

# EVALUACIÓN DE LAS CAUSAS DE UN EVENTO DE MORTALIDAD MASIVA DE MOLUSCOS BIVALVOS EN LA BAHÍA DE AMUAY, VENEZUELA.

Orlando Pomares Ferraz \*, Iván Leal, José Rengel, Héctor Morán y Jorge Jurado

Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Centro de Investigaciones Tecnológicas, Industriales y Pesqueras (CITIP), Prolongación Av. Táchira, Complejo Académico El Sabino. Punto Fijo, Estado Falcón, Venezuela.

(\*) Autor correspondiente: Email: [opomares@gmail.com](mailto:opomares@gmail.com).

## RESUMEN

Se emprendió un estudio con el objetivo de evaluar las posibles causas de un evento de mortalidad masiva de moluscos bivalvos comerciales al norte de la Bahía de Amuay (Venezuela). Se realizaron muestreos en siete estratos al norte de la bahía (junio-julio, 2004) y dos fuera y al norte de esta (control) en las cuales se tomaron muestras de moluscos (varias especies) y sedimentos (empleando nucleadores de PVC de 4") para realizársele análisis químicos: determinación de metales pesados: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y V (por espectrofotometría de absorción atómica), aceites y grasas e hidrocarburos totales residuales por métodos gravimétricos (SW846 970/971 Y SW845-9070/418, así como de hidrocarburos alifáticos y policíclicos aromáticos totales en tejidos de moluscos, según protocolos del Internacional Mussel Watch Program (1980). La información fue complementada con datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento) y parámetros físico-químicos generales de calidad del agua. De los resultados obtenidos y de su análisis después de descartar algunas hipótesis alternativas (Ej.: eventos de "mareas rojas") se concluye que, la mortalidad de los moluscos se debió a la deposición de sedimentos contaminados y previamente suspendidos provenientes del sur de la bahía (con patrones históricos de contaminación), sobre los bancos de moluscos al norte (con patrones históricos de poca o nula contaminación). Se concluyó además, que la mortalidad operó por sofocamiento e impregnación de los organismos (anoxia) con sedimentos finos contaminados con hidrocarburos y grasas y aceites, y probablemente ricos en materia orgánica y sulfuros, y pobres en oxígeno.

Palabras claves: mortalidad masiva; metales pesados; hidrocarburos; anoxia; ASW, Venezuela.

## ABSTRACT

A study was undertaken with the aim of assessing the possible causes of a mass mortality event of bivalve commercial mollusks to the north of the Amuay Bay (Venezuela). Samplings were carried into seven strata north of the Bay (June-July 2004) and two outside and north of this (control) in which samples of shellfish (various species) and sediments (using sediments PVC core of 4") for chemical analysis: determination of heavy metals: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and V (by atomic absorption spectrophotometry), oils and fats and total residual hydrocarbons for gravimetric methods (SW846 970/971 AND SW845-9070/418), and aliphatic hydrocarbons total and polycyclic aromatic total were determined in mollusks soft tissues following the protocols settled down in International Mussel Watch Program (1980). The information was supplemented with meteorological data (wind speed and direction) and physicochemical parameters of general water quality. According to the results, and analysis after dropping certain alternative hypothesis (ex.: "red tides" events) concludes that the mortality of shellfish was due to the deposition of suspended contaminated sediments from south of the bay (with historical patterns of contamination), on the banks of shellfish in the north (with historical patterns of little or no pollution). Was further concluded that the mortality operated by clogging and impregnation of the organisms (anoxia) with fine polluted sediments with hydrocarbons, fats and oils, and probably rich in organic matter and sulfide, and poor in oxygen.

Key words: massive mortality; bivalve mollusks; heavy metals; hydrocarbons; anoxia; ASW, Venezuela.

Los eventos de mortalidad masiva de moluscos bivalvos en bahías marinas sometidas a múltiples perturbaciones, suelen estar asociados a una de las siguientes posibles causas (o a una combinación de estas): afloramientos algales masivos tóxicos (AOAC. 1984; Borsuk, *et al.* 2003); asfixia por desoxigenación prolongada de los estratos inferiores de la columna de agua debido a cambios

en los patrones de circulación de las masas de agua (Lechuga-Devéze *et al.*, 2000; Paerl, 2004), vertidos de contaminantes en concentraciones suficientes para producir mortalidad por toxicidad aguda (Fossato, 1975; Fossato y Siviero, 1974; IMCO, 1977; Neff, 1987; Persaud *et al.*, 1993; Lyons *et al.*, 2002), y asfixia y sofocación por impregnación y colmatación de las branquias de

los bivalvos por sedimentación catastrófica, ocasionada por una alteración en los patrones naturales de sedimentación (Norkko *et al.* 1999, Norkko *et al.* 2002, Donahue and Irvine, 2003, Waters, 1995, Zweig and Rabeni, 2001; Berry *et al.*, 2003).

La Bahía de Amuay probablemente sea el ecosistema costero más conocido de la Península de Paraguaná (Venezuela) y la razón de ello obedece al hecho de ser un cuerpo de agua semicerrado en cuyas costas se ubica la refinería de Amuay de PDVSA, perteneciente al Complejo Refinador de Paraguaná (CRP), con las consecuentes implicaciones en términos de impactos ambientales potenciales. Esto ha llevado al estado venezolano (PDVSA, MINAMB, universidades) a emprender históricamente diversos estudios que permitan además de cumplir con las reglamentaciones ambientales de turno, hacer un seguimiento a la evolución de las condiciones ambientales de la bahía, sin embargo, hasta el presente no se han documentado de manera formal eventos de mortalidad masiva de bivalvos, ni su posible origen, aún cuando se presume que han ocurrido ocasionalmente en el pasado, de acuerdo a las versiones de los pescadores. Adicionalmente, el hecho de que en la bahía ha existido tradicionalmente una explotación artesanal de peces, crustáceos y moluscos, que ha venido decayendo presumiblemente por efecto de las actividades asociadas a la refinación de crudos, ha contribuido a aumentar el interés por diagnosticar la situación ambiental de la Bahía. En tal sentido, el presente estudio surge como consecuencia de una solicitud por parte de un grupo de colectores de moluscos de la Bahía de Amuay, a la empresa PDVSA, de investigar un evento de mortalidad masiva de dichos moluscos acaecido presuntamente en mayo de 2004, en una franja de la costa norte de la bahía estimada en más de un kilómetro de largo bordeando la costa, de acuerdo a lo denunciado por los colectores artesanales usuarios de este recurso. Una visita preliminar a la zona el 12 de junio en la cual se realizaron inmersiones en apnea permitió constatar la existencia del evento de mortalidad, con base en los siguientes indicadores: a) presencia de gran cantidad de organismos muertos recientemente, evidenciado esto último por cuanto muchos de estos ejemplares mantenían aún las valvas cerradas y una vez que estas eran abiertas sólo quedaban restos de materia orgánica del tejido en descomposición, b) no presentaban además evidencias de depredación (perforaciones de la concha). Este evento de mortalidad fue calificado como de mortalidad

aguda en virtud del reducido espacio de tiempo en que el mismo ocurrió. Toda vez, que en el lóbulo sur de la bahía se ubica una refinería de petróleo, existía la presunción de que un evento contaminante asociado a las actividades de refinación en el degradado sur de la bahía estaría a su vez afectando la zona norte, contando esta con patrones históricos de poca contaminación. Por lo tanto, el objetivo básico de esta investigación consistió en identificar las probables causas del evento de mortalidad y como estas se originaron.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estaciones de muestreo

En la Fig. 1 se muestra la bahía de Amuay y encerrados en elipses y círculos el área aproximada de las estaciones de muestreo abarcada por estratos, así como la ubicación de la refinería de Amuay. Aparte del muestreo ya citado del 12 / 06 / 2004, se realizaron muestreos los días 24 y 30 de junio, los días 08, 10, 22 y 23 de julio de 2004. El 07 de agosto de ese año, se colectaron muestras de las playas de Villamarina y El Pico fuera de la Bahía de Amuay y al norte de esta, a los fines de compararlas como estaciones control. En cada fecha se fijaron dos estaciones (E1 y E2) de muestreo y tres (E1, E2 y E3) el 30 de junio.

