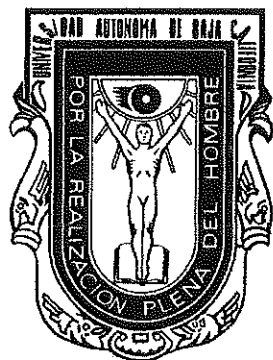
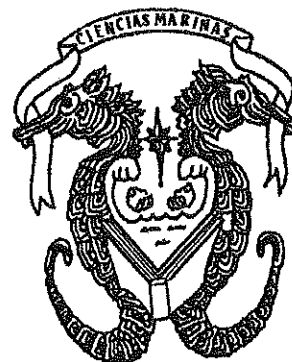


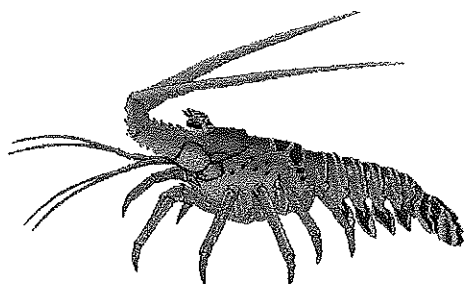
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



Facultad de Ciencias Marinas



“UTILIZACIÓN DEL CONSUMO DE OXÍGENO COMO ESTIMADOR DE LÍMITES LETALES TÉRMICOS EN *Panulirus interruptus* (Randall, 1840)”



TESIS
Que para obtener el Título de
OCEANÓLOGO
Presenta
BERNARDO ROMERO PARRA

Ensenada, B. C., Agosto de 1996.

RESUMEN

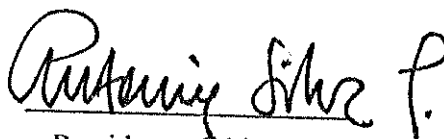
Con el fin de optimizar las condiciones de comercialización de la langosta roja *Panulirus interruptus*, en este trabajo se estimaron los límites letales incipientes térmicos. En el experimento se utilizaron 18 langostas de medida, provenientes del campo pesquero Punta Abre Ojos, B. C. S.; de las cuales 6 se aclimataron a una temperatura de 10 °C, 6 a 20 °C y 6 a 27 °C. En cada temperatura se mantuvo un grupo distinto de organismos. El periodo de aclimatación tuvo una duración de 6 días en cada temperatura. Se realizaron seis experimentos, tres de los cuales fueron para estimar los límites letales incipientes superior (LLIS) y tres para el inferior (LLII) de los organismos acondicionados a las temperaturas propuestas anteriormente. Las variaciones de temperatura, a partir de la temperatura de aclimatación, se efectuaron disminuyendo la temperatura a un grupo de langostas para estimar el LLII; a un grupo distinto se les elevó la temperatura y se estimó el LLIS. Los experimentos se detuvieron cuando los organismos llegaron a la temperatura en el que se presentó el decaimiento del consumo de oxígeno, el cual fue propuesto como indicador del límite letal incipiente. La aclimatación no sólo alteró la tasa metabólica, sino que también afectó el rango de tolerancia termal; se encontró que el LLII fue entre 4 y 5 °C, en los aclimatados a 20 entre 5 y 6 °C y en los aclimatados a 27 entre 6 y 7 °C; el índice de sobrevivencia fue del 100 %. Los LLIS para *P. interruptus* en las temperaturas de aclimatación de 10, 20 y 27 °C fueron entre 32 y 31 °C, 31 y 30 °C y 29 y 28 °C respectivamente; el índice de sobrevivencia fue de 0 %. La capacidad de compensación de las langostas fue virtualmente mayor durante el proceso de incremento de la temperatura respecto al descenso de esta, pero las temperaturas altas no son benéficas para el transporte.

**“UTILIZACIÓN DEL CONSUMO DE OXÍGENO
COMO ESTIMADOR DE LÍMITES LETALES
TÉRMICOS EN *Panulirus interruptus* (Randall, 1840)”**

TESIS QUE PRESENTA

BERNARDO ROMERO PARRA

Aprobada por:



Presidente del jurado
M. C. Antonio Silva Loera



SINODAL
M. C. Conal David True



SINODAL
M. C. Zaúl García Esquivel

DEDICATORIA

A mis Padres:

Lorenzo Romero y Rasa M. Parra
Quienes siempre me alentaron a seguir
adelante, por el sacrificio que
hicieron, gracias por todo lo que antes
me hizo falta agradecerles.

A mis hermanos:

Isaac y Héctor Gracias por
ser tan buenos amigos,
gracias por criticarme

A Claudia:

Que a pesar de la distancia y del
tiempo, siempre estuviste junto a
mi, gracias por todo tu apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Es imposible agradecer a todas las personas que de manera directa o indirecta colaboraron en la realización de éste trabajo, si en el intento omito alguno, espero me disculpe.

Agradezco a mi director de tesis M. C. Antonio Silva Loera por sugerir el trabajo, por compartir parte de su conocimiento, por el tiempo invertido en la elaboración y corrección del mismo.

A mis sinodales M. C. Conal David True y M. C. Zaúl García Esquivel por el espacio que me hicieron en sus saturadas agendas al revisar éste trabajo, gracias por sus asesorías estadísticas y atinadas sugerencias.

Muy especialmente a Gabriela Batalla, quien me acompañó en las largas horas de trabajo, sobre todo por las desveladas y haber sacrificado parte de sus vacaciones.

A Daniel Ortiz por invitarme a participar en sus experimentos que fueron muy parecidos a los míos y a sus orientaciones en el uso del programa Statística.

A la familia López-Aráiza Zárate haberme brindado su amistad y durante estos años.

A Natalie Rodríguez, Aarón Rochín, Mauricio, Flores, a Erika Castañón que aunque no está ahora siempre fue una buena amiga, a la familia Monterrubio Carcaño, Angel Salas, a Jorge Barrera por la máquina para imprimir, a todos los "Corchos", gracias por los buenos ratos y por haberme aguantado durante tanto tiempo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	4
2. OBJETIVOS	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Acondicionamiento	9
3.2. Determinación de la tasa metabólica	10
3.3. Estimación de los límites letales incipientes (LLI)	13
4. RESULTADOS	
4.1. Tasa metabólica (QO_2)	15
4.2. Q_{10}	28
4.3. Estimación de los límites letales incipientes (LLI)	29
5. DISCUSIONES	
5.1. Tasa metabólica (QO_2)	32
5.2. Q_{10}	38
5.3. Límites letales incipientes (LLI)	42
6. CONCLUSIONES	45
7. BIBLIOGRAFÍA	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Cámara de control respiratorio con electrodo	11
Figura 2.	Cuba sobre plancha de agitación	11
Figura 3.	Valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g/h) en función variación térmica, de la langosta espinosa <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 10 °C. Las barras verticales corresponden a la desviación estándar.	16
Figura 4.	Valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g/h) en función de la variación térmica, de la langosta espinosa <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 20 °C. Las barras verticales corresponden a la desviación estándar.	16
Figura 5.	Valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g/h) en función de la variación térmica, de la langosta espinosa <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 27 °C. Las barras verticales corresponden a la desviación estándar.	17
Figura 6.	Ajuste exponencial de los valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g / h) de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 10 °C. Respuesta ante la disminución de la temperatura de 10 a 4 °C.	20
Figura 7.	Ajuste exponencial de los valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g / h) de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 20 °C. Respuesta ante la disminución de la temperatura de 20 a 5 °C.	20
Figura 8.	Ajuste exponencial de los valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g / h) de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 20 °C. Respuesta ante la disminución de la temperatura de 27 a 6 °C.	21
Figura 9.	Ajuste exponencial de los valores promedio de la QO_2 (ml O_2 /g / h) de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 20 °C. Respuesta ante el aumento de la temperatura de 10 a 30 °C.	23

Figura 10.	Ajuste exponencial de los valores promedio de la QO_2 23 (ml O_2 /g / h) de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 20 °C. Respuesta ante el aumento de la temperatura de 20 a 30 °C.
Figura 11.	Ajuste exponencial de los valores promedio de la QO_2 24 (ml O_2 /g / h) de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 20 °C. Respuesta ante el aumento de la temperatura de 27 a 34 °C.
Figura 12	Modelos lineales de la tasa metabólica de <i>Panulirus interruptus</i> 26 A langostas acondicionadas a 10 y 20 °C en temperatura descendente B langostas acondicionadas a 10 y 20 °C en temperatura ascendente C langostas acondicionadas a 20 °C (a) temperatura descendente (b) temperatura ascendente A langostas acondicionadas a 10 °C (a) temperatura descendente (b) temperatura ascendente (Datos observados * 20 °C temperatura descendente, + 10 °c temperatura descendente, • 20 °C temperatura ascendente, ° 10 °C temperatura ascendente).
Figura 13.	Límites letales incipientes superior (LLIS) e inferior (LLII) 31 de la langosta roja <i>Panulirus interruptus</i> en tres diferentes temperaturas de aclimatación (10, 20 y 27 °C).

