciencias Marinas 25 (4): 509 - 524 pp.

Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California, ANEXO II. Elemento generador de futuro: El agua en la región del Golfo de California. 2006. *Publicado en el Diario Oficial de la Federación.* Consultado en línea en diciembre del 2010.

http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/docume ntos\_golfo/13\_anexo2\_agua.pdf

Pérez – Crespo, V. A., Sánchez – Chillón, B., Arroyo – Cabrales, J., Alberdi, M. T., Polaco, Ó. J., Santos – Moreno, A., Benammi, M., Morales – Puente, P. y Cienfuegos – Alvarado, E. 2009. La dieta y el hábitat del mamut y los caballos del Pleistoceno tardío de El Cedral con base en isótopos estables ( $\delta^{13}$ C,  $\delta^{18}$ O). Rev. Mex. Cienc. Geol. 26 (2): 347-355 pp.

Rodríguez, C. A., Flessa, K. W., Téllez – Duarte, M. A., Dettman, D. L. y Avila – Serrano, G. A. 2001. Macrofaunal and isotopic estimates of the former extent of the Colorado River estuary, upper Gulf California, Mexico. Journal of arid environments 49: 183 – 193 pp.

Sanjurjo-Rivera, E. y Carrillo-Guerrero, Y. 2006. Beneficios económicos de los flujos de agua en el Delta del Río Colorado: consideraciones y recomendaciones iniciales. Gaceta ecológica. Instituto nacional de ecología. (80): 51-62 pp.

Santiago, L. S., Silvera, K., Andrade, J. L. y Dawson, T.E. 2005. El uso de isótopos estables en biología tropical. *INCI.* 30(9):.28-35 pp. ISSN 0378-1844.

Téllez – Duarte, M. A., Avila – Serrano, G. E. y Flessa, K. W. 2008. Enviromental significance of oxygen isotopes in the Bivalve *Protothaca grata* from Archaeological site in Northeast Baja California. Pacific Coast Archaeological Society Quartely. 39 (4): 49-56 pp.

Thompson, R. W. 1968. Tidal flat sedimentation on the Colorado River Delta, Northwestern Gulf of Califoria: Geological Society of America Memoir 107: 1-133 pp.

Urey, H.C. 1948. Oxigen isotopes in nature and the laboratory. American association for the advancement of science. 108(2810): 489-496 pp.

Wefer, G. y Berger, W.H. 1991. Isotope paleontology: growth and composition of extant calcareous species. Mar. Geol. 100: 207-248 pp.