### Toma de muestras

Para la obtención de las muestras de moluscos para análisis químicos se procedió de la siguiente manera: Se colectaron por lo menos treinta (30) ejemplares por estrato de una misma especie, lo cual sólo fue posible para el caso de las especie *Chione cancellata* (Linnaeus, 1967) que es notoriamente más abundante que el resto de las especies en el área objeto de estudio, y que es la especie más importante en cuanto a sus volúmenes de extracción (mayor al 80%). Adicionalmente, se colectaron suficientes ejemplares de la especie *Chione granulata*, dominante en los fondos con praderas de *Thalassia testudinum* y restringida a estos. Para el resto de las especies poco frecuentes en los muestreos e insuficientes en número por unidad de muestreo como para ser consideradas válidas estadísticamente, se practicaron los mismos análisis con propósitos comparativos. En el caso de los sedimentos, se tomaron tres muestras con un nucleador de PVC de 4" por cada estación para garantizar la obtención de réplicas. Durante los muestreos, se hicieron mediciones *in situ* de algunos parámetros

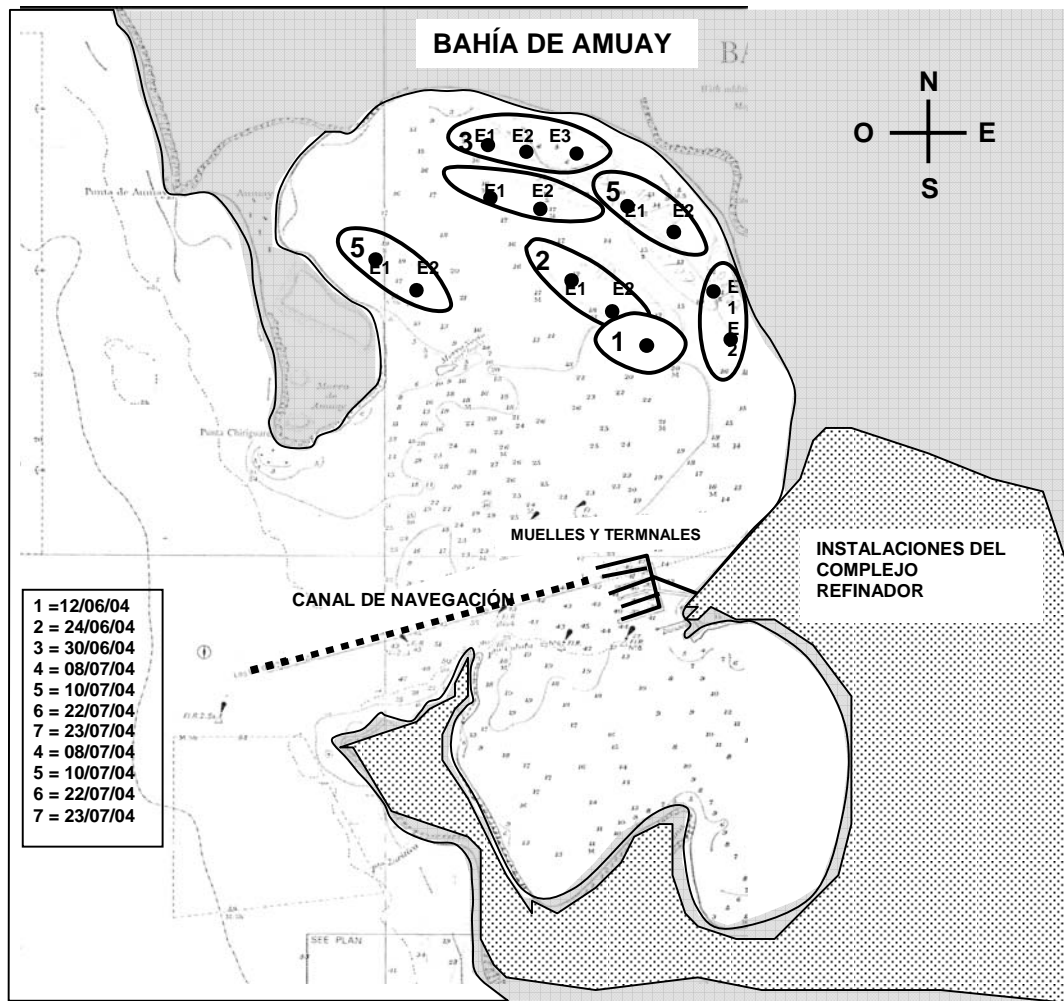


Fig. 1. Área de estudio y ubicación de los estratos de muestreo (las coordenadas representan los extremos que delimitan cada estrato)

fisico-químicos indicadores de calidad de agua: temperatura, concentración y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, conductividad, tanto al nivel de la superficie como del fondo de la columna de agua. Para ello se utilizó una sonda multi-paramétrica fisico-química (HYDROLAB) previamente calibrada. Adicionalmente, se tomaron muestras cualitativas y cuantitativas de plancton a distintas profundidades y distancias de la costa, con el fin de barrer la mayor parte del área afectada y evaluar la posible presencia de organismos indicadores de eventos de mareas rojas. Debido a limitaciones logísticas, tanto la toma de parámetros fisico-químicos in situ, como de muestras de plancton no fue posible realizarla el 12/06/04.

**Análisis**

Los análisis químicos consistieron en la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica, aceites y grasas (A y G) e hidrocarburos residuales totales (HRT) por métodos gravimétricos (SW846 970/971 Y SW845-9070/418.1 respectivamente). (APHA, 1998) Estos análisis se practicaron tanto a sedimentos como a moluscos bivalvos. Se determinaron hidrocarburos policíclicos aromáticos totales (HPAT) e hidrocarburos alifáticos totales (HAT) en tejidos de moluscos. El análisis constó de una extracción en soxhlet, seguida de una etapa de purificación con alúmina y posterior determinación por HPLC y detección fluorimétrica con longitud de onda

programada. En el caso de los moluscos se siguieron los protocolos establecidos en el Internacional Mussel Watch Program Workshop (1980). La información anterior fue complementada con datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento de los meses de mayo, junio y julio) en la estación más cercana al área de estudio. A fin de evaluar la posible incidencia de un evento de “mareas rojas” o de afloramiento masivo de Algas (AMA), se evaluó la composición taxonómica del plancton (Utermöhl) en la búsqueda de posibles especies nocivas y se realizaron pruebas de biotoxicidad (bioensayos) en ratones a partir de muestras de moluscos (*C. cancellata*) empleando metodología estándar (AOAC, 1984). Debido a limitaciones logísticas no se pudieron hacer análisis de metales pesados, HPAT y HAT en tejido de moluscos, ni de biotoxicidad para las muestras del 12/06/04.

