
IMPACTO DE LA ZONA DE MÍNIMO DE OXÍGENO SOBRE LOS CORREDORES PESQUEROS EN EL PACÍFICO MEXICANO

MICHEL E. HENDRICKX y DAVID SERRANO

RESUMEN

Los perfiles de oxígeno disuelto en la columna de agua fueron medidos hasta 1905m de profundidad durante tres cruceros en el Pacífico mexicano y se establecen los límites de la zona de mínimo de oxígeno (ZMO), desde el golfo de California central hasta Guerrero. Se confirmó la presencia documentada de camarones (*Dendrobranchiata* y *Caridea*) en la misma región. La ZMO determina una estratificación muy clara en la columna de agua a partir de 75-150m y hasta ~700-800m. Los valores de O_2 disuelto (OD) $\leq 0,5\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ en el golfo de California central se encuentran entre 255 y 1386m, y aquellos valores $\leq 0,2\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ entre 366 y 1055m. En el golfo de California sur, estos mismos valores de OD se encuentran

entre 74 y 1269m y entre 89 y 1021m. En el Pacífico suroccidental, se encuentran entre 53 y 1230m y entre 66 y 1054m. En la plataforma continental se registran 28 especies de *Dendrobranchiata* vs solamente tres especies por debajo de la ZMO. En el caso de los *Caridea*, se cuenta con 18 especies asociadas con la plataforma continental y 15 por debajo de la ZMO. Ninguna de estas especies se encuentra en ambas franjas. La ZMO representa una barrera fisiológica para la migración vertical en la columna de agua, al tiempo que las actividades pesqueras deben limitarse a las franjas ubicadas por arriba o por debajo de la ZMO.

La zona de mínimo de oxígeno (ZMO) del Pacífico este es la más importante a nivel mundial. En México, abarca la totalidad del país, salvo el extremo norte del golfo de California (Díaz y Rosenberg, 1995; Helly y Levin, 2004). Es extremadamente amplia en el sur de golfo de California y a lo largo de la costa suroeste de México (Hendrickx, 2001; Hendrickx y Serrano 2007). Este fenómeno tiene consecuencias muy negativas sobre el ambiente marino, ya que limita la anchura y, sobre todo, la profundidad de la franja costera a la cual los organismos no adaptados a concentraciones de O_2 muy reducidas o extremadamente bajas logran vivir (Childress y Seibel, 1998; Rogers, 2000; Levin, 2003). A pesar de su importancia sobre la disponibilidad de los recursos marinos en el Pacífico mexi-

cano, poco se sabe de su distribución exacta (latitudinal y batimétrica) y de sus variaciones anuales o interanuales en el área. Entre las pocas evaluaciones de la extensión de este fenómeno en aguas mexicanas, existe un trabajo recapitulativo publicado a principios de los años 60 por Parker (1964) quien utilizó toda la información disponible en esa época para proponer un mapa de distribución de la ZMO en el golfo de California. Desde entonces, la información publicada se refiere esencialmente a datos aislados (hidrocalas, algunos perfiles o transectos, mediciones en algunas localidades; Gaxiola-Castro *et al.*, 2002; Sánchez-Velasco *et al.*, 2004) y no hay un estudio integral o sostenido en la columna de agua a lo largo de la Zona Económica Exclusiva de México, en áreas suficientemente amplias para ser consideradas representativas del nivel de influen-

cia de este fenómeno sobre la biología y la distribución de las especies en la región.

Los recursos pesqueros del Pacífico mexicano son relativamente bien conocidos. En el golfo de California, a pesar de caracterizarse por una diversidad faunística muy alta que alcanza más de 6000 especies macro-bentónicas y macro-pelágicas (Brusca *et al.*, 2005), las pesquerías se limitan esencialmente a las aguas más someras (pesca de camarones *Penaeidae*, recolección de moluscos, pesca artesanal de escama). En el Pacífico suroccidental se vive una situación parecida, aunque localmente las condiciones batimétricas (plataforma muy angosta, fondos rocosos en aguas someras) dificultan hasta cierto punto la explotación de los recursos. A pesar de eso, ciertas áreas del suroeste de México es-

PALABRAS CLAVE / Camarones / Pacífico de México / Pesquerías / Zona de Mínimo de Oxígeno /

Recibido: 01/06/2009. Modificado: 03/12/2009. Aceptado: 07/12/2009.

Michel E. Hendrickx. Doctor en Ciencias, Université Libre de Bruxelles, Bélgica. Investigador, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dirección: Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. P.O. Box 811, Mazatlán, Sinaloa 82000. e-mail: michel@ola.icmyl.unam.mx

David Serrano. Doctor en Ciencias, UNAM, México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. e-mail: davidse65@yahoo.com

tán pobladas por comunidades ricas y abundantes que ofrecen cierto potencial pesquero para los pescadores locales (Hendrickx *et al.*, 1997; Godínez-Domínguez y González-Sansón 1998, 1999; Arciniega-Flores *et al.* 1998, 2008).

En 1989 se inició una serie de cruceros oceanográficos (los cruceros TALUD) cuyo objetivo principal era determinar la composición de las comunidades bentónicas en aguas profundas del Pacífico de México y determinar la relación entre la distribución de estas comunidades y la presencia de la ZMO. Como parte de los resultados de estos cruceros se obtuvieron

indicadores claros de que, tanto en el golfo de California como a lo largo de la costa del suroeste de México (Jalisco hasta Chiapas), la franja costera somera donde existen especies con potencial pesquero es extremadamente reducida debido a la influencia de la ZMO. La magnitud de este fenómeno es tan fuerte que, en algunas zonas, la ZMO ha sido detectada en aguas del orden de 50m de profundidad (Méndez, 2006; Zamorano *et al.*, 2006; Hendrickx y Serrano, 2007).

El propósito de esta contribución es evaluar el impacto que tiene la presencia de la ZMO a lo largo de los corredores pesqueros del Pacífico mexicano, desde Sonora hasta Guerrero, al comparar la distribución batimétrica de las comunidades de camarones que se encuentran afectadas por la presencia de la ZMO

Métodos

Los datos relacionados con la ZMO fueron obtenidos mediante un CTD-O2 autónomo SEABIRD-19 con alcance hasta los 3000m de profundidad. La información utilizada se obtuvo durante los cruceros TALUD VII (junio 2001), X (febrero 2007) y XI (junio 2008). Los recorridos o transectos cubrieron distancias de 577, 280 y 602km, respectivamente, y las mediciones se hicieron de la superficie hasta una profundidad máxima de 1905m. Las latitudes en las cuales se realizaron las estaciones de muestreo corres-

ponden a intervalos de 26°6'N a 22°0'N (TALUD VII), 28°16'N a 26°40'N (TALUD X) y 19°17'N a 16°50'N (TALUD XI).