LISTA DE TABLAS

Tabla I.	Cuadro de ANDEVA de dos vías de los efectos 1 (variación térmica) y 2 (temperatura de aclimatación) con 2 y 26 grados de libertad respectivamente.	18
Tabla II.	Análisis de covarianza de las langostas acondicionadas a 10 y 20 °C (tratamiento 1 y 2 respectivamente) en temperatura descendente, con $p=0.01$.	27
Tabla III.	Análisis de covarianza de las langostas acondicionadas a 10 y 20 °C (tratamiento 1 y 2 respectivamente) en temperatura ascendente, con $p=0.01$.	27
Tabla IV.	Análisis de covarianza de las langostas acondicionadas a 10 °C en temperatura descendente y 10 °C en temperatura ascendente (tratamiento 1 y 2 respectivamente), con $p=0.01$.	27
Tabla V.	Análisis de covarianza de las langostas acondicionadas a 20 °C en temperatura descendente y 20 °C en temperatura ascendente (tratamiento 1 y 2 respectivamente), con $p=0.01$.	28
Tabla VI.	Cálculo del Q_{10} de <i>Panulirus interruptus</i> acondicionadas a 10, 20 y 27 °C, a partir de la temperatura de acondicionamiento en intervalos de 5 y 10 °C durante la estimación de los LLII y LLIS.	29

1. INTRODUCCIÓN

Las langostas o bogavantes como son conocidas en Europa, son crustáceos pertenecientes al orden decápoda por poseer 5 pares de apéndices ambulacrales y comprenden 4 familias: Homaridae, Nephropsidae, Palinuridae y Scyllaridae; se les encuentra en aguas mexicanas con excepción de la familia Homaridae que sólo posee un género (*Homarus*). En el Golfo de México se le encuentra a grandes profundidades a las de la familia Nephropsidae, las otras dos, a profundidades más someras, al igual que en el Pacífico. Es más común que se aplique el nombre de langosta a los organismos de la familia Palinuridae generalmente conocidas como langostas espinosas, llamada así por las numerosas espinas que presentan a lo largo del caparazón y en los segmentos basales de la segunda antena, también se refieren a ella como langosta de las rocas (Coob y Phillips, 1980), en México se les conoce por langosta roja y son las que principalmente se explotan a escala comercial en el país.

De esta familia existen siete especies pertenecientes al género *Panulirus* (Gray, 1947), distribuyéndose en aguas tropicales y subtropicales. A cuatro de ellas las encontramos en el Pacífico (*Panulirus interruptus*, *P. gracilis*, *P. inflatus* y *P. penicillatus*), la restante en aguas del Golfo de México y el Caribe (*P. argus*). Para esta misma zona se reportan algunos especímenes de *P. laeviscauda* y *P. guttatus*, pero su presencia no es muy común en estas áreas (Solís, 1963).

P. interruptus se distribuye desde San Luis Obispo, California, EUA hasta Bahía Magdalena, Baja California, México. Ruiz-Dura (1985) menciona que también su distribución abarca todo el Pacífico hasta el Golfo de Tehuantepec. Existen datos de los pescadores en el sentido de que la especie se encuentra dentro del Golfo de California; así como en el litoral de la península, hacia la porción norte (Johnson, 1971).

El color de *P. interruptus* es muy variable con todos los tonos del café rojizo, desde naranja o amarillentos hasta rojo ladrillo. Habitan en fondos, a profundidades muy variables, en grietas, hoquedades y todo tipo de accidentes rocosos que propicien un refugio. Migran hacia la costa después de periodos de tormenta o invierno, y hacia profundidades durante las calmas o temperaturas altas. Presentan migraciones horizontales y verticales. Se ha observado que su desplazamiento a lo largo de las costas obedece a la búsqueda de mejor alimento, mientras que sus desplazamientos verticales a la época de reproducción. Estos organismos gregarios se encuentran en invierno hasta 35 brazas y en verano a 8 brazas y a veces menos (Solís, 1963).

De la producción pesquera nacional de crustáceos, la de *P. interruptus* es superada solamente por el camarón en las costas del Pacífico y la jaiba en el Golfo de México. De esta producción, las langostas del Pacífico contribuyeron, a nivel estatal en el periodo 1992-93 con 182.8 ton., y a nivel nacional con 2029 ton. de peso vivo y 1573 peso desembarcado (PESCA, 1993). Ésta pesquería es muy bien cotizada, cuyo principal mercado con potencial de pago es el internacional lo cual constituye una actividad muy importante, sobre todo en la

parte Noroeste de nuestro país, en donde *Panulirus interruptus* es muy abundante, ya que en esta participa una parte sustancial de la población que se encuentran asentadas a lo largo de la costa occidental de Baja California, tanto en la captura, construcción de embarcaciones y trampas, y a su procesamiento (Álvarez-Torres, 1977). En otros estados de la República la pesquería de la langosta ha sido subexplotada y esta en vías de desarrollo, y representa un recurso con un potencial bastante valioso.

El recurso langostero está reservada, por ley, a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera. Las Cooperativas restringen su actividad en las zonas que puedan ser motivo de extracción sin dañar la biomasa del recurso y su potencialidad económica como fuente de ingresos.

La comercialización de la langosta en el mercado nacional e internacional se realiza de las siguientes formas: entera cocida fresca; entera cruda fresca; colas cocidas frescas; colas crudas frescas; carne o pulpa y vivas en estanques para seleccionar los ejemplares al gusto del consumidor. La forma que tiene más aceptación y mayor precio es la langosta viva, en un restaurante alcanza un precio superior a los 30 dls. por ejemplar; por el contrario, si llegan muertas se deprecian al menos un 50 %. La forma más común de transportarlas es enfriándolas y después se colocan los organismos en seco en contenedores con aislamiento térmico, posteriormente se transportan en camiones provistos con sistema frigorífico. Durante ésta etapa y la posterior, que consiste en colocar los organismos en los

correspondientes acuarios, es donde surge el problema, ya que la mortalidad que se tiene por un manejo inadecuado, por desconocer la fisiología de la langosta puede ser alta.