## RESULTADOS

### a) Observaciones submarinas

Durante las inmersiones del muestreo preliminar del 12/06/04, se observó una capa de sedimentos de color gris oscuro, de poca densidad, por cuanto era fácilmente desplazada del sustrato con pequeñas corrientes creadas manualmente. Cuando estos sedimentos eran expuestos al aire brillaban denotando un importante contenido de A y G. Además poseían un fuerte olor azufrado indicando a su vez la presencia de sulfuros ( $H_2S$ ) y la condición reductora de los sedimentos. Si bien, no se determinó la textura de los sedimentos pudimos apreciar cualitativamente que esta capa de sedimentos era muy fina en comparación con los sedimentos de las zonas donde esta no estaba presente y fue señalada por los pescadores como atípica de la zona norte de la bahía, por lo que le atribuyeron la responsabilidad de la mortalidad de los moluscos. Es de hacer notar que la misma no fue vuelta a ver en los muestreos sucesivos, por lo que se infiere que fue desplazada del norte de la bahía por efecto de las corrientes marinas. Su detección la consideramos fundamental en la interpretación de lo acontecido como se discutirá más adelante.

### b) Variables meteorológicas

En la Fig. 2, se muestran la velocidad y dirección de los vientos en días previos a la realización del primer muestreo y puede percibirse claramente como hasta el 19 de mayo los vientos soplaban predominantemente desde el sureste y este, con velocidades de alrededor de 10 m/s. No obstante,

del 20 al 24 de mayo, se suscitaron períodos diarios de “calma”, alternados con vientos débiles (alrededor de 3 m/s) que cambiaron de dirección soplando desde el oeste. Después de esos días y durante el tiempo de realización de los muestreos (junio – julio), se restituyeron las condiciones prevalecientes al 20 de mayo. El patrón de inversión de la dirección del viento y debilitamiento de su fuerza, ha sido bien documentado con anterioridad en el Golfo de Venezuela (Ginés, 1982; FLASA, 1984; Rodríguez C. y Valera R., 1987), representando una situación poco frecuente en el año (generalmente inferior al 10%), pero que tiene importantes consecuencias en cuanto a la dinámica de las corrientes de todo el Golfo de Venezuela. Igualmente ha sido reportado para la Bahía de Amuay (NIVA, 1998; García, 2000), con sus particulares implicaciones. La importancia de este punto en cuanto a la construcción de una hipótesis que explique el evento de mortalidad de moluscos será desarrollada más adelante.

### c) Variables fisico-químicas de la calidad del agua

En cuanto a las variables fisico-químicas monitoreadas podemos decir que al comparar los valores entre áreas de la bahía y estratos de profundidad y para la superficie y el fondo (Tabla 1), se observa gran similitud en todos los parámetros, reflejando una columna de agua bien mezclada y con parámetros críticos como el oxígeno, manteniendo concentraciones adecuadas para la vida de los moluscos y demás especies que habitan este hábitat, al menos en lo que corresponde al período de tiempo posterior al muestreo preliminar (24/06/04 – 23/07/04). Estas condiciones son similares a las encontradas en estudios anteriores (Ej.: NIVA, 1998; García, 2000) y son típicas de bahías someras abiertas sometidas a la acción del viento.

De haberse contado con información de las variables fisico-químicas del agua durante los días de calma y cambio de dirección del viento, probablemente hubiésemos detectado un comportamiento diferente de las masas de agua, específicamente: algún nivel de estratificación y disminución importante del nivel de oxígeno con la profundidad, sobre todo en la interfase agua-sedimento.

### d) Metales pesados en sedimentos

Es importante destacar que en Venezuela no existen regulaciones para normar la presencia de

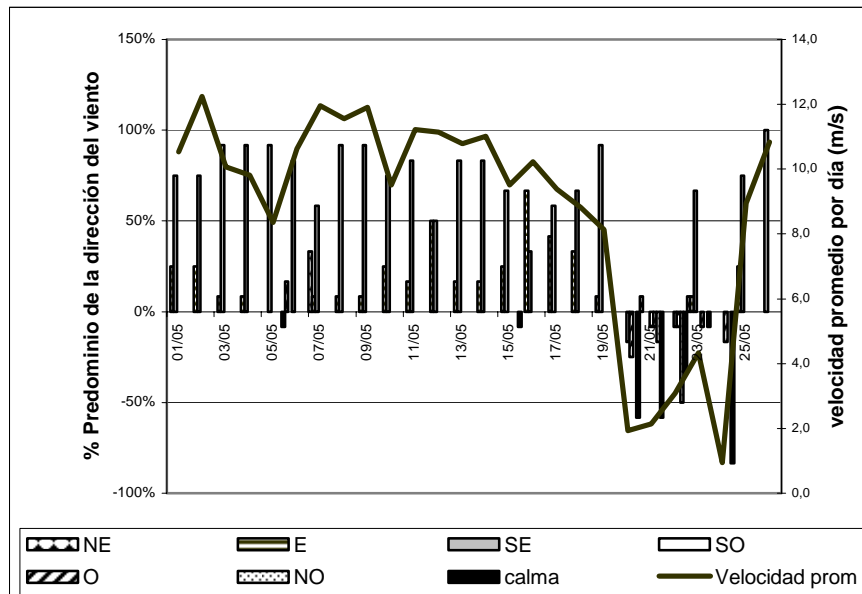


Fig. 2. Representación gráfica del cambio en los patrones de dirección y velocidad del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ) previos a los muestreos realizados (\*).

Tabla 1. Variables fisico-químicas de calidad del agua determinadas durante el estudio. S: Superficie; F: Fondo

| Variable                                  | Profundidad Promedio 1.5 m (fondo <i>Thalasia</i> ) |       | Profundidad Promedio 3.5 m (fondo fangoso) |       | Promedio al noroeste de la bahía |       | Promedio al noreste de la bahía |      |
|---|---|-------|--|-------|----------------------------------|-------|---------------------------------|------|
|   | S   | F     | S  | F     | S                                | F     | S                               | F    |
| Temperatura (°C)                          | 27.6  | 27.42 | 27.0                                       | 26.82 | 27.7                             | 27.4  | 30.1                            | 30.0 |
| Conductividad ( $\mu mho$ )               | 51.9  | 51.8  | 51.9                                       | 51.8  | 51.2                             | 51.2  | 52.4                            | 53   |
| Concentración $O_2$ ( $mg \cdot L^{-1}$ ) | 8.0   | 7.75  | 8.1  | 7.12  | 8.0                              | 7.1   | 8.62                            | 7.2  |
| Salinidad (ups)                           | 34.2  | 34.2  | 34.2                                       | 34.2  | 34.3                             | 34.3  | 34.8                            | 34.8 |
| Saturación $O_2$ (%)                      | 124.0   | 120.5 | 124.0                                      | 119.5 | 118.2                            | 116.0 | 121.9                           | 119  |

contaminantes en sedimentos marinos, por lo cual estableceremos comparaciones con algunos referentes internacionales. En este sentido, Las concentraciones de los metales pesados en sedimentos que se muestran en la [Tabla 2](#), pueden considerarse moderadas para todos los metales determinados, si las comparamos con los valores referenciales de la literatura (Persaud *et al.*, 1993; TESAM, 1994; EPA, 1997, EPA, 1999, Buchman, 1999). Las excepciones las constituyeron el Cd y el V en el muestreo del 12/06/04, alcanzando el último los 98 ppm, superando el nivel umbral aparente estipulado por la NOAA (Buchman, 1999), pero en ningún caso, pueden considerarse concentraciones que provoquen mortalidad por

toxicidad aguda. Toda vez, que el V es un indicador de presencia de hidrocarburos, podemos asumir que su aumento para la fecha obedece a la presencia de los sedimentos descritos que tendrían presumiblemente un origen al sur de la bahía.

Antecedentes de estos resultados pueden encontrarse en el estudio de CDM (2002) en la bahía: En la bahía norte, el V en los sedimentos no fue detectado (concentraciones inferiores al rango de detección del método: <5 ppm) en las estaciones 1-4 en septiembre 2001, pero 5 meses más tarde (febrero 2002) si lo fue en todas las estaciones, en un rango de concentraciones que iba de 9.5 a 51.5 ppm.