La información relacionada con las comunidades de camarones bentónicos fue obtenida a partir de los trabajos de Hendrickx (1995a, 1996, 2005), de Wicksten y Hendrickx (2003) y de diversas referencias bibliográficas compiladas en Hendrickx *et al.* (2005). Solo se consideraron las especies con registros positivos en zonas donde se efectúan maniobras de arrastre por parte de la flota camaronera nacional, y se eliminaron de los listados las especies crípticas o que por su tamaño diminuto no son susceptibles de ser capturadas por las redes comerciales (longitud total <30mm).

Resultados

Distribución y características de la ZMO

En el golfo de California y a lo largo de la costa suroccidental de México, la presencia de la ZMO determina una estratificación muy clara en la columna de agua a partir de los 75-150m, según la región, y hasta ~700-800m. Incluso, ocasionalmente este fenómeno se manifiesta a profundidades menores (Figura 1). Los resultados obtenidos durante este estudio confirmaron la presencia de este fenómeno y permiten

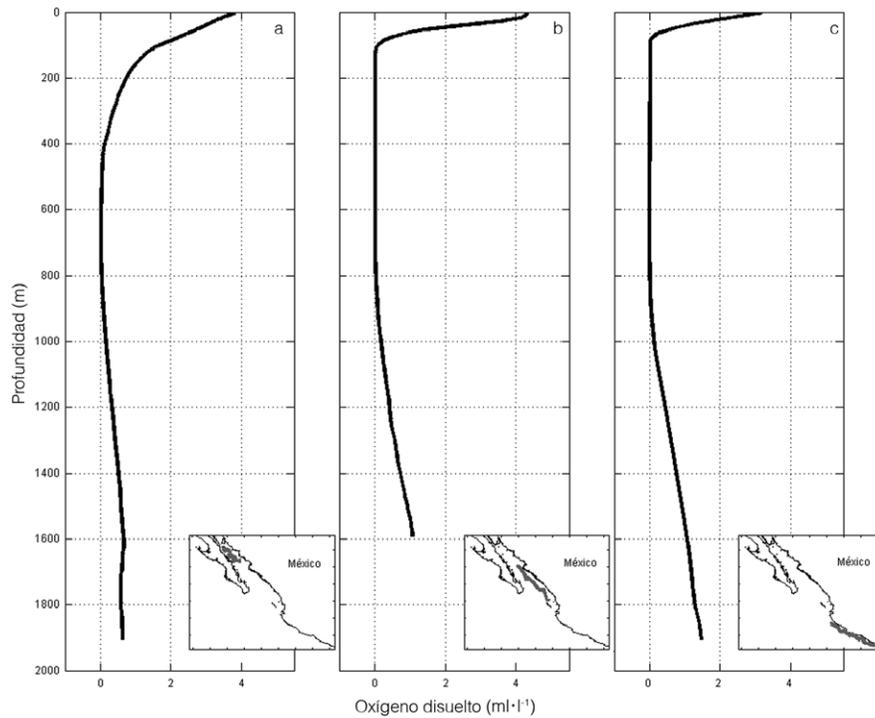


Figura 1. Ubicación geográfica de los cruceros TALUD X (a), VII (b) y XI (c) y perfil de concentraciones medias de OD (ml·l⁻¹).

precisar sus efectos sobre las comunidades naturales.

La proyección de los perfiles de O₂ disuelto (OD) de tres transectos longitudinales de los cruceros TALUD X, VII y XI (Figura 2) muestra la posición de las oxilíneas (línea blanca) con concentraciones de 0,5 y 0,2ml·l⁻¹. El intervalo medio de profundidad de OD ≤0,5ml·l⁻¹ para la sección longitudinal del TALUD X se encuentra entre 255 y 1386m. Concentraciones de OD ≤0,2ml·l⁻¹ se encuentran entre 366 y 1055m y la oxilínea más somera de 0,5ml·l⁻¹ se encuentra entre los 407 y 124m. El espesor medio entre ambas oxilíneas (0,5 y

0,2ml·l⁻¹) en aguas con profundidad <800m es de 75m. La tendencia de ambas oxilíneas es que se presenten en aguas más someras conforme se avanza hacia el sureste, además de que el espesor entre ambas disminuye, pasando de más de 120m en la zona norte y alcanzando 15m de espesor aproximadamente a 230km. La disminución de la capa entre las oxilíneas de 0,5 y 0,2ml·l⁻¹ implica un mayor gradiente (en la vertical) en la oxiclina en dirección hacia el sur (Figura 2a).

Para la sección del TALUD VII (Figura 2b) el intervalo medio de profundidad de OD ≤0,5ml·l⁻¹ se encuentra entre 74 y 1269m. Concentraciones de OD ≤0,2ml·l⁻¹ se encuentran entre 89 y 1021m, en promedio. La oxilínea de 0,5ml·l⁻¹ en aguas poco profundas se encuentra entre los 90 y 33m y el espesor medio de la franja que forman éstas es de 11m. Al igual que en la sección del TALUD X, la tendencia de ambas oxilíneas es que se presenten en aguas más someras conforme se avanza hacia el sureste (hacia la derecha de la sección longitudinal). Al ajustar una recta a ambas líneas de concentración de O₂, presentan pendiente de 7,4 y 9,3cm·km⁻¹, lo cual indica que el espesor entre estas oxilíneas disminuye conforme se avanza hacia el sureste y, por lo tanto, la oxiclina presenta un mayor gradiente conforme se avance en esa dirección (Figura 2b).

En la sección longitudinal del TALUD XI (Figura 2c) el intervalo medio de profundidad de OD $\leq 0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ se encuentra entre 53 y 1230m. Concentraciones de OD $\leq 0,2 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ se encuentran entre 66 y 1054m. La oxilínea subsuperficial de $0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ se encuentra entre los 21 y 52m de profundidad y el espesor medio de la capa que forman estas oxilíneas ($0,5$ y $0,2 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$) es de 5,5m. Estos dos últimos resultados confirman que hacia el sureste del Pacífico mexicano la zona anóxica se presenta a menor profundidad y que la franja con concentraciones de OD entre $0,5$ y $0,2 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ disminuye en esta dirección (Figura 2c).