1.1 ANTECEDENTES

Prosser y Brown (1961) mencionan que las relaciones térmicas de los animales con el medio, guardan relación íntima con el equilibrio térmico del medio, éstas relaciones, son compensadas a corto tiempo mediante una adaptación térmica o compensación. La aclimatación es el mecanismo debido al cual los animales modifican sus procesos metabólicos para compensar los cambios estacionales de la temperatura. Estos mecanismos se pueden inducir experimentalmente. El término "poiquilotermo" (del griego *poikilos* = cambiante) se refiere al hecho que la temperatura corporal de éstos animales, fluctúa al igual que la del medio que la rodea, tal como sucede con la mayoría de los invertebrados acuáticos (Schmidt, 1975). La langosta es un animal poiquilotermo, por lo tanto las variaciones de temperatura influyen de un modo directo sobre su metabolismo acelerándolo o retardándolo. Sin embargo los organismos pueden soportar cierta variación térmica; todos los organismos toleran ciertos rangos de temperatura específicos, cuando éstos son rebasados el animal se daña y se denominan límites letales de temperatura. Este concepto fisiológico es definido como la temperatura que está por arriba o por a bajo del punto en que la supervivencia es definida (Prosser y Brown, 1961). Es decir, que si al organismo se le somete por abajo o por arriba de la temperatura en la que sus funciones suceden normalmente, éste empieza a manifestar cambios fisiológicos, los cuales pueden ser visibles o no. Se define que el límite

incipiente no es el punto en el cual el organismo esté completamente muerto, sino que es el punto en el cual las funciones vitales de un organismo inician su desorganización, finalmente éste se manifiesta de diversas maneras, tales como la pérdida del equilibrio, nado errático, secreciones de mucosa o de algún otro material, cambio de pigmentación (generalmente pérdida), etc. (Schmidt, 1975). Cuando se incrementa la temperatura del medio, los animales poiquilotermos aumentan la suya, al llegar al límite letal superior, se empiezan a desnaturalizar las proteínas que conforman su masa corporal, se inactivan las enzimas y muchos de sus procesos no se llevan a cabo; cuando se sobre pasa el límite letal inferior los procesos enzimáticos se inhiben, los líquidos corporales y celulares se cristalizan y se pierden muchas funciones celulares de intercambio iónico (Hochchka y Somero, 1978).

El metabolismo es cuantificable en términos de oxígeno consumido, calor producido o dióxido de carbono liberado (Prosser y Brown, 1961). El oxígeno consumido ha sido utilizado por muchos investigadores como un indicador del estado fisiológico o de condición de los crustáceos (Hollet, 1943; Lowdes and Panikkar, 1941; Dunahue, 1953). También ha sido empleado, en particular como medida del estrés en langostas expuestas a contaminantes y también a condiciones de estrés de factores del ambiente como temperatura, salinidad y cantidad de oxígeno disuelto (Calabrese *et al.*, 1956).

Los estudios sobre fisiología de la langosta roja no son abundantes, y menos acerca de los límites térmicos incipientes. Sobre éste tema, muchos de los aspectos metodológicos para su determinación se han hecho en estudios de peces de agua dulce (Fry, 1942).

Hathway (1927) realizó experimentos para cuantificar los cambios producidos por aclimatación en la tolerancia a las temperaturas altas en peces y anfibios. En organismos marinos se cuenta con los trabajos de Huntsman y Sparks (1924), en los que investigaron los factores limitantes, y la resistencia relativa a las temperaturas altas. Posteriormente, Fry (1947) deriva otros trabajos a partir de su experimento anterior para aplicarlos a los invertebrados, él establece en éstos trabajos las bases para explicar las relaciones e interacciones de las influencias ambientales en un organismo. Su trabajo se basaba en estresar al organismo a una previa experiencia o aclimatación de temperatura y salinidad para modificar su fisiología, y ésta provocaba una pronunciada respuesta a los factores ambientales.

En langostas se ha trabajado más con las del género *Homarus*, en específico con las especies *H. vulgaris* y *H. americanus*; tales como los estudios de Wood (1885), Hollet (1943); Lowndes y Panikkar (1941); Dunahue (1953), McLeese (1954) en donde se midieron las respuestas a las alteraciones de su medio ambiente. Los trabajos preliminares sobre límites letales de temperatura, salinidad y oxígeno en langostas empiezan con la publicación del trabajo de Chaisson (1931). Posteriormente Chaisson (1932), realizó trabajos relacionados con la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto. Otras especies en las que se ha experimentado sobre éste aspecto son *Panulirus polyphagus* (Harbst) (Kasim, 1986), juveniles de *P. argus* (Latreille) y *P. laevecuda* (Latr.) por Mota y Correia (1971).

En éste trabajo se pretende establecer en que grado afecta la variación aguda de la temperatura sobre el metabolismo de *P. interruptus*, así como el uso del consumo del oxígeno como una herramienta alternativa para estimar los límites letales térmicos después de un periodo de acondicionamiento en el grupo de crustáceos, en particular en *P. interruptus* con el fin de mejorar las condiciones de comercialización.

2. OBJETIVOS

- a) Establecer el efecto de la variación aguda de la temperatura sobre el metabolismo de la langosta *Panulirus interruptus* a condicionadas a temperaturas diferentes
- b) Utilizar el consumo de oxígeno como estimador de límites letales térmicos, en *Panulirus interruptus* acondicionados a temperaturas diferentes.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ACONDICIONAMIENTO

El experimento se llevó a cabo con 18 langostas (*Panulirus interruptus*), capturadas en el campo pesquero Punta Abre Ojos, B. C. S. Se hicieron 3 grupos de 6 organismos cada uno, los cuales se acondicionaron por 6 días a temperaturas distintas: 10 20 y 27 °C. Esto se realizó en estanques de fibra de vidrio de 1 x 1 y 1.5 m de profundidad y un volumen igual a 1 m³. Los organismos utilizados fueron de ambos sexos, el peso corporal varió entre 338 y 673 g (68.6 y 90.6 mm de longitud cefalotorácica). Fueron sanos, ya que no presentaron daños a simple vista y se tuvo el cuidado de que no estuvieran recién mudados o fueran hembras ovígeras.

La temperatura de aclimatación y experimentación se controló con un intercambiador de calor (Acuanetics modelo AHP - 4) con una precisión de ± 0.5 °C/día. Durante el periodo de aclimatación se realizó limpieza diaria al estanque, los primeros cuatro días se aplicó un tratamiento profiláctico preventivo con sulfametazina 5 mg/100 l, alimentación los primeros dos días, los siguientes fueron de inanición para evitar la influencia del alimento sobre el metabolismo. En cada experimento se utilizaron organismos distintos, para que los organismos no manifestaran alteraciones por el efecto acumulable de los experimentos previos.

3.2. DETERMINACIÓN DE LA TASA METABÓLICA

En los experimentos se utilizaron tres cámaras de control respiratorio, provistas de una tapa que estaba perforada para la introducción de un electrodo, el cual estaba conectado a un multianalizador (Fig. 1). La calibración del electrodo se hizo mediante la utilización de tablas tras una lectura obtenida al colocarse el electrodo en un ambiente húmedo.

Estas cámaras de control también tenían un drenaje de tubería PVC de 1.5 pulgadas de diámetro que su momento permitió tener un flujo constante durante el intercambio de agua a razón de 50 ml/ min, el cual se hizo al término de cada medición. Estas cámaras estuvieron colocadas dentro de una cuba manteniendo la temperatura deseada por el reciclamiento de agua a través del intercambiador de calor. La cuba estuvo aislada con unicel para evitar la pérdida de calor. La cuba a su vez se colocó sobre tres planchas que quedaban exactamente sobre su correspondiente cámara de control respiratorio (Fig. 2). En cada una de estas se puso una rejilla, para mantener en posición adecuada un magneto de 2 pulgadas, el cual se usó con el fin de homogenizar el oxígeno disuelto en el interior de la cámara de control respiratorio. La variación de temperatura se hizo a razón de 1 °C/h.