Tabla 2. Concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) de metales pesados en muestras de sedimentos (valores promedio y desviaciones estándar)

| Estación /<br>muestreo            | Cd         | Cr          | Cu         | Ni         | Pb         | V           |
|-----------------------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| E1 12/06/04                       | 5,5 ± 0,8  | 17,8 ± 1,2  | 7,2 ± 1,5  | 14,1 ± 1,9 | 11,1 ± 2   | 98,0 ± 6,0  |
| E1 08/07/04                       | 0,53 ± 0,1 | 9,52 ± 0,7  | 5,11 ± 0,4 | 10,2 ± 0,8 | 5,39 ± 0,5 | 22,47 ± 1,3 |
| E2 08/07/04                       | 0,54 ± 0,1 | 7,88 ± 0,7  | 5,93 ± 0,6 | 14,2 ± 0,8 | 5,18 ± 0,5 | 26,03 ± 1,4 |
| E1 10/07/04                       | 0,64 ± 0,1 | 11,32 ± 0,7 | 3,66 ± 0,5 | 7,6 ± 0,8  | 5,56 ± 0,4 | 30,51 ± 1,2 |
| E2 10/07/04                       | 0,71 ± 0,1 | 12,56 ± 0,7 | 6,59 ± 0,4 | 1,5 ± 0,6  | 6,20 ± 0,4 | 33,76 ± 1,5 |
| E1 30/06/04*                      | 0,27 ± 0,1 | 2,52 ± 0,7  | 1,63 ± 0,4 | 4,7 ± 0,6  | 2,37 ± 0,5 | 3,78 ± 1,1  |
| E2 30/06/04                       | 0,16 ± 0,1 | 2,90 ± 0,7  | 2,01 ± 0,5 | 7,0 ± 0,7  | 1,93 ± 0,5 | 9,88 ± 1,5  |
| Promedio<br>(excluyendo 12/06/04) | 0,48       | 7,78        | 4,16       | 7,53       | 4,44       | 21,07       |

\*fondos con presencia de praderas de *Thalassia testudinum*

Al sur de la bahía en cambio, el V siempre estuvo por encima de los 94 ppm. Lo anterior es indicativo de lo dinámicos que pueden resultar los procesos de movilización de los metales pesados en los sedimentos y de cómo la estacionalidad puede ser determinante en la concentración de los mismos. En ese mismo estudio, al emplearse el N, el V, y los A y G como indicadores de la calidad de los sedimentos, en general, la misma en la bahía norte fue significativamente mejor que en la sur, si bien, valores similares o mayores de V al aquí encontrado, se han reportado para la zona norte en trabajos anteriores (AWARE, 1982; LAGOVEN, 1988; SERVIAMBCA, 1993). Por otra parte, la revisión de los valores históricos refleja que, no obstante, los valores de las concentraciones máximas han venido disminuyendo, su rango de dispersión ha aumentado cubriendo mayores porciones de la bahía sur, sobre todo para el caso del V. Es así que, las líneas de contorno elaboradas con base en los datos históricos indican un avance importante del “frente de contaminación” desde el sur hacia el centro de la bahía (CDM, 2002). Esto puede tener importantes implicaciones para la calidad de los sedimentos de la bahía norte, ante eventuales cambios en las condiciones oceanográficas que permitan la resuspensión de estos en la zona sur y posterior traslado y deposición en la bahía norte. Un elemento que refuerza la presunción de que los sedimentos encontrados el 12/06/04 provienen de zonas más impactadas al sur de la bahía, proviene de la aplicación un ANOVA de un factor en el cual se encontró que existían diferencias significativas en la concentración promedio de V por estación. Resultando en las pruebas posteriores de T-student y Duncan que la diferencia se debía exclusivamente al muestreo del 12/06/04 y el

resto de los muestreos no mostraban diferencias significativas entre sí ( $p > 0.05$ ). Lo mismos resultados se encontraron para Cd, Cr y Pb. De hecho, los valores tope encontrados para todos los metales corresponden a esa fecha de muestreo y las concentraciones promedio de las estaciones del 12/06/04 en comparación con el promedio del resto de estaciones y fechas de muestreo, fueron superiores 11.5, 2.9, 1.7, 2.5 y 4.8 veces para Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y V, respectivamente (tabla 2). Esto, si bien, el Cr, Ni, y Pb, no alcanzaron concentraciones que puedan considerarse particularmente elevadas. Una hipótesis similar a esta de transporte ocasional de sedimentos contaminados por suspensión, se planteó para las costas de Cardón (ubicadas al sur de la bahía de Amuay y a su vez bajo la influencia de la refinería de Cardón), empleando como indicadores la variación estacional del V, los A y G y la transparencia del agua (Pérez de Acosta, 1999). Un comportamiento análogo estaría ocurriendo en Amuay. El patrón de las corrientes que se ha descrito para la Bahía de Amuay (NIVA, 1998; García, 2000) sugiere un comportamiento dinámico de dos fases: uno originado cuando los vientos soplan con fuerza viniendo preferentemente del este-noreste, el cual es dominante en el año (más del 90% del año), y otro, ocurriendo esporádicamente cuando las corrientes son gobernadas por vientos débiles provenientes del oeste. En esta última circunstancia, los modelos de circulación elaborados en estos trabajos, sugieren que “las corrientes salen de la bahía a través del canal de navegación, viniendo por el norte de un giro horario de masas de agua que penetran al sector norte de la bahía y por el sur de un giro antihorario que penetra al sector sur por la costa de Punta Adaro” (García, 2000). Estos mismos autores califican al

canal de navegación como una trampa de contaminantes, que lo convierte en un potencial exportador de sedimentos contaminados (ricos en materia orgánica, A y G, HRT, V) a otras zonas de la bahía (Ej: norte) cuando se suscitan las condiciones anteriormente descritas.

### e) Aceites y Grasas (A y G) e Hidrocarburos Residuales Totales (HRT) en los sedimentos

Las A y G y los HRT no son utilizados comúnmente como referentes de toxicidad aguda, pero pueden resultar buenos indicadores de contaminación por hidrocarburos. De manera aún más clara que para el caso del V, en la Tabla 3, se verifica el patrón anterior en el cual las concentraciones de las muestras del 12/06/04 son muy superiores y diferentes estadísticamente al resto (ANOVA,  $P < 0.05$ ) a las de los muestreos restantes.

Tabla 3. Concentración (mg/kg) de aceites y grasas (A y G) e Hidrocarburos residuales totales (HRT) en muestras de sedimentos

| Estación – muestreo                             | A y G      | HRT        |
|---|------------|------------|
| E1 12/06/04                                     | 956 ± 11   | 649 ± 10   |
| E2 12/06/04                                     | 895 ± 10   | 787 ± 8    |
| E2 12/06/04 **                                  | 1,704.8    | 997.9      |
| Promedio 12/06/04                               | 926 ± 43,1 | 718 ± 97,6 |
| E1 30/06/04*                                    | 155,7 ± 24 | 3,5 ± 3    |
| E2 30/06/04                                     | 83,2 ± 19  | 11 ± 8     |
| Promedio 30/06/04                               | 120 ± 51,3 | 7 ± 5,3    |
| E1 08/07/04                                     | 38 ± 10    | 5 ± 5      |
| E2 08/07/04                                     | 25,6 ± 16  | 6,1 ± 6    |
| Promedio 08/07/04                               | 32 ± 8,8   | 6 ± 0,8    |
| E1 10/07/04                                     | 23,4 ± 14  | 4 ± 4      |
| E2 10/07/04                                     | 50,73 ± 17 | < 0,2      |
| Promedio 10/07/04                               | 37 ± 19,3  | 4 ± 2,8    |
| Promedio todas las estaciones, excepto 12/06/04 | 63 ± 50,5  | 5 ± 3,6    |

\* Fondos con cobertura de *Thalassia testudinum*

\*\* Muestra analizada por un laboratorio independiente (SERVIANCA).