Con el fin de relacionar la concentración de OD con las masas de agua, se construyó su respectivo diagrama TS para cada cruceo TALUD (Figura 3). Las subdivisiones en los diagramas fueron construidas de acuerdo a Torres-Orozco (1993) y reproducidas en Lavín *et al.* (1997). Cabe señalar la ausencia de las masas de agua superficial ecuatorial y de la corriente de California en el diagrama que corresponde al TALUD X. En el diagrama TS del TALUD XI no se registra el agua del golfo de California y en el diagrama TS del TALUD VII se registran las masas de agua del golfo de California y superficial ecuatorial, por lo que a esta sección la podemos considerar de transición entre las aguas del golfo de California y del sureste de Pacífico mexicano.

Masas de agua con OD $< 0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ corresponden a la masa de agua intermedia del Pacífico, presente en los tres diagramas, y al agua sub-superficial sub-tropical en el diagrama TS del TALUD XI. La masa de agua sub-superficial

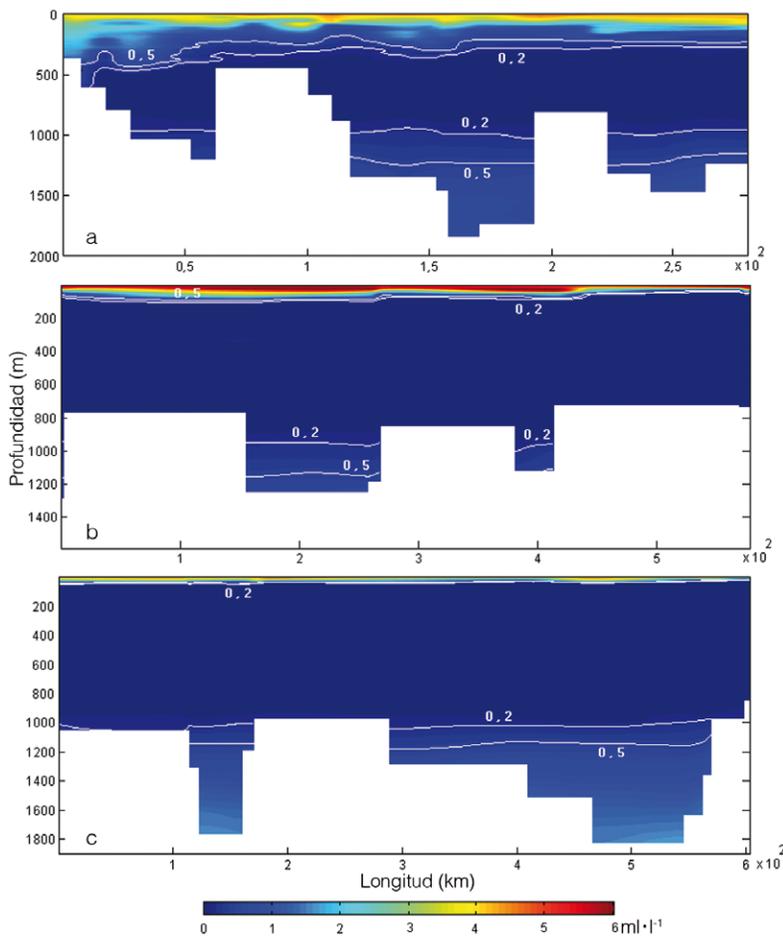


Figura 2. Sección longitudinal de OD ($\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$) para los cruceos a) TALUD X, b) TALUD VII y c) TALUD XI. Oxilíneas (líneas blancas) de $0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ y $0,2 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$. (Ver imagen a color en www.wwww.interciencia.org/v35_01/index.html).

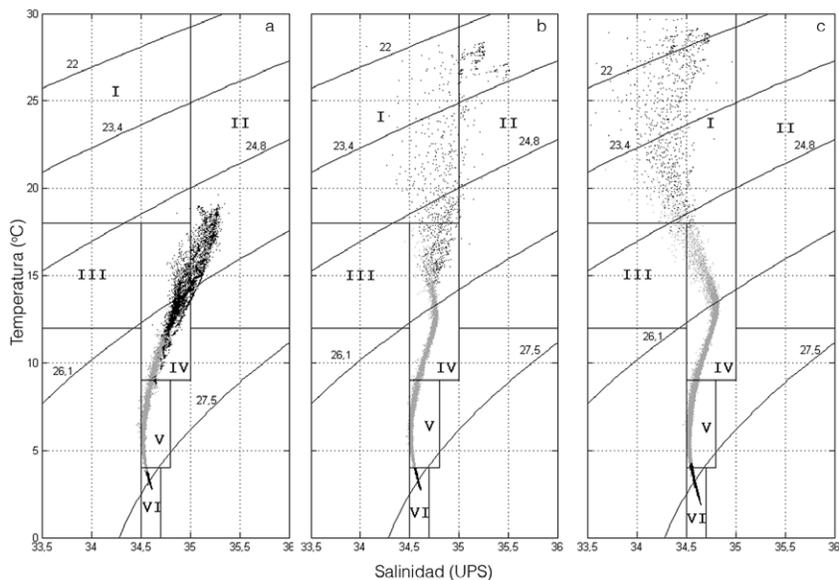


Figura 3. Diagramas TS para los cruceos TALUD X, VII y XI; a, b y c, respectivamente. Los puntos grises señalan agua con OD $< 0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$; los puntos negros indican agua con OD $> 0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$. I: agua superficial ecuatorial, II: agua del golfo de California, III: agua de la corriente de California, V: agua subsuperficial subtropical, V: agua intermedia del Pacífico, VI: agua profunda del Pacífico.

sub-tropical para los TALUD X y VII contienen OD $> 0,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$, esto quizás debido al aporte de OD de la masa de agua del golfo de California que presenta concentraciones $> 1 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ por arriba de los 150m de profundidad.

En aguas profundas el aporte de OD se debe a la presencia del agua profunda del Pacífico, o agua común oceánica, la cual se registra en los tres diagramas TS (Figura 3). De acuerdo con Colling (2001), esta masa de agua se forma por la mezcla del agua profunda del Atlántico Norte, agua de fondo antártica y agua antártica intermedia. Esta última, que se forma en la zona frontal polar antártica, arrastra consigo importantes cantidades de OD al hundirse debido a procesos convectivos.