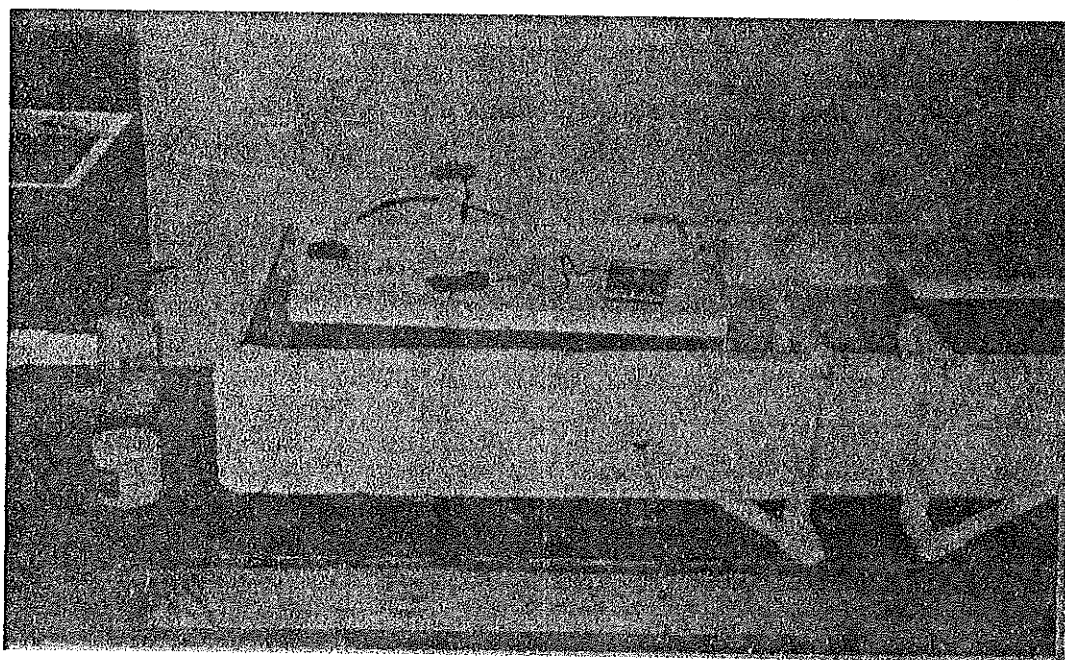


Figura 1. Cámara de control respiratorio con electrodo

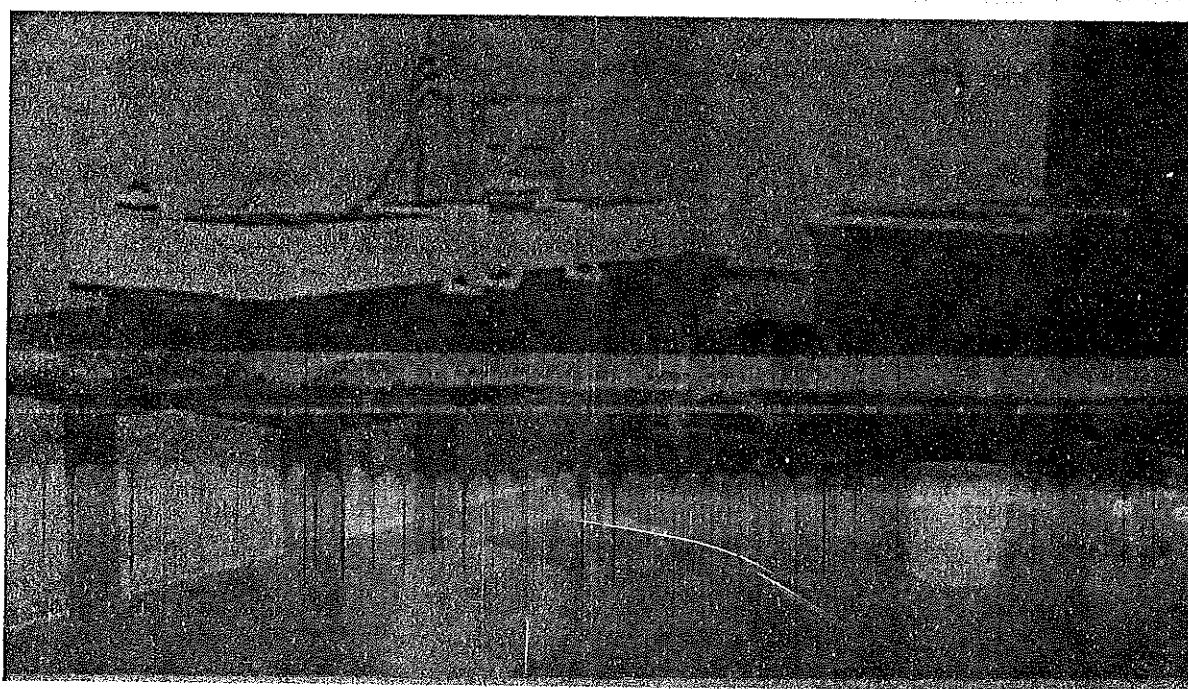


figura 2. Cuba sobre planchas de agitación.

En la cámara de control respiratorio se colocó la langosta y se dejó por un periodo de una hora para que se acostumbrara, en tanto se mantuvo con el flujo abierto durante este tiempo. Al término de la hora se cerró el flujo, se selló la tapa con vaselina y se colocó el electrodo en su lugar, procediendo a tomar la primer medición de oxígeno disuelto empleando el electrodo. Posteriormente se realizaron tres mediciones más cada 10 minutos, al término de la tercer lectura se varió la temperatura en 1 °C, y se abrió nuevamente el flujo para la renovación de agua y oxígeno disuelto; se siguieron realizando estas mediciones por hora. El oxígeno consumido se calculó como la diferencia entre el valor inicial y el final de oxígeno disuelto en un periodo dado. El metabolismo se cuantificó mediante el consumo de oxígeno, medido individualmente en cada condición experimental.

Todos los experimentos se realizaron por la mañana e iniciaron a la 08:00 horas; partiendo de la temperatura deseada (esta fue igual a la de los organismos acondicionados que se utilizaron durante el experimento) tanto en las cámaras como dentro de la cuba.

Una vez terminado el experimento se tomaron los siguientes datos: peso húmedo, sexo, longitud del cefalotórax y volumen desplazado, para los cálculos posteriores de consumo de oxígeno ($\text{ml O}_2/\text{g}/\text{h}$) de peso húmedo, referido como QO_2 el cual fue calculado según Hoar y Cleveland (1978) y Pora (1955). Para el pesado se utilizó una balanza digital (Ohaus), en la medición del cefalotórax un vernier metálico. La determinación del volumen total se hizo mediante el llenado de un vaso de precipitados de 4 l lleno hasta el borde, en el cual se introdujo lentamente el organismo, el agua derramada se recuperó y se midió en una probeta graduada de 1 l.

Con los valores de la QO_2 se generaron gráficas del modelo de regresión no lineal $Y=ae^{bx}$ donde Y es la QO_2 , a y b son las constantes obtenidas a partir del ajuste exponencial, e es la constante de Ecker y x la temperatura. Este ajuste se hizo para poder estimar el valor de Q_{10} gráficamente y se calculó este para todos los experimentos a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = \left(\frac{k_1}{k_2} \right)^{10 / t_1 - t_2}$$

donde k_1 y k_2 son las tasa metabólicas a las temperaturas t_1 (inicial) y t_2 (final) respectivamente (Prosser y Brown, 1961).

3.3. ESTIMACIÓN DE LOS LÍMITES LETALES INCIPIENTES

Se realizaron seis experimentos, tres de los cuales fueron para estimar los límites letales incipientes superiores (LLIS) y tres para los inferiores (LLII) de los organismos acondicionados a las temperaturas propuestas anteriormente.

Para la estimación del LLII se disminuyó la temperatura a partir de la temperatura de acondicionamiento a razón de 1°C/h ; a un grupo distinto se les elevó la temperatura para la estimación de los LLIS, con el fin de que el agua no disminuyera la cantidad de oxígeno disuelto se colocaron se colocaron aireadores al término de cada medición durante el cambio de agua de las cámaras de control respiratorio. Debido a que no se pudieron establecer señales visuales que indicaran cuando los organismos llegaban al límite letal, los experimentos se detuvieron cuando los

organismos llegaron a la temperatura en la cual se presentó el decaimiento del consumo de oxígeno el cual se consideró como indicador del límite letal incipiente.