Es significativo el hecho de que exista tanta diferencia en la concentración de los HRT (de dos órdenes de magnitud), pues son mejores indicadores de contaminación por hidrocarburos que las grasas y aceites. De hecho, aún los valores de aceites y grasas están muy por debajo de los máximos que se han reportado para la Bahía norte

(CDM, 2002), y ciertamente están lejos de alcanzar, por ejemplo, los 1500 ppm permitidos como nivel tope por el Ministerio de Ontario (Persaud *et al.*, 1993).

### f) Metales en los tejidos de los moluscos

No se dispuso de muestras representativas para hacer las determinaciones de metales pesados para el muestreo preliminar del 12/06/04, que pudiesen ser comparadas con el resto de los muestreos de manera análoga a como se hizo con los sedimentos, por lo que aquí nos limitaremos al resto de los muestreos. En la tabla 4 se muestran estos resultados. Lo primero que podemos apreciar, es que en general, las concentraciones promedio para todos los metales (a excepción del Ni) en *C. cancellata* (única especie con muestras representativas) son moderadas y se encuentran dentro de los límites señalados por el Internacional Mussel Watch Program (1980). La interpretación de la concentración de metales pesados en moluscos es compleja, debido a que los mecanismos para la bioacumulación de los mismos también lo son.

El tiempo de exposición al contaminante y la fisiología y hábitos alimentarios de la especie, generan gran variabilidad en los resultados. Por ejemplo, Las concentraciones de Cd, Cr y V en *C. cancellata*, arrojan mayores valores en zonas poco contaminadas (blancos) de El Pico y Villamarina (Tabla 4). Resulta curioso que en estos casos la concentración de V, que es un característico indicador de presencia de hidrocarburos resultase también mayor.

Adicionalmente, nuestros resultados son similares a los reportados en moluscos del parque nacional Morrocoy y en Barlovento (en algunas estaciones), donde no cabría esperar que existan grandes concentraciones de hidrocarburos, más allá de las aportadas por las actividades de las marinas deportivas (Leal, 1992). Estos resultados no son del todo inesperados, ya que, las concentraciones de metales pesados no son particularmente altas en los sedimentos de la zona norte de la bahía y a su vez algunos de estos son poco bioacumulados por los moluscos. Adicionalmente, el fenómeno de variación estacional en la concentración de metales en los sedimentos y su transporte a sitios distantes de su fuente de origen, ya comentado, puede hacerlos disponibles para su bioacumulación parcial por moluscos que habiten igualmente lejos de los focos de contaminación.

Tabla 4. Concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) de metales pesados en muestras de tejido de moluscos. No se incluyó el muestreo preliminar del 12/06/04

| Especie (Nº ejemplares analizados)                | Muestreo | Cd     | Cr     | Cu      | Ni     | Pb     | V      |
|---|----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| <i>C. cancellata</i> (40)                         | 24/06/04 | 0,15 ± | 0,16 ± | 2,45±   | 5,14 ± | 1,57 ± | < 0,7  |
|   | E1       | 0,05   | 0,05   | 0,10    | 0,20   | 0,15   |        |
| <i>C. cancellata</i> (40)                         | 08/07/04 | 0,27 ± | 0,16 ± | 2,96 ±  | 4,16 ± | 2,53 ± | < 0,7  |
|   | E1       | 0,08   | 0,05   | 0,15    | 0,15   | 0,16   |        |
| <i>C. cancellata</i> (30)                         | 08/07/04 | 0,24 ± | 0,16 ± | 0,95 ±  | 3,63 ± | 1,38 ± | < 0,7  |
|   | E2       | 0,08   | 0,09   | 0,10    | 0,20   | 0,15   |        |
| <i>C. cancellata</i> (50)                         | 10/07/04 | 0,13 ± | 0,16 ± | 0,71±   | 6,16 ± | 1,38 ± | < 0,7  |
|   | E1       | 0,05   | 0,07   | 0,10    | 0,25   | 0,10   |        |
| <i>C. cancellata</i> (30)                         | 10/07/04 | 0,17 ± | 1,82 ± | 0,55 ±  | 1,50 ± | 1,28 ± | < 0,7  |
|   | E2       | 0,08   | 0,05   | 0,15    | 0,30   | 0,20   |        |
| <i>C. cancellata</i> (30)                         | 10/07/04 | 0,30 ± | 2,92 ± | 34,43 ± | 29,97± | 1,86 ± | < 0,7  |
|   | E3       | 0,07   | 0,05   | 0,1     | 0,80   | 0,10   |        |
| Promedio  | Todos    | 0,21   | 0,89   | 7,27    | 8,87   | 1,72   | < 0,7  |
| <i>C. cancellata</i>                              |          |        |        |         |        |        |        |
| <i>C. cancellata</i> . (40) (blanco) El Pico      | 07/08/04 | 0,75 ± | 8,2±   |         |        |        | 10,5 ± |
|   |          | 0,05   | 0,08   |         |        |        | 0,6    |
| <i>C. cancellata</i> . (40) (blanco). Villamarina | 07/08/04 | 0,89±  | 16,3±  |         |        |        | 13,1 ± |
|   |          | 0,04   | 3,3    |         |        |        | 1'2    |
| <i>T. isocardia</i> (5)                           | 24/06/04 | 0,11 ± | 0,15 ± | 1,58 ±  | 5,63 ± | 1,67 ± | < 0,7  |
|   | E1       | 0,05   | 0,04   | 0,10    | 0,20   | 0,1    |        |
| <i>A. rigida</i> (8)                              | 24/06/04 | 0,12 ± | 0,16 ± | 0,40 ±  | 4,16 ± | 1,19 ± | < 0,7  |
|   | E1       | 0,05   | 0,04   | 0,10    | 0,70   | 0,10   |        |
| <i>A. rigida</i> (5)                              | 24/06/04 | 1,33 ± | 2,34 ± | 0,47 ±  | 1,56 ± | 2,15 ± | < 0,7  |
|   | E2       | 0,09   | 0,03   | 0,15    | 0,50   | 0,20   |        |
| <i>A. notabilis</i> (5)                           | 24/06/04 | 0,94 ± | 0,16 ± | 2,18 ±  | 1,40 ± | 1,38 ± | < 0,7  |
|   | E2       | 0,09   | 0,04   | 0,18    | 0,80   | 0,10   |        |

**g) Aceites y Aceites (A y G) e Hidrocarburos Residuales Totales (HRT) en tejidos de moluscos**

En la **Tabla 5** se muestran los valores de A y G y de HRT en los tejidos de los moluscos. La interpretación de ambas variables es compleja, pues los moluscos también bioacumulan hidrocarburos de origen biogénico y buena parte de las grasas y aceites forman parte de la reserva lipídica de los organismos (Neff, 1987). De manera que, procesos como la maduración de gónadas y el desove afectan los procesos de bioacumulación y depuración. Lo primero que llama la atención es que la concentración de las A y G y de los HRT el 12/06/04 se encuentran dentro del rango del resto de los muestreos dentro de la Bahía (aún cuando hay que tener presente que las muestras no son representativas (n < 30 ejemplares) y no se dispuso de ejemplares de *C. cancellata* para propósitos comparativos), algo que no cabría esperar si

tomamos en cuenta el comportamiento anómalo de los sedimentos para esa fecha.