Comunidades de camarones

Las comunidades de camarones bentónicos son, sin lugar a dudas, el recurso más buscado y aprovechado en las pesquerías de alta mar en el Pacífico mexicano (Hendrickx 1995, 1996). Por lo tanto, parece lógico utilizar este grupo de organismos como elemento comparativo para evaluar el impacto de la ZMO sobre la distribución de comunidades naturales de organismos bentónicos o asociados al fondo en algún momento de su ciclo vital.

En cuanto a número de especies, los Dendrobranchiata asociados con la porción relativamente bien oxigenada de la plataforma continental, frente a las costas del Pacífico mexicano, suman 28 (15 Penaeidae, 11 Sicyoniidae y 2 Solenoceridae). Comparativamente, la

TABLE I
ESPECIES DE CAMARONES BENTÓNICOS
DENDROBRANCHIATA ASOCIADAS CON
LA PLATAFORMA CONTINENTAL POR
ENCIMA DE LA ZMO (A) Y CON
LA PARTE INTERMEDIA DEL TALUD
CONTINENTAL, POR DEBAJO DE
LA ZMO EN EL PACÍFICO MEXICANO (B)

A. Por encima de la ZMO	
Penaeidae	Prof.
<i>Metapenaeopsis beebei</i>	30-60m
<i>M. mineri</i>	13-87m
<i>M. kishinouyei</i>	3-82m (1)
<i>Parapenaeopsis balli</i>	18-60m
<i>Farfantepenaeus brevisrostris</i>	21-86m
<i>F. californiensis</i>	2-92m
<i>Litopenaeus occidentalis</i>	2-160m
<i>L. stylirostris</i>	4-45m
<i>L. vannamei</i>	1-90m
<i>Trachysalambria brevisuturiae</i>	4-86m
<i>Rimapenaeus faoe</i>	9-66m
<i>R. byrdi</i>	2-40m
<i>R. fuscina</i>	5-100m
<i>R. pacificus</i>	12-131m
<i>Xiphopenaeus riveti</i>	18-75m
Sicyoniidae	
<i>Sicyonia affinis</i>	>77m (2)
<i>S. aliafinis</i>	13-118m
<i>S. disdorsalis</i>	3-132m
<i>S. disedwardsi</i>	3-127m
<i>S. disparri</i>	0-65m
<i>S. ingentis</i>	15-103m
	(216-244m) (3)
<i>S. laevigata</i>	0-5m
<i>S. martini</i>	14-76m
<i>S. mixta</i>	27-66 m
<i>S. penicillata</i>	18-131m
<i>S. picta</i>	0-170m (4)
Solenoceridae	
<i>Solenocera florea</i>	13-118m
<i>S. mutator</i>	26-160m
	(360-380m) (4)
B. Por debajo de la ZMO	
Benthescymidae	
<i>Benthescymus tanneri</i>	200-2,406 m
<i>B. altus</i>	910-4,062 m
Solenoceridae	
<i>Hymenopenaeus doris</i>	549-4,082 m

Prof.: intervalo de profundidad conocido para cada especie.

(1) Solo en localidades alejadas de la costa

(2) La distribución batimétrica de *S. affinis* es incierta

(3) Dato dudoso

(4) Profundidad máxima en la porción norte del golfo central.

fauna de Dendrobranchiata que se encuentra por debajo de la ZMO (a partir de ~700-800m) suma solamente tres especies. Ninguna de tales especies (31 en total) se encuentra en ambas franjas. Solo la familia Solenoceridae tiene representantes tanto por arriba como por abajo de la ZMO, pero éstos pertenecen a géneros distintos (Tabla I).

En el caso de los Caridea, se cuenta con 15 especies asociadas con la plataforma continental y éstas per-

tenecen a 11 géneros y seis familias. En la franja ubicada por debajo de la ZMO (a partir de ~700-800m), fueron encontradas 16 especies que pertenecen a 10 géneros y cinco familias (Tabla II). Si bien los números son muy similares con lo observado en la plataforma (16 vs 15; 11 vs 10; 5 vs 6), solamente hay una especie en común entre ambas comunidades, *Heterocarpus vicarius*. Sin embargo, es de notar que los registros de esta especie en aguas más someras que los 200m corresponden a zonas particulares del golfo de California, donde la ZMO se reduce drásticamente (e.g., al sur del Alto Golfo). La posible comunicación entre las poblaciones someras y profundas de esta especie queda por ser estudiada. En cuanto a familias, se hallaron dos familias en común (Hippolytidae y Pandalidae), y dentro de éstas se observan dos géneros comunes (*Heterocarpus* y *Plesionika*) (Tabla II). Si bien el margen continental puede ser visitado por otras especies del género *Plesionika*, éstas son pelágicas (Hendrickx y Estrada-Navarrete, 1996).

La franja batimétrica intermedia, entre ~150 y ~700m de profundidad, o ZMO donde prevalecen condiciones hipóxicas leves o severas y hasta condiciones anóxicas, parece representar una barrera infranqueable para las especies que ocupan la plataforma. Solamente una de las especies de camarones de la plataforma continental, *Solenocera mutator* (Figura 4a) tiene registros al límite superior de la ZMO, donde se detectan concentraciones de OD bajas, generalmente <0,5ml·l⁻¹, pero aún así esta especie logra sobrevivir en estas condiciones adversas. Según Hendrickx (1996), *S. mutator* ha sido encontrada en condiciones francamente hipóxicas (0,44-0,20ml·l⁻¹, entre 60 y 160m de profundidad), aunque también ha sido registrada en aguas mejor oxigenadas (hasta un poco >4,0ml·l⁻¹) en la misma región. Sin embargo, aún así esta especie es incapaz de entrar en la ZMO cuando las concentraciones de OD alcanzan un nivel de hipoxia severa o de anoxia.