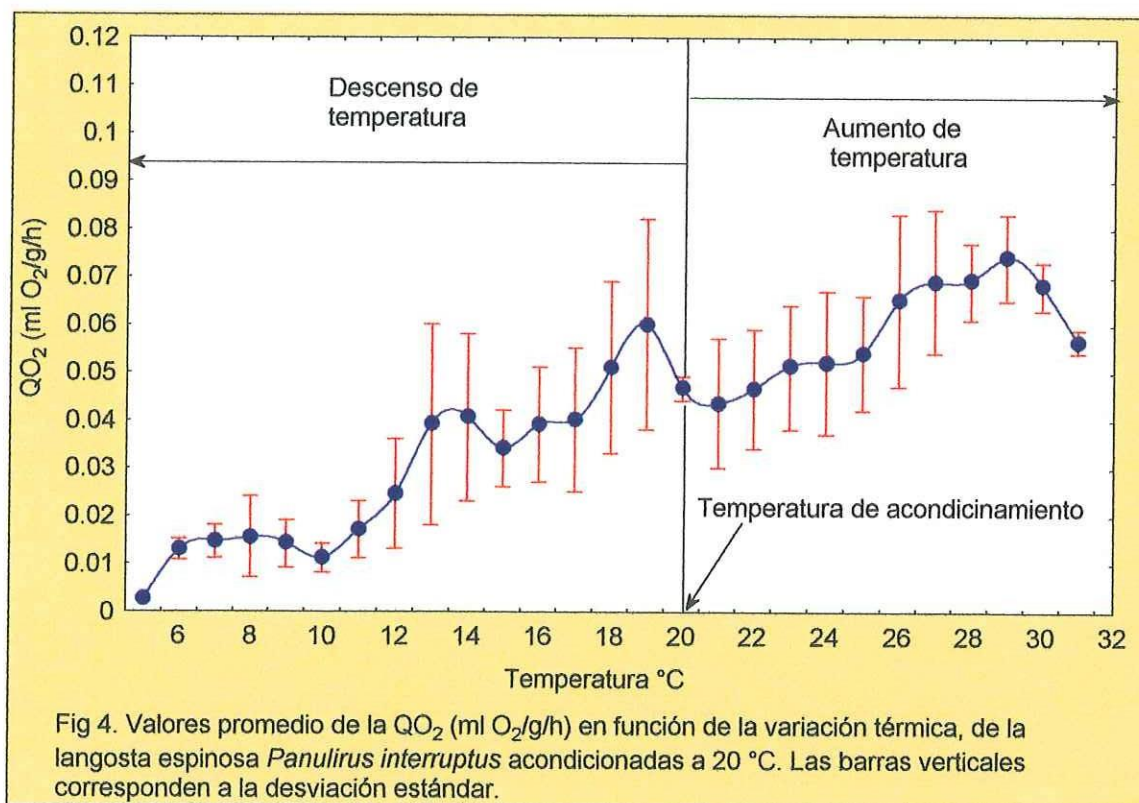
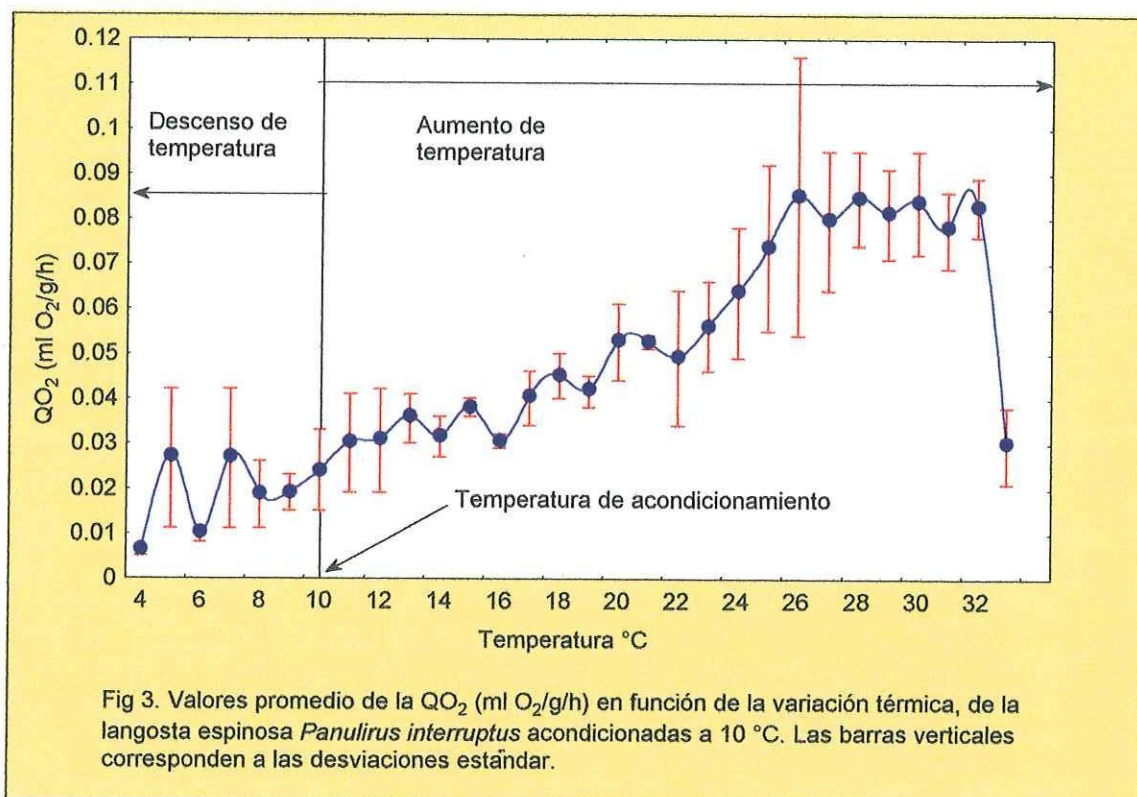
A los datos de QO_2 se les aplicó la función logaritmo natural para pasarlos a una forma lineal y posteriormente hacer un análisis de covarianza (ANCOVA) de acuerdo con la metodología descrita por Snedecor y Cochran (1967) para la comparación de dos pendientes y elevaciones. La interacción del efecto de la temperatura y el proceso de aclimatación se realizaron mediante un análisis de varianza de dos vías (ANDEVA) y los análisis posteriores de comparaciones múltiples de Tukey (1935). Los ajustes de los modelos de regresión no lineal y el análisis estadístico se realizó con el programa "Statistica" de STAT SOFT 1993 (ver 4.2).

4. RESULTADOS

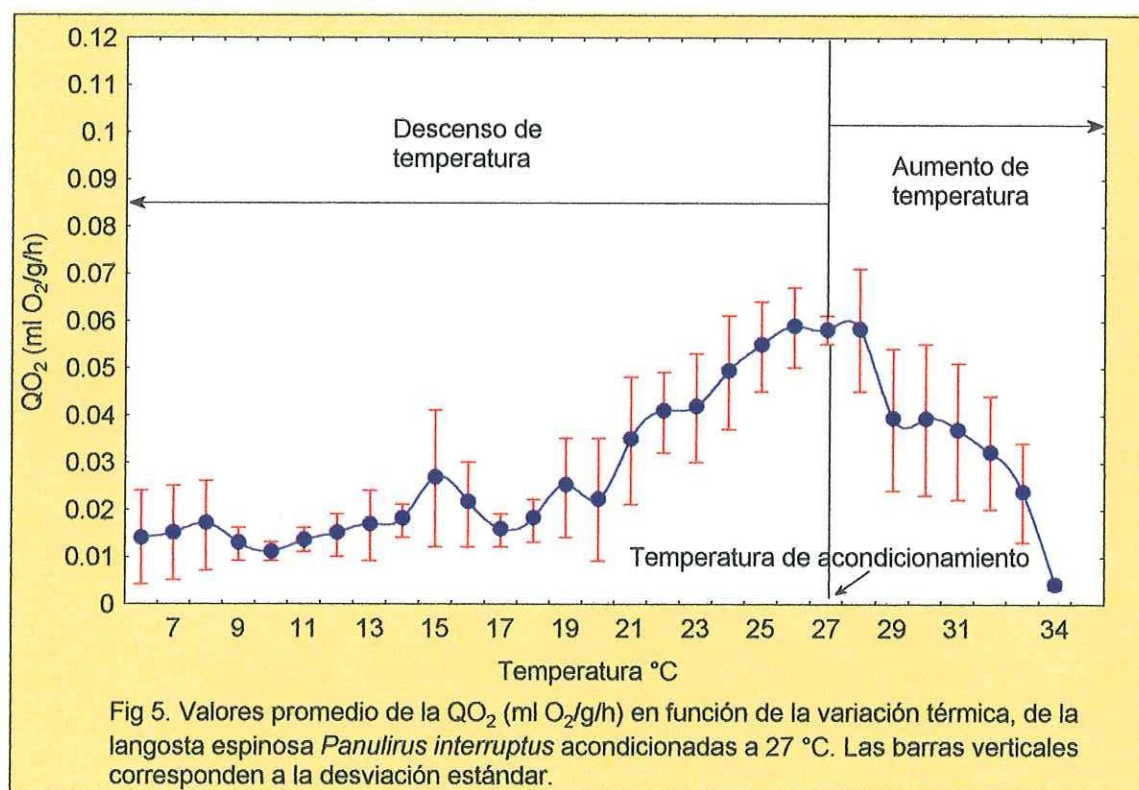
4.1 TASA METABÓLICA (QO_2)