Es difícil saber la respuesta a esto, pues varios factores oscurecen la interpretación: hidrocarburos de origen biogénico (Ej. del fitoplancton) pueden estar siendo bioacu-mulados continuamente, lentitud en la metabolización de algunos hidrocarburos de alto peso molecular (Ej.: HPAT) pueden retrasar su salida del organismo y servir como trazadores, y otros hidrocarburos aportados de fuentes externas (Ej.: quema incompleta de combustibles fósiles trasladando partículas hasta la bahía). Sin embargo, una contrastación entre muestras problema y controles o blancos puede arrojar luz al respecto. (RCAC, 1998).

Al comparar el promedio de la concentración de A y G y los HPAT en muestras de la bahía con el promedio de los blancos de de El Pico - Villamarina (Tabla 5), encontramos que los HPAT promedio de los moluscos de Amuay son casi tres (2.93) veces

Tabla 5. Concentración (mg/kg) de aceites y grasas (A y G) e Hidrocarburos residuales totales (TRPH) en muestras de tejido de moluscos

| Especie (Nº ejemplares)                                     | Muestreo            | A y G<br>mg/kg | HRT mg/kg   |
|---|---------------------|----------------|-------------|
| <i>A. notabilis</i> ( 5 )                                   | 12/06/04            | 917,2 ± 21     | 593,6 ± 15  |
| <i>P. ziczac</i> ( 2 )                                      | 12/06/04            | 340,0 ± 15     | 50,0 ± 10   |
| <i>A. rígida</i> ( 8 )                                      | 12/06/04            | 400,0 ± 20     | 105,0 ± 12  |
| Promedio  | 12/06/04            | 552,3          | 249,5       |
| <i>Trachicardium sp</i> (3)                                 | 24/06/04<br>E1      | 759,7 ± 25     | 670,9 ± 20  |
| <i>A. rígida</i> (8)  | 24/06/04<br>E1      | 1605,2 ± 33    | 984,8 ± 45  |
| <i>A. rígida</i> (3)  | 24/06/04<br>E2      | 1670,6 ± 35    | 1257,9 ± 30 |
| <i>A. notabilis</i> (1)                                     | 24/06/04<br>E2      | 1089,8 ± 35    | 1010,5 ± 35 |
| <i>C. cancellata</i> (40)                                   | 24/06/04<br>E1      | 1260,3 ± 26    | 486,3 ± 25  |
| <i>C. cancellata</i> (40)                                   | 08/07/04<br>E1      | 1336,6 ± 41    | 683,1 ± 25  |
| <i>C. cancellata</i> (30)                                   | 08/07/04<br>E2      | 643,8 ± 35     | 455,6 ± 25  |
| <i>C. cancellata</i> (50)                                   | 10/07/04<br>E1      | 1252,5 ± 29    | 765,4 ± 35  |
| <i>C. cancellata</i> (30)                                   | 10/07/04<br>E2      | 404,7 ± 35     | 236,9 ± 28  |
| <i>C. cancellata</i> (30)                                   | 10/07/04<br>E3      | 909,9 ± 21     | 613,2 ± 30  |
| Promedio <i>C. Cancellata</i> en la Bahía de Amuay          | Excepto el 12/06/04 | 968 ± 382      | 540 ± 189   |
| <i>C. cancellata</i> (30) (Blanco Villamarina)              | 07/08/04            | 2500 ± 26      | 210 ± 22    |
| <i>C. cancellata</i> (30) (Blanco El Pico)                  | 07/08/04            | 1580 ± 22      | 158 ± 25    |
| Promedio <i>C. Cancellata</i> (Blanco Villamarina– El pico) | 07/08/04            | 2040 ± 651     | 184 ± 37    |

mayores, lo cual nos estaría indicando que probablemente un porcentaje importante de los hidrocarburos provienen de derivados del petróleo. Curiosamente los valores de A y G se invirtieron, resultando en promedio dos (2.1) veces mayores en las muestras del blanco, algo que no ocurría con los sedimentos en los cuales las muestras con mayores TRPH eran también las de mayor contenido de A y G. Esto podría tener su explicación más lógica en el hecho de que los animales de las zonas menos contaminadas gozan de un mejor estado de salud, almacenan más grasa y bioacumulan menos hidrocarburo (preferentemente de origen biogénico).

#### **h) Hidrocarburos Alifáticos Totales (HAT) e Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos Totales (HPAT) en el tejido de los moluscos.**

Las concentraciones de HAT (Tabla 6) obtenidas en el presente trabajo pueden considerarse relativamente elevadas, ya que son similares a las de los mejillones de las aguas más contaminadas de la Laguna de Venecia, Italia (Fossato y Siviero, 1974). La tendencia a que den mayores valores de HAT que de HPAT, es de esperar (Tabla 6), pues estos últimos son menos metabolizados debido a su mayor peso molecular y por ende más difíciles de bioacumular, sin embargo, también son más persistentes en el medio y pueden servir como

Tabla 6. Concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) de hidrocarburos alifáticos totales (HAT) y policíclicos aromáticos totales (HPAT) en muestras de tejido de moluscos

| Especie (Nº ejemplares analizados) | Muestreo*      | HAT (mg·Kg <sup>-1</sup> ) | HPAT (mg·Kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|
| <i>C. cancellata</i> (40)          | 24/06/04<br>E1 | 124 ±40                    | 53 ± 21                     |
| <i>C. cancellata</i> (40)          | 08/07/04<br>E1 | 128 ±35                    | 98 ± 17                     |
| <i>C. cancellata</i> (30)          | 08/07/04<br>E2 | 114 ±35                    | 62 ± 20                     |
| <i>C. cancellata</i> (50)          | 10/07/04<br>E1 | 59 ±20                     | 110 ± 25                    |
| <i>C. cancellata</i> (30)          | 10/07/04<br>E2 | 54 ±25                     | 29 ± 15                     |
| <i>C. cancellata</i> (30)          | 10/07/04<br>E3 | 128 ±21                    | 80 ± 18                     |
| <i>C. cancellata</i> (Promedio)    | Todos          | 95,8 ± 50,8                | 72 ± 30                     |
| <i>Trachicardium sp</i> (5)        | 24/06/04<br>E1 | 192 ±35                    | 81 ± 25                     |
| <i>A. rígida</i> (8)               | 24/06/04<br>E1 | 182 ±18                    | 115 ± 20                    |
| <i>A. rígida</i> (5)               | 24/06/04<br>E2 | 176 ±20                    | 182 ± 25                    |
| <i>A. notabilis</i> (5)            | 24/06/04<br>E2 | 188 ± 25                   | 178, ± 30                   |

trazadores. En alguna medida esto puede ser indicativo de lo reciente del evento contaminante, ya que cabría esperar que con el pasar del tiempo - y sin que se repitan eventos contaminantes- la proporción de HPAT supere a la de HAT, en la medida que estos últimos vayan siendo metabolizados. El caso de los HPAT es diferente, pues como mencionábamos, si bien, son más difíciles de bioacumular, también lo son de depurar. Los valores conseguidos son relativamente elevados, superiores, por ejemplo, a los de moluscos de Peniscola, una zona contaminada de España (Risebrough, *et al.*, 1983, citado por Leal, 1992). Los valores de referencia establecidos para los HPAT se hacen en función de la sumatoria de seis (6) o dieciséis (16) compuestos pertenecientes a esta familia, los cuales son considerados de mayor peligro potencial e indicadores de contaminación por hidrocarburos, siendo los valores límite establecidos para moluscos de 20 y 50 ppm respectivamente. El promedio de 72 ppm para *C. cancellata*, obtenido en Amuay, no es comparable directamente con estos límites, pues se basa en la determinación de los HPAT totales incluyendo un número mayor de compuestos que los 6 o 16

establecidos en la normativa, lo cual induce a una sobreestima.