En la franja ubicada por debajo de la ZMO, varias especies de camarones presentan una capacidad adapta-

TABLE II
ESPECIES DE CAMARONES BENTÓNICOS
CARIDEA ASOCIADAS CON LA
PLATAFORMA CONTINENTAL POR
ENCIMA DE LA ZMO (A) Y CON LA
PARTE INTERMEDIA DEL TALUD
CONTINENTAL, POR DEBAJO DE LA
ZMO EN EL PACÍFICO MEXICANO (B)

A. Por encima de la ZMO	
Pasiphaeidae	Prof.
<i>Leptochela serratorbita</i>	20-110m
Alpheidae	
<i>Salmoneus serratidigitus</i>	0-10m
<i>Alpheus</i> sp.	
<i>Alpheopsis cortesiana</i>	20-90m
<i>Alpheus floridanus</i>	0-37m
<i>Synalpheus sanjosei</i>	0-20m
<i>Synalpheus digueti</i>	0-10m
Palaemonidae	
<i>Brachycarpus biunguiculatus</i>	0-10m
Hippolytidae	
<i>Lysmata californica</i>	0-60m
<i>L. galapagensis</i>	0-10m
<i>L. intermedia</i>	0-24m
Processidae	
<i>Processa peruviana</i>	16-180m
<i>Ambidexter panamensis</i>	0-10m
Pandalidae	
<i>Heterocarpus vicarius</i>	62-800m
<i>Pantomus affinis</i>	3-120m
	(712-744m) (1)
<i>Plesionika mexicana</i>	4-258m
B. Por debajo de la ZMO	
Pandalidae	
<i>Heterocarpus affinis</i>	800-1250m
<i>H. vicarius</i>	73-800 m
<i>Pandalus amplus</i>	553-1986m
<i>Plesionika carinirostris</i>	360-380m
Crangonidae	
<i>Metacrangon procax</i>	1209-1658m
<i>Pontophilus occidentalis</i>	1789-4082m
<i>Paracrangon aerolata</i>	1238-1246m
<i>Sclerocrangon atrox</i>	1209-1238m
Glyphocrangonidae	
<i>Glyphocrangon spinulosa</i>	1157-1586m
<i>G. sicaria</i>	1225-3310m
<i>G. alata</i>	600-1300m
Nematocarcinidae	
<i>Nematocarcinus faxoni</i>	41-900m
<i>Nematocarcinus</i> sp.	
Hippolytidae	
<i>Lebbeus scrippsi</i>	768-1164m

Prof.: intervalo de profundidad conocido para cada especie. Las especies crípticas, muy pequeñas o asociadas con fondos rocosos no han sido consideradas.

(1) Registros para Perú.

tiva realmente sorprendente. A lo largo del límite inferior de la ZMO, entre los 700-800 y los 1000m de profundidad, se observan condiciones de oxigenación todavía muy adversas, en muchos casos <0,5ml·l⁻¹ (Figura 2). Sin embargo, en algunos casos los muestreos realizados durante este estudio han permitido detectar en esta franja la presencia de algunas especies de interés para la pesca.

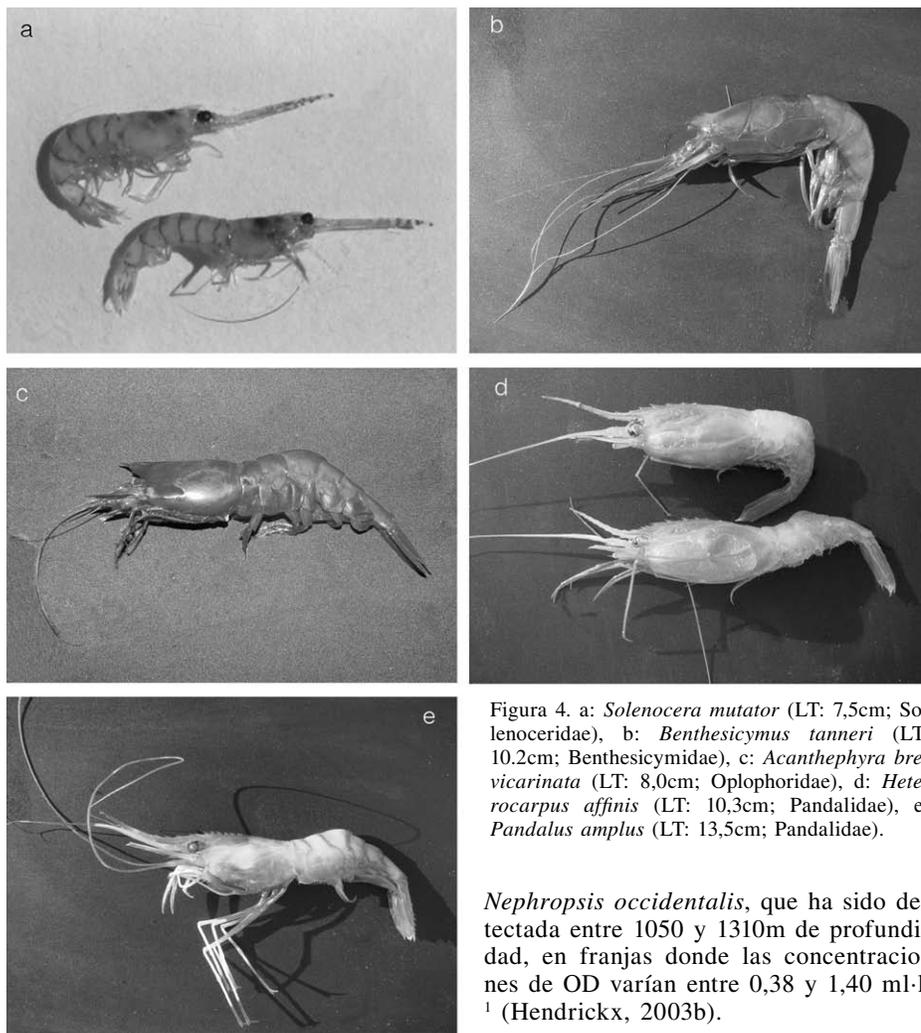


Figura 4. a: *Solenocera mutator* (LT: 7,5cm; Solenoceridae), b: *Benthesicymus tanneri* (LT: 10,2cm; Benthesicymidae), c: *Acanthephyra brevicarinata* (LT: 8,0cm; Ophloporidae), d: *Heterocarpus affinis* (LT: 10,3cm; Pandalidae), e: *Pandalus amplus* (LT: 13,5cm; Pandalidae).