En la figura 3 se muestra la variación de la tasa metabólica de *Panulirus interruptus* al aumentar y disminuir la temperatura, a partir de la temperatura de acondicionamiento (10 °C). La tasa metabólica en el intervalo de los 4 a 26 °C fue dependiente de la temperatura, pero entre 26 y 32 °C no se observó variación en el valor promedio, se mantuvo alrededor de los 0.085 ml O_2 /g/h. Posteriormente a los 32 °C se presentó una respuesta anómala al registrarse valores promedio de 0.03 ml O_2 /g/h. Un aspecto interesante fue que las desviaciones estandar fueron pequeñas entre 13 y 21 °C, en ambos extremos estas fueron mucho mayores; sobre el último valor a los 34 °C donde se obtuvo un valor mínimo.

En la figura 4 se presenta el resultado de la variación de la tasa metabólica de *P. interruptus* después de haber estado acondicionada a 20 °C. La correspondencia entre la tasa metabólica y la temperatura también se presentó en éste experimento. Las desviaciones estandar se observaron tanto en los organismos que se les aumentó la temperatura como a los que se les disminuyó. El incremento de la tasa metabólica fue de 0.018 ml O_2 /g/h a 6 °C hasta los 0.074 ml O_2 /g/h a los 29 °C. A los 32 °C (última medición), el valor de la tasa metabólica disminuyó a casi 0.068 ml O_2 /g/h y notablemente el valor de la desviación estandar, esto último también se presentó a los 6 y 5 °C.



La figura 5 contiene los resultados de la tasa metabólica de *P. interruptus* al aumentar y disminuir la temperatura habiendo estado acondicionadas a 27 °C. Al disminuir la temperatura a partir de los 27 °C, de nuevo se obtuvo una dependencia de la tasa metabólica respecto a la temperatura; primero (entre 18 y 27 °C) pronunciado y después (entre 18 y 7 °C) muy leve. La temperatura mínima alcanzada fue de 6 °C de donde resalta que la desviación estandar fue muy pequeña. Al aumentar la temperatura (de 27 a 34 °C) la respuesta fue anómala, hubo disminución del promedio de la tasa metabólica, desde 0.0589 ml O₂/g/h hasta 0.005 ml O₂/g/h, en donde de nuevo el valor de la desviación estandar se mostró muy pequeño respecto a las mediciones anteriores.



En la Tabla I se muestran los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías utilizado para comparar el efecto 1 (temperatura) y 2 (temperatura de acondicionamiento) y el cual demuestra que en ambos efectos por separado si existe diferencias significativa, pero en conjunto no, con un $\alpha = 0.95$.

TABLA I. Cuadro de ANDEVA de dos vías para los efectos 1 (variación térmica) y 2 (temperatura de acondicionamiento) con 2 y 26 grados de libertad respectivamente.

Efecto	df Efecto	MS Efecto	df error	MS error	F	significancia
1	2	0.004884	144	0.000314	15.53875	*0.000001
2	26	0.001917	144	0.000314	6.09912	*0.000000
1 y 2	52	0.000266	144	0.000314	0.84585	0.753015

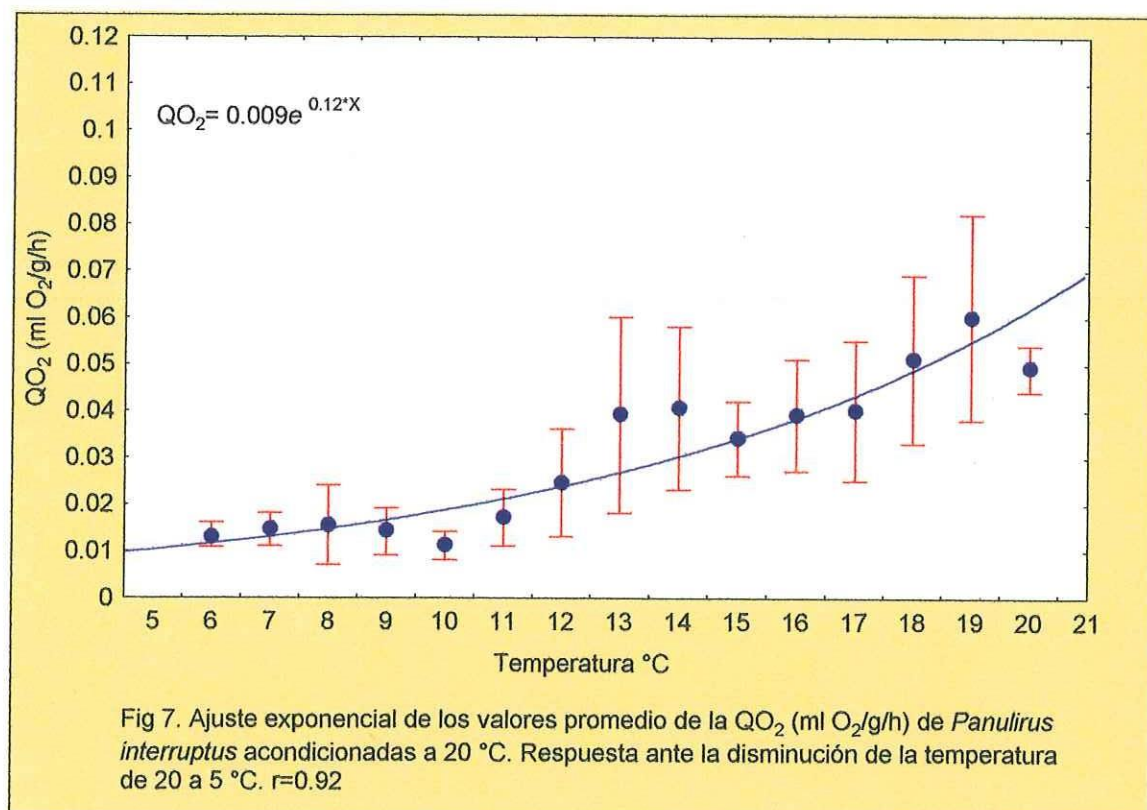
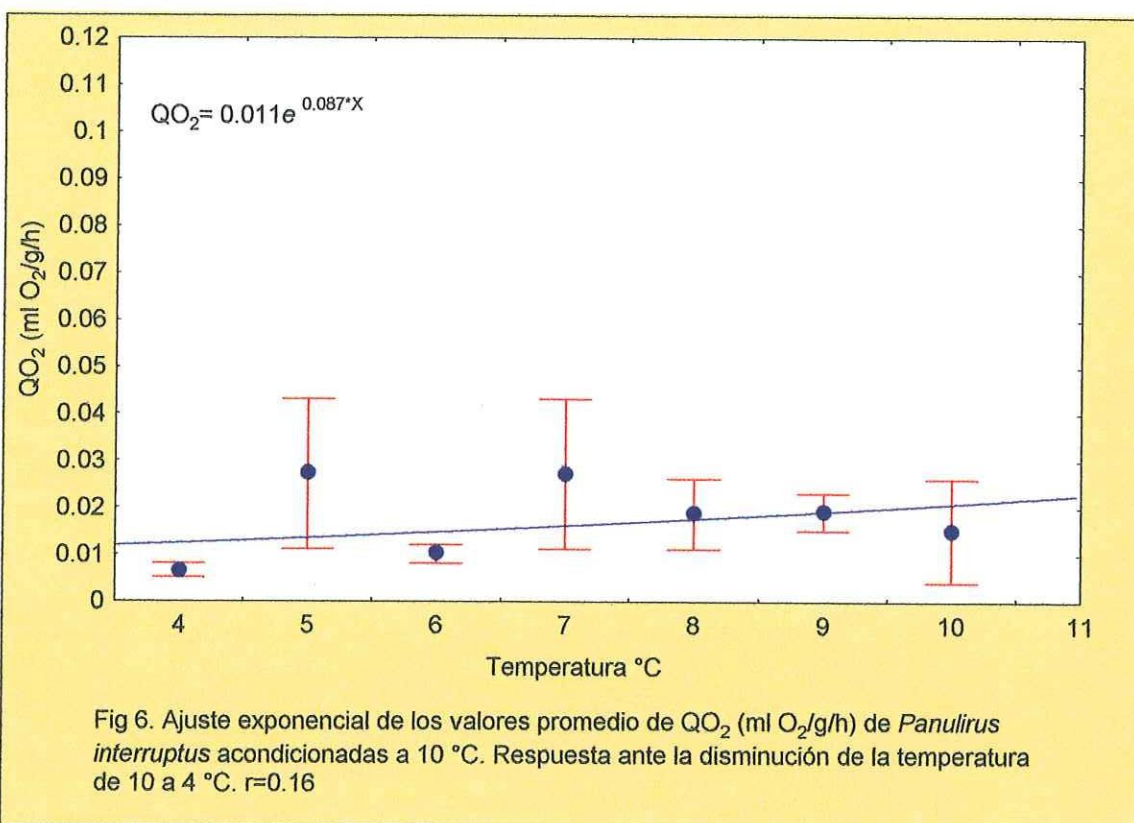
* Diferencias significativas.

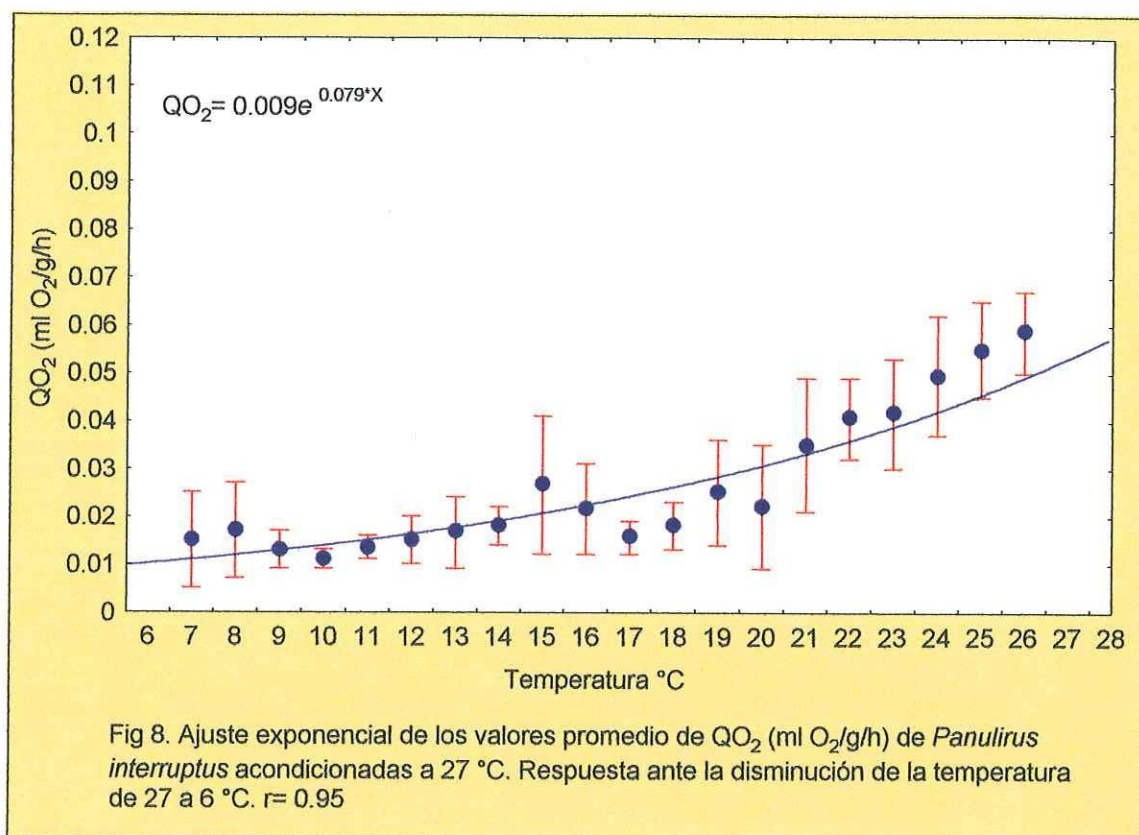
Debido a que las diferencias son significativas se procedió a hacer el análisis de Tukey univariable. De éste análisis se obtuvo que sólo existió diferencia entre la temperatura de 10 °C y las 4 últimas mediciones en las langostas acondicionadas a 10 °C. En las otras dos condiciones hubo diferencia significativa sólo entre las primeras y últimas mediciones.

En el experimento de disminución de temperatura (figs. 3, 4 y 5) se realizó un ajuste exponencial para los datos promedio de la tasa metabólica. En los organismos acondicionados a 10 °C, se adecuaron al modelo $Y = ae^{bx}$, y se presenta el ajuste en la figura 6. El modelo quedó definido por $QO_2 = 0.011e^{0.087^{\circ}T}$ ($r^2 = 0.16$) en donde Y= tasa metabólica (QO_2) y T la temperatura experimental. El valor final en todos los experimentos no se incluye por estimarse como una respuesta no normal causada por estrés térmico.

En la figura 7 se presentan los resultados de la tasa metabólica del experimento al disminuir la temperatura en las langostas aclimatadas a 20 °C mismos que se adecuaron al modelo $Y = ae^{bx}$ el cual quedo referido por $QO_2 = 0.009e^{0.12^{\circ}T}$ con $r^2 = 0.92$.

En las langostas aclimatadas a 27 °C, al ser sometidas la disminución de la temperatura, se presentan los resultados en la figura 8; se encontró que el modelo también se adecuó a los anteriores y fue $QO_2 = 0.09e^{0.079^{\circ}T}$ ($r^2 = 0.92$). El valor inicial, así como el final del experimento no se incluyen, por estimarse como una respuesta irregular.

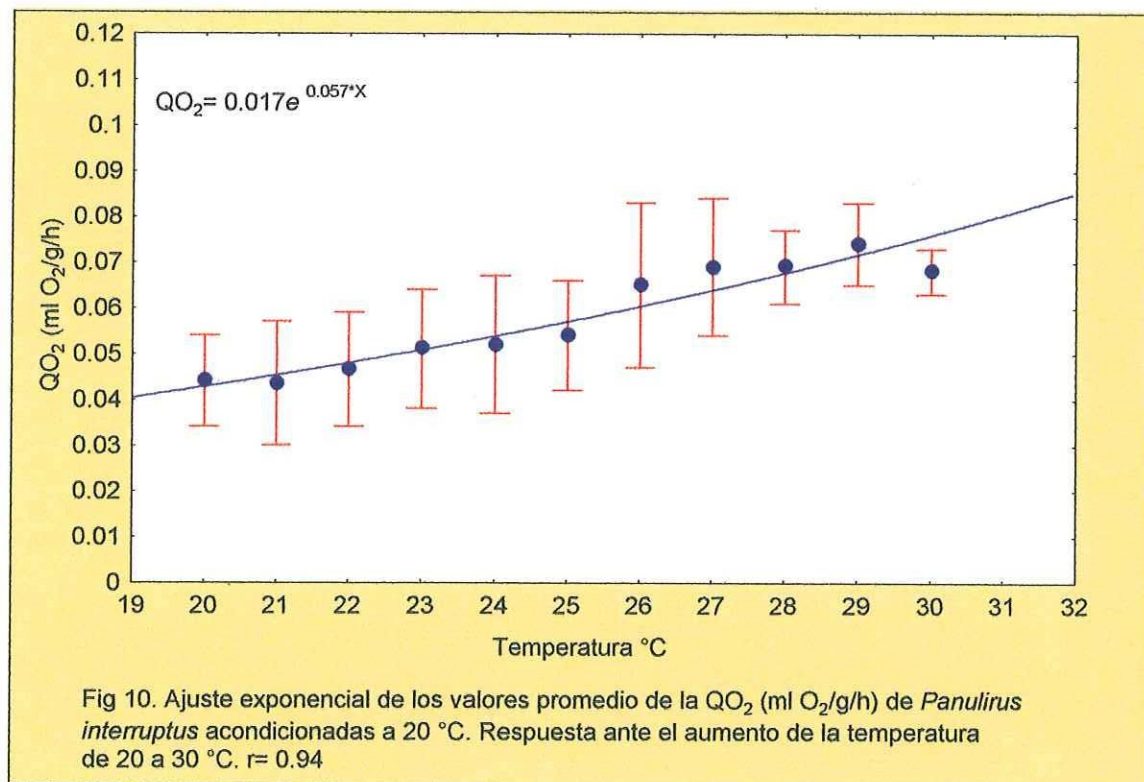
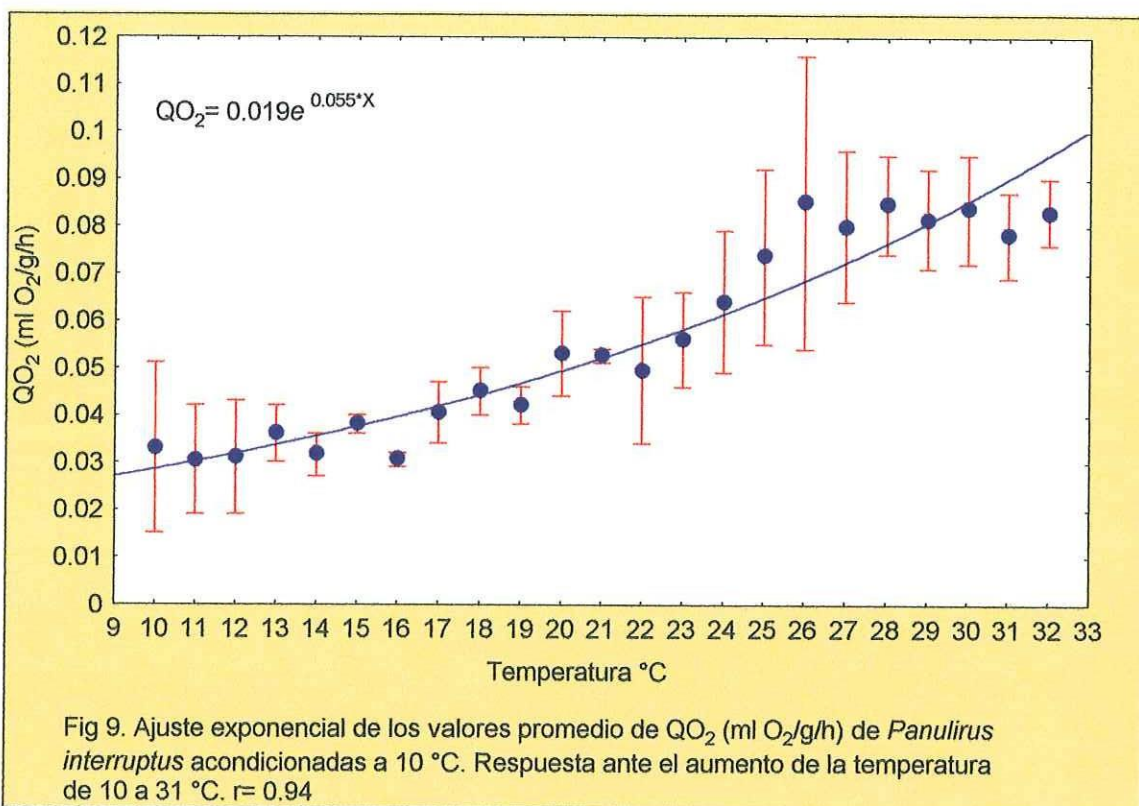


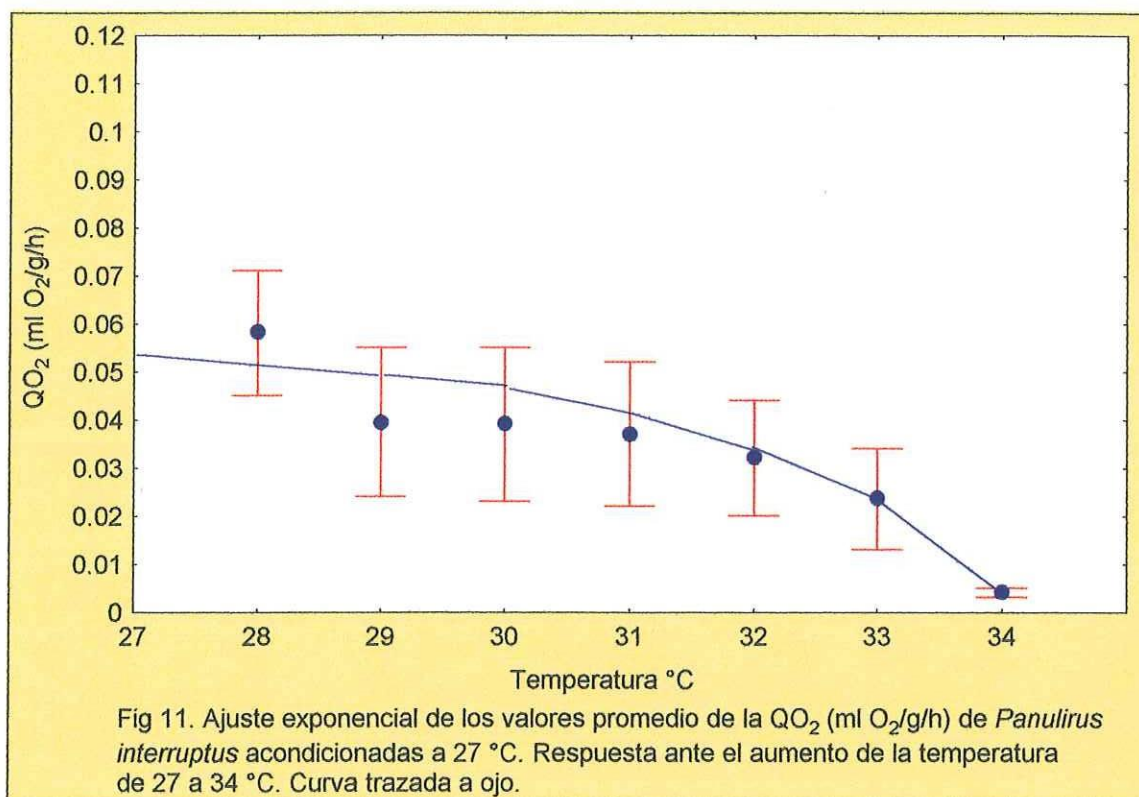


En el experimento de incremento de temperatura (figs 3, 4 y 5) se realizó un ajuste exponencial para los datos promedio de la tasa metabólica, en *P. interruptus* acondicionadas a 10 °C, también se adecuaron al modelo $Y = ae^{bx}$, y se presentan en la figura 9. El modelo quedó definido por $QO_2 = 0.019e^{0.055^{\circ}T}$ ($r^2 = 0.94$). El valor final del