Ambos HAT y HPAT no son considerados con potencial para causar toxicidad aguda dentro de sus límites de solubilidad en el agua, pero pueden producir toxicidad en el largo plazo y hasta ser cancerígenos, pero ello dependerá de las especies químicas que los compongan (Lyons *et al.*, 2002). La principal dificultad al momento de determinar el umbral de toxicidad de estos compuestos, es que se requiere realizar bioensayos de toxicidad aguda y crónica con las diferentes analitos que integran los HPAT y los HAT. Sólo contando con información de valores totales, al igual que con el caso de los HRT, no es posible determinar toxicidad. No obstante, hay que mirar con cautela estos resultados.

#### i) Análisis cualitativo del plancton

Se observaron 26 taxa, con dominio de las especies de diatomeas (20 taxa). Se identificó un taxón de cianobacteria colonial (*Merismopedia* sp.). Las diatomeas presentaron buen desarrollo, con especies de gran tamaño, bien silificadas. Se

encontraron las diatomeas: *Eucampia*, *Rhizosolenia setigera*, *R. fragilissima*, *Chaetoceros*, *Asterionella japonica*, *Hemialus sinensis*, *Nitzschia seriata*, *Grammatophora marina*, *Pleurosigma*, *Guirnardia flaccida*, *Paralia sulcata*, *Coscinodiscus*, *Nitzschia longissima* y *Triceratium favus* (indicadora de cuerpos de agua someros y/o bien mezclados). Los dinoflagelados fueron muy escasos (5 taxa): *Protoperidinium oceanicum*, *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum micans*, *Ceratium furca*, *Gymnodinium* sp. Es de hacer notar que no se observaron especies fitoplanctónicas nocivas.

### j) Análisis cuantitativo del plancton

La abundancia total fue de 107,55 cel.mL<sup>-1</sup>. Dominaron las diatomeas (104,29 cel.mL<sup>-1</sup>) mientras los dinoflagelados fueron escasos. No se observaron especies de otros grupos fitoplanctónicos como: cocolitofóridos, euglenales, silicoflagelados, cianofitas, rafidofitas.

### k) Toxicidad

Los resultados de las pruebas de toxicidad en ratones blancos resultaron negativos, por lo que se puede concluir que no se encontraron toxinas en los moluscos.

## DISCUSIÓN

Una vez presentados los resultados se consideró conveniente plantear el problema en términos del descarte de hipótesis alternativas sobre el origen y mecanismo del evento de mortalidad.

1) Al no encontrarse ninguna evidencia de un evento de AMA (Ej.: reportes de los pescadores, pruebas de bitoxicidad, identificación del plancton), este fue descartado en primer lugar.

2) Así mismo, se descartó que los sedimentos contaminados del sur resuspendidos y depositados en el norte de la bahía (producto del cambio en el patrón de las corrientes antes descrito) hubiesen provocado la mortalidad por toxicidad aguda, por cuanto las concentraciones de los elementos contaminantes (Ej., HRT, HPAT), estaban por debajo de los umbrales requeridos para generar mortalidad por toxicidad aguda, así como por no haber encontrado evidencias de mortalidades importantes de otros organismos bentónicos con umbrales de toxicidad similares o menores a los de los bivalvos. Se plantea entonces la siguiente hipótesis como la más verosímil

3) Sedimentos suspendidos del sur de la bahía o del canal de navegación, fueron depositados en la zona norte y en virtud de su baja calidad: ricos en hidrocarburos, A y G y sulfuros -y probablemente de textura fina y fuertemente reducidos-, produjeron la mortalidad masiva por sofocación de los moluscos bivalvos. Esta probable situación de anoxia al nivel de la interfase agua-sedimentos se podría generar por lo que se ha denominado en la literatura sedimentación catastrófica, en la cual grandes cantidades de sedimentos finos (y por lo general poco densos) se depositan repentinamente por cortos periodos de tiempo, generando un desbalance en la carga de sedimentos suspendidos y asentados (Norkko *et al.* 1999, Norkko *et al.* 2002, Donahue and Irvine, 2003, Waters, 1995, Zweig and Rabeni, 2001; Berry *et al.*, 2003).

El efecto letal directo que este tipo de eventos puede tener sobre los moluscos bivalvos es de impregnación y colmatación (de las branquias) y sofocación de los organismos, impidiendo el intercambio gaseoso, además de distintos efectos subletales (Ej.: afecta el reclutamiento de juveniles y la alimentación). En esta hipótesis, se parte de un razonamiento análogo al de la hipótesis 2 en cuanto al rol de las condiciones climáticas sobre la movilización de sedimentos, pero a diferencia del anterior, se atribuye la causa de la mortalidad a una limitación del intercambio gaseoso de los moluscos, producto de una capa de sedimentos que al depositarse sobre estos y dada su limitada movilidad, se produjo la mortalidad por anoxia.

El rol de los hidrocarburos, las grasas y aceites y las bajas tensiones de oxígeno de la interfase agua sedimentos -que debieron existir conforme a la dinámica de la bahía cuando soplan vientos débiles del oeste-, probablemente fue sinérgico, favoreciendo el estrés de los animales. Realmente, es difícil separar la acción de los diferentes elementos estresantes, por lo que en la literatura referida se habla del efecto combinado de: la deposición anómala de sedimentos -en este caso contaminados y de diferente textura-, el incremento de sólidos en suspensión, la baja tensión de oxígeno y el incremento de los sulfuros (H<sub>2</sub>S).

Refuerza este punto el conocimiento de las limitaciones de los moluscos para evadir situaciones como las que se describen. En particular en el caso de *C. cancellata* que por su condición de filtrador suspensorio de sifón corto, estaría incapacitado para evadir una capa de sedimentos de esta naturaleza (Peterson, 1985). De hecho, esta

especie sufrió una mortalidad del 100% en gran parte de los estratos de la zona donde se recolectó durante el muestreo del 12/06/04. Así mismo, en recorridos que se hicieron por la bahía se encontró que donde la textura de los sedimentos era fina, no se encontraban presentes estos moluscos.

Otra evidencia que da soporte al planteamiento es que, las concentraciones de los HRT, HPAT, HAT en los tejidos de los moluscos que se encontraron vivos el 12/06/04, no fueron mayores que en las muestras del resto de las fechas, denotando que algo diferente a toxicidad por hidrocarburos afectó a los moluscos. Probablemente éstos cerraron sus valvas lo que impidió que incrementase la bioconcentración de los hidrocarburos, a pesar de que los sedimentos tenían concentraciones notoriamente superiores de estos para esa fecha. Se postula entonces la hipótesis 3 como la más probable explicación del evento de mortalidad, por ser la que presenta los indicios más consistentes, aún a expensas de que se sustenta en buena medida en las muestras preliminares y evidencia circunstancial del 12/06/04. La misma podría ser reforzada a futuro realizando bioensayos simulando suspensión y deposición de sedimentos contaminados, bajo condiciones controladas.

## CONCLUSIONES

Se evidenció un evento de mortalidad masiva de moluscos el cual estimamos comenzó a mediados de Mayo y fue monitoreado tardíamente. Se atribuye (hipótesis de trabajo) la responsabilidad de la mortalidad de los moluscos, a la suspensión y deposición de sedimentos contaminados provenientes del sur de la bahía sobre los bancos de moluscos, ocurriendo la mortalidad probablemente por sofocamiento e impregnación de los organismos (anoxia), ya que las concentraciones de metales pesados, hidrocarburos y aceites y grasas, halladas tanto en sedimentos como en moluscos no explican la mortalidad directa detectada. Si bien, la concentración de hidrocarburos y metales en general se encontraba dentro de los rangos establecidos, en algunos casos se encontraban excedidos y en otros cercanos a los valores críticos. Se evidencia el hecho de que, las condiciones históricamente mejores de la calidad de los sedimentos del norte de la bahía, pueden estacionalmente estar sujetas a la influencia de las desmejoradas condiciones del sur.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Dra. Amelia Labarbera del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), por la identificación de las muestras de plancton y la realización de los bioensayos en ratones y al Téc. Sup. Samuel Narciso de la Fundación para la Defensa de la Naturaleza (FUDENA) por su colaboración en la identificación taxonómica de los moluscos bivalvos.