Benthesicymus tanneri (Figura 4b) ha sido capturada en condiciones de oxigenación entre 0,38 y 1,46ml·l⁻¹, con una mayor frecuencia de aparición en valores <1,00ml·l⁻¹. *Acanthephyra brevicarinata* (Figura 4c) también ha sido observada con mucha frecuencia en condiciones hipóxicas (hasta 0,38ml·l⁻¹). Las dos especies de Pandalidae de aguas profundas del Pacífico que poseen un tamaño conveniente para su explotación, también han sido detectadas en condiciones adversas, incluso más extremas que las especies anteriores. Las mayores abundancias de *Heterocarpus affinis* (Figura 4d), por ejemplo, han sido observadas en profundidades de entre 830 y 860m, donde el OD no rebasa 0,30ml·l⁻¹. En el caso de *Pandalus amplus* (Figura 4e), la segunda especie de Pandalidae de tamaño mediano capturada, los registros indican una abundancia menor y frecuentemente mezclada con *H. affinis* en condiciones de oxigenación de 0,38-0,79 ml·l⁻¹ (Hendrickx, 2003a, 2004). Un caso similar es observado con la pequeña langosta

Nephropsis occidentalis, que ha sido detectada entre 1050 y 1310m de profundidad, en franjas donde las concentraciones de OD varían entre 0,38 y 1,40 ml·l⁻¹ (Hendrickx, 2003b).

Discusión

Aún considerando las profundidades de residencia de las especies de camarones de aguas profundas detectadas en este estudio, su captura con redes de arrastre adaptadas a estos ambientes es muy factible. En otras regiones, por ejemplo en el Mediterráneo, se ha desarrollado una pesca hasta profundidades de 3000m o más (Company *et al.*, 2004; Sarda *et al.*, 2004). Los pocos datos disponibles para las aguas profundas del Pacífico de México indican un potencial pesquero entre 0,2 y 1,95kg·ha⁻¹ de camarones comerciales (todas las especies juntas; Hendrickx 2003b), pero estos datos corresponden a muestreos experimentales con un trineo de apenas 2,5m de ancho y es probable que los valores aumenten considerablemente en caso de utilizar una red de arrastre más ancha, con un efecto de escape proporcionalmente menor. Sin embargo, el efecto negativo de las redes de arrastre en aguas profundas es muy alto, debido al tamaño de las redes y de las tablas que remueven la capa superior del sedimento, causando daños severos a las

comunidades bentónicas, tanto epibentónica como endobentónica. Estos ecosistemas son muy frágiles, basándose en el aporte de alimentos desde la superficie, con comunidades de crecimiento lento y de distribución irregular (*patchiness*). Por lo tanto, el uso de redes de arrastre es un medio de pesca muy agresivo en este tipo de ambiente.

Datos experimentales obtenidos durante la campaña PANDAL en 2002 permiten confirmar la posibilidad de capturar las dos especies de Pandalidae más importantes desde el punto de vista pesquero mediante un mecanismo de pesca por trampas. En esta campaña, la colocación de pequeños trenes de trampas permitió la captura de hasta 14 especímenes grandes de *Heterocarpus affinis* y de *Pandalus amplus* por trampa, en profundidades de 1125-1400m. La colocación rutinaria de trenes de trampas más largos (hasta de 100 trampas o más) podría ser una forma de explotación menos agresiva y rentable, considerando la poca inversión necesaria. Junto a los Pandalidae, el uso de estas trampas durante la campaña PANDAL, reveló la presencia de *Myxine circifrons*, una especie de pez "bruja" de interés comercial, parecida a otras especies del mismo género cuya piel es utilizada en algunos países (Hendrickx y Hastings, 2007).

Además de las implicaciones biológicas y ecológicas relacionadas con algunas especies o grupos de especies en particular, la ZMO representa una amplia zona desértica donde las actividades pesqueras son imposibles. Frente a las costas del Pacífico mexicano, la zona somera, hasta ~100-150m (o menos) comprende las especies tradicionales para la pesca (Penaetidae, Sicyoniidae, peces). Por debajo de esta franja no parece existir recursos pesqueros, debido a la drástica disminución de las concentraciones de OD, las cuales pueden alcanzar valores no detectables con los sensores tradicionales. Si bien algunas especies han desarrollado mecanismos (ampliación de la superficie respiratoria, aceleración del ritmo de ventilación, uso de pigmentos respiratorios más eficientes en la captación del O₂, etc.) que les permiten sobrevivir en condiciones hipóxicas muy severas (Ibarra y Hendrickx, 2008), tales especies no son muy abundantes y no tienen importancia económica. Es de notar, sin embargo, la capacidad de algunas especies de camarones de aguas profundas de permanecer en franjas donde las condiciones de oxigenación son francamente adversas. Esta capacidad representa ciertamente una ventaja ecológica, pues hay poca competencia por el área y por los recursos alimenticios que allí se encuentran.

El reconocimiento de dos corredores pesqueros, completamente distintos en cuanto a su composición en especies y separados por una barrera fisiológica que impide los intercambios de tipo trófico o la competencia interespecífica, es de suma importancia para el manejo en la explotación de los recursos. En el caso de la franja somera, la consecuencia principal consiste en el hecho que el reclutamiento de individuos con hábitos bentónicos (i.e., las especies de camarones de aguas someras, una vez terminada su ciclo larvario pelágico) debe, a fuerza, realizarse en el sentido latitudinal, a lo largo de la costa, en una franja ocasionalmente muy estrecha, pues a partir de cierta profundidad (50, 100 o 150m en el mejor de los casos), los individuos no logran dispersarse por encontrar una barrera infranqueable. Por otro lado, al momento de asentarse, los juveniles de las especies que pasan su ciclo de crecimiento larvario en la columna de agua en alta mar pueden derivar en aguas de mayor profundidad, donde las condiciones de oxigenación en el fondo no permiten su supervivencia.

La presencia de una amplia zona hipóxica o anóxica tiene consecuencias drásticas en el potencial pesquero en el Pacífico mexicano. La pesca por arrastre tradicional, por ejemplo, no puede extenderse más allá del límite superior de la ZMO, pues más profundo, los fondos están casi totalmente desprovistos de vida. Es así que algunos recursos importantes, como los camarones de la familia *Pandalidae* o los cangrejos de las familias *Canceridae* y *Geryonidae*, algunos de los cuales son muy abundantes en estas profundidades en otras regiones como el Atlántico este (Cervigón *et al.*, 1992; Pessuto *et al.*, 2006; Tallack, 2007), el Mediterráneo (Sbrana *et al.*, 2006), o incluso frente a la costa oeste de Baja California, donde se pesca el cangrejo *Cancer johngarthi* entre ~70-340m de profundidad con hasta 100 trampas por línea (Cervantes *et al.*, 2006; López-Rocha *et al.*, 2006), no pueden establecerse en profundidades intermedias (~100 hasta ~700m) frente a las costas del golfo de California sur y central o frente a la costa suroccidental de México.

El potencial pesquero en aguas profundas del Pacífico mexicano es poco conocido. Solamente una finita porción de los fondos ubicados a más de 1000m han sido explorados, y eso de manera muy superficial por el alto costo de mover barcos de investigación o pesqueros con la capacidad de operar trineos o redes de arrastre a estas profundidades. La presencia de varias especies de camarones con potencial económico, junto con otros grupos de organismos que podrían formar parte de la pesca (e.g., *Lithodidae*, *Ne-*

phropidae) deja entrever opciones viables de explotación. Sin embargo, parece inevitable incrementar de manera significativa el esfuerzo exploratorio en estas aguas, incluyendo el resto de la zona batial (hasta los 3000m) y en la zona abisal (3000-6000m) que han quedado prácticamente sin ser tocadas en la zona económica exclusiva del Pacífico mexicano. Un adecuado conocimiento de la composición de las comunidades naturales (riqueza y abundancia) y de las condiciones ambientales en las cuales desarrollan sus actividades básicas de alimentación, reproducción, crecimiento y migraciones, es indispensable antes de emprender el desarrollo de una pesca sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los académicos, a los miembros de la tripulación y a los estudiantes que participaron en los cruceros TALUD a bordo del B/O "El Puma" por su apoyo durante las campañas. Parte de este estudio recibió apoyo de la DGAPA, Universidad Nacional Autónoma de México (proyecto IN-217306-3) y del CONACyT (infraestructura del proyecto 31805-N).

REFERENCIAS

- Arciniega-Flores J, Landa-Jaime V, Gonzalez-Sanson G (1998) Distribution and abundance of soft-bottom stomatopod crustaceans off the coast of Jalisco and Colima, Mexico. *Cien. Mar.* 24: 169-181.
- Arciniega-Flores J, Michel-Morfín JE, Landa-Jaime V (2008) Estructura poblacional de *Portunus xantusii affinis* (Brachyura: Portunidae) en fondos blandos de las costas de Jalisco y Colima, México. En Hendrickx ME (Ed.) *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans 5 (1)*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. pp. 1-16.
- Brusca RC, Findley LT, Hastings PA, Hendrickx ME, Torre Cosio J, van der Heiden AM (2005) Macrofaunal diversity in the Gulf of California. En Cartron, JL, Caballos EG, Felger RS (Eds.) *Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press. Oxford, RU. pp. 179-203.
- Cervantes JL, Ramírez-Rodríguez M, Arreguín-Sánchez F, Fiol-Ortiz J (2006) Selectivity of traps for the deep-water crab *Cancer johngarthi* Carvacho, 1989 in the northern Mexican Pacific. *Crustaceana* 79: 217-225.
- Cervigón, F, Cipriani R, Garibaldi L, Hendrickx ME, Lemus AJ, Márquez R, Poutiers JM, Robaina G, Rodríguez B (1992) *Guía de Campo de las Especies Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional del Sur de América*. Fichas FAO de Identificación de Especies para los Fines de Pesca. FAO. Roma. Italia. 513 pp.
- Childress JJ, Seibel BA (1998) Life at stable low oxygen levels: adaptations of animals to oceanic oxygen minimum layers. *J. Exp. Biol.* 201: 1223-1232.

- Colling A. 2001 *Ocean Circulation*. The Open University. Oxford, RU. 286 pp.
- Company JB, Maiorano P, Tselepidis A, Politou CY, Plaity W, Rotllant G, Sarda F (2004) Deep-sea decapod crustaceans in the western and central Mediterranean Sea: preliminary aspects of species distribution, biomass and population structure. *Sci. Mar.* 68: 73-86.
- Diaz, RJ y Rosenberg Y (1995) Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 33: 245-303.
- Gaxiola-Castro G, Álvarez-Borrego S, Nájera-Martínez S, Zirino AR (2002) Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del golfo de California. *Cienc. Mar.* 28: 297-309.
- Godínez-Domínguez E, González-Sansón G (1998) Variation of the bathymetric distribution patterns of the macrobenthic fauna on the continental shelf off Jalisco and Colima, Mexico. *Cienc. Mar.* 24: 337-351.
- Godínez-Domínguez E, González-Sansón G (1999) Diversity of soft-bottom macroinvertebrates from the continental shelf off Jalisco and Colima, Mexico. *Cienc. Mar.* 25: 609-627.
- Helly JJ, Levin LA (2004) Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Res. I* 51: 1159-1168.
- Hendrickx ME (1995) Camarones. En Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VN (Eds.) *Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental*. Vol. I. Plantas e Invertebrados. FAO. Roma, Italia. pp. 417-537.
- Hendrickx ME (1996) *Los Camarones Penaeoidea Bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) del Pacífico Mexicano*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 148 pp.
- Hendrickx ME (2001) Occurrence of a continental slope decapod crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Belg. J. Zool.* 131 (Suppl. 2): 95-109.
- Hendrickx ME (2003a) Size and abundance of deep water shrimps on the continental slope of the SE Gulf of California, Mexico. En Hendrickx ME (Ed.) *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans*. Vol. 2 Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. pp: 227-234.
- Hendrickx ME (2003b) Distribution and size of the Pacific deep water lobsterette, *Nephropsis occidentalis* Faxon, 1893 (Decapoda: Astacidea: Nephropidae) in the S.E. Gulf of California, Mexico. *Crustaceana* 76: 207-216.
- Hendrickx ME (2004) Distribution and estimation of body size and weight of four species of deep water shrimps in the SE Gulf of California, Mexico. *Crustaceana* 76: 1025-1036.
- Hendrickx ME, Estrada-Navarrete FD (1996) *Los Camarones Pelágicos (Crustacea: Dendrobranchiata y Caridea) del Pacífico Mexicano*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 157 pp.
- Hendrickx ME, Hastings PA (2007) Additional records and ecological data for *Myxine cirrifrons* Garman, 1899 (Myxiniiformes: Myxiniidae) in the Gulf of California, Mexico. *Hydrobiológica* 17: 81-84.

- Hendrickx ME, Serrano D (2007) Efecto de la zona de mínimo oxígeno sobre los corredores pesqueros a lo largo del Pacífico mexicano. *Mem. XIV Congr. Nac. Ciencia y Tecnología del Mar*. Nuevo Vallarta, Nayarit. Secretaría de Educación Pública. México. pp. 1-2.
- Hendrickx ME, Demestre M, Esparza-Haro A, Salgado-Barragán J (1997) Stomatopod and decapod crustaceans collected during the CEEMEX P5 and P7 cruises to the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Oceanides 11*: 1-28.
- Hendrickx ME, Brusca RC, Findley LT (2005) *A Distributional Checklist of the Macrofauna of the Gulf of California, Mexico. Part I. Invertebrates*. Arizona-Sonora Desert Museum. Tucson, AZ, EEUU. 429 pp.
- Ibarra Rivera JS, Hendrickx ME (2008) Los géneros *Gnathopausia* y *Neognathopausia* (Malacostraca: Lophogastrida) en el Pacífico mexicano. En Hendrickx ME (Ed.) *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans Vol. 5*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. pp. 55-93.
- Lavín MF, Beier E, Badan A (1997) Estructura hidrológica y circulación del golfo de California: escalas global, estacional e interanual. En Lavín MF (Ed.) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Serie Monografías Gofísticas N° 3. Unión Geofísica Mexicana. México. pp. 139-169.
- Levin LA (2003) Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 41: 1-45.
- López-Rocha JA, Arreguín-Sánchez F, Ramírez-Rodríguez M (2006) Stock size estimation of the Mexican crab, *Cancer johngarthi* Carvacho, 1989 on the southwestern Peninsula of Baja California, Mexico. *Crustaceana* 79: 1033-1047.
- Méndez MN (2006) Deep-water polychaetes (Annelida) from the southeastern Gulf of California, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 54: 773-785.
- Parker RH (1964) Zoogeography and ecology of some macro-invertebrates, particularly mollusks, in the Gulf of California and the continental slope off Mexico. *Vidensk. Medd. Dan. Naturhist. Foren.* 126: 1-178.
- Pezzuto PR, Perez JAA, Wahrlich R (2006) Deep-sea shrimps (Decapoda: Aristeidae): New targets of the deep-water trawling fishery in Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* 54: 123-134.
- Rogers AD (2000) The role of the oceanic oxygen minima in generating biodiversity in the deep sea. *Deep-Sea Res. II* 47: 119-148.
- Sánchez-Velasco L, Godínez-Sandoval VM, Shirasago B, Peguero-Icaza M (2004) Informe Técnico 16560. Serie Oceanografía Física. CICESE. México. 12 pp. A1-28.
- Sarda F, D'Onghia G, Politou CY, Company JB, Maiorano P, Kapiris K (2004) Deep-sea distribution, biological and ecological aspects of *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) in the western and central Mediterranean Sea. *Sci. Mar.* 68: 117-127.
- Sbrana M, Viva C, Belcari P (2006) Fishery of the Deep-water rose shrimp *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) (Crustacea: Decapoda) in the Northern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). *Hydrobiologia* 557: 135-144.
- Tallack SML (2007) Escape ring selectivity, by-catch, and discard survivability in the New England fishery for deep-water red crab, *Chaceon quinque-dens*. *ICES J. Mar. Sci.* 64: 1579-1586.
- Torres-Orozco E (1993) Análisis volumétrico de las masas de agua del golfo de California. Tesis. Centro de Investigación Científico y de Educación Superior de Ensenada. México. 80 pp.
- Wicksten MK, Hendrickx ME (2003) An updated checklist of benthic marine and brackish water shrimps (Decapoda: Penaeoidea, Stenopodidea, Caridea) from the Eastern Tropical Pacific. En Hendrickx ME (Ed.) *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans Vol. 2*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología., UNAM. México. pp. 49-76.
- Zamorano P, Hendrickx ME, Toledano Granados A (2006) Distribution and ecology of deep water mollusks from the continental slope, southeastern Gulf of California, Mexico. *Mar. Biol.* 150: 883-892.

IMPACT OF THE MINIMUM OXYGEN ZONE ON THE FISHING GROUNDS ALONG THE MEXICAN PACIFIC

Michel E. Hendrickx and David Serrano

SUMMARY

Dissolved oxygen profiles were obtained in the water column to 1905m depth during three research cruises in the Mexican Pacific. Limits of the oxygen minimum zone (OMZ) were established from the central Gulf of California to Guerrero. Documented records of shrimp (*Dendrobranchiata* y *Caridea*) were compiled for the same region. The OMZ follows a very clear stratification starting at 75-150m to ~700-800m. Values of dissolved oxygen (DO) $\leq 0,5\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ in the central Gulf of California occur between 255 and 1386m, and those values $\leq 0,2\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ between 366 and 1055m. In the southern Gulf of California, these DO values are found between

74 and 1269m and between 89 and 1021m. In the Southwest Pacific, these are found between 53 and 1230m and between 66 and 1054m. On the continental shelf 28 species of *Dendrobranchiata* are found vs only tree species below the OMZ. For the *Caridea*, 18 species are associated with the shelf and 15 are found below the OMZ. None of these species have been reported in both fringes. The OMZ represents a physiologic barrier for vertical migration in the water column and it also restrains fishing activities to the fringes located above or below the OMZ.

IMPACTO DA ZONA DE OXIGÊNIO MÍNIMO NOS CORREDORES PESQUEIROS NO PACÍFICO MEXICANO

Michel E. Hendrickx e David Serrano

RESUMO

Os perfis de oxigênio dissolvido na coluna de água foram medidos até a profundidade de 1905 m durante três cruzeiros no Pacífico mexicano, onde foram estabelecidos os limites da zona de mínimo de oxigênio (ZMO), desde o golfo da Califórnia central até Guerrero. A presença de camarões (*Dendrobranchiata* e *Caridea*) nesta mesma região foi documentada. A ZMO determina uma estratificação muito evidente na coluna de água a partir de 75-150m e até aproximadamente 700-800m. Os valores de oxigênio dissolvido (OD) $\leq 0,5\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ no golfo da Califórnia central foram registrados entre 255 e 1386m, enquanto que os valores $\leq 0,2\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ estiveram entre 366 e 1055m. No sul do golfo

da Califórnia, estes mesmos valores de OD estiveram entre 74 e 1269m e entre 89 e 1021m. No Pacífico sul-oeste, estiveram entre 53 e 1230m e entre 66 e 1054m. Na plataforma continental foram registradas 28 espécies de *Dendrobranchiata*, sendo que somente três espécies estiveram abaixo da ZMO. Entre os *Caridea*, 18 espécies estiveram associadas com a plataforma continental e 15 abaixo da ZMO. Nenhuma destas espécies foi encontrada em ambas as franjas. A ZMO representa uma barreira fisiológica para a migração vertical na coluna de água, ao mesmo tempo em que as atividades pesqueiras devem limitar-se às franjas situadas acima e abaixo da ZMO.