## REFERENCIAS

- AOAC (1984): *Paralytical Poison Biological Method*. Association of Official Analytical Chemists, 12th Edition, Washington DC, 32 pp.
- APHA (1998): *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, 18th Edition, Washington D.C., 1325 pp.
- AWARE (1982): *Baseline Environmental Study and Predictive Water Quality Modeling Amuay Bay, Venezuela*. Prepared for Lagoven S.A. by AWARE Inc., Nashville, Tenn., USA. 46 pp.
- Berry, W., N. Rubinstein, B. Melzian and B. Hill (2003): *The Biological Effects of Suspended and Bedded Sediment (SABS) in Aquatic Systems: A Review*. Internal Report of the U.S. EPA Office of Research and Development, Narragansett, RI. En: <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/sediment/appendix1>
- Borsuk, M.E., C.A. Stow and K.H. Reckhow (2003): *A Bayesian Network of Eutrophication Models for Synthesis, Prediction, and Uncertainty Analysis*. *Ecological Modelling*, 3461:1-21.
- Buchman, M.F. (1999): *NOAA screening quick reference tables*. NOAA HAZMAT. Report 99-1, Seattle, WA. Coastal Protection and Restoration Division. National Oceanic and Atmospheric Administration, 12 pp.
- Donahue, I and K. Irvine (2003): *Effects of sediment particle size composition on survivorship of benthic invertebrates from Lake Tanganyika, Africa*. *Archive fuer Hydrobiologie* 157:131- 144.
- EPA (1997): *Ecological risk assessment guidance for superfund: process for designing and conduction ecological risk assessments*. US Environmental Protection Agency. Interim. Final. EPA-540-R-97-006. EPA Environmental Response Team Edinson, N., 88 pp.

- EPA (1992): Framework for ecological risk assessment. US Environmental Protection Agency. EPA/630/R-92/001. Risk Assessment Forum. Washington, DC., 41 pp.
- CDM (2002): *Feasibility study for Amuay Bay environmental impact evaluation*. Camp D. & Mckee International Inc. Project by PDVSA, Final Report, 84 pp.
- FLASA (1984): *Evaluación de los recursos Pesqueros del Estado Falcón y Zona Occidental*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Informe Final, 208 pp.
- Fossato V. and E. Siviero (1974): Oil pollution monitoring in the lagoon of Venice using the mussel *Mytilus Galloprovincialis*. *Institute of Marine Biology of N.C.R. Venice, Italy*. N° 1, pp. 6.
- García, E. (2000): *Evaluación ambiental específica del terminal marítimo de la Refinería de Amuay*. Instituto de Tecnología y Ciencias Marinas (INTECMAR.), Universidad Simón Bolívar, Informe final, 52 pp.
- Ginés, H. (1982): Carta Pesquera de Venezuela (2). Áreas Central y Occidental. *Monografía* N° 27. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas, 226 pp.
- IMCO. FAO. UNESCO. WMD. WHO. IAEA. (1977): Impact of Oil on the Marine Environment, Aspects of Marine Pollution. (GESAMP) Un joint group of experts on the scientific aspects of marine pollution. *FAO. Report* N° 6, 259 pp.
- LAGOVEN, S.A. (1988): *Análisis sobre contaje e identificación de fitoplancton y la DBO5-20 en aguas de la Bahía de Amuay*. Informe Técnico, 21 pp.
- Leal, I. (1992): Estudio de la contaminación por Hidrocarburos, metales pesados y órgano clorados en el litoral Barloventeño y Morrocoy. Universidad Simón Bolívar, *Tesis de Maestría*, 130 pp.
- Lechuga-Devêze, C.H., A. Reyes-Salinas and M.L. y Morquecho-Escamilla (2001): Anoxia in coastal bay: case study of a seasonal event. *Biología Tropical* 49(2): 525-534.
- Lyons, B.P., C.K. Pascoe and I.R.B. McFadzen (2002): Phototoxicity of pyrene and benzo(a)pyrene to embryo-larval stages of the pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Marine Environmental Research* 54:627-631.
- Neff, J.M. (1987): Biological effects of oil in the marine environment. Prediction data based on laboratory investigations help design better approaches to combating oil spills. Battelle New England Marine Research Laboratory, Duxbury, MA 02332, *Chemical Engineering Progress*, pp. 27-33
- NIVA (1998): Estudios térmicos en la Bahía de Amuay, Estado Falcón, Venezuela. Evaluación del impacto potencial de la eliminación de descarga de aguas de enfriamiento de la bahía de Amuay. *Norwegian Institute for Water Research, Informe* N° 3914-1998, 48 pp.
- Norkko, A., S.F. Thrush, J.E. Hewitt, J.T. Norkko, V.J. Cummings, J.I. Ellis, G.A. Funnell and D. Schultz (1999): *Ecological effects of sediment deposition in Okura Estuary*. Report prepared for the Auckland Regional Council. NIWA Client Report ARC90243. 46 pp.
- Norkko, A., S.F. Thrush, J.E. Hewitt, V.J. Cummings, J. Norkko, J.I. Ellis, G.A. Funnell, D. Schultz e I. MacDonald (2002): Smothering of estuarine sandflats by terrigenous clay: The role of wind-wave disturbance and bioturbation in site-dependent macrofaunal recovery. *Marine Ecology Progress Series*. 234: 23-41.
- Pérez de Acosta, D. (1999): *Actualización de línea de base costera Refinería Cardón*. Instituto de Tecnología y Ciencias Marinas (INTECMAR.). Universidad Simón Bolívar, Informe final, 62 pp.
- Persaud, D.R., R. Jaagumagi, and A. Hayton (1993): *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*. Queen's Printer for Ontario. Ontario, Canada. 27 pp.
- Peterson, C. (1985): Patterns of Lagoonal Bivalve Mortality After Heavy Sedimentation and Their Paleocological Significance. *Paleobiology*, 11(2):139-153.
- RCAC (1998): Long-Term environmental monitoring program (1997-1998 monitoring report). *Regional Citizens Advisory Council, Kinetic Laboratories Inc. Pub* n° 608.98. 65 pp.

---

Rodríguez, C. y R. Valera (1987): Pigmentos clorofilicos e hidrografía en la región noroccidental de Venezuela con énfasis en el Golfo de Venezuela. *An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*. Vol 17: 3-14.

TESAM S.A. (1994): *Normas Institucionales Ambientales en los Puertos*. Sintesis de la Cuarta Etapa del Estudio, MOP, Chile, 34 pp.

Waters, T.F. (1995): Sediment in streams - Sources, biological effects and control. American Fisheries Society, Bethesda, MD. *American Fisheries Society Monograph* 7. 251 pp.

Zweig, L.D. and C.F. Rabeni (2001): Biomonitoring for deposited sediment using benthic invertebrates:

a test on 4 Missouri streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 20:643-657.

SERVIAMBCA (1993): *Tercera Fase Estudio Ecológico de la Bahía de Amuay*. Informe técnico preparado para la Refinería de Amuay. 26 pp.

The International Mussel Watch Workshop (1980). *Report of a workshop sponsored by the Environmental Studies Board Commission on Natural Resources*. National Academy of Sciences, Washington, D. C. 143 pp.

Aceptado: 28 de febrero del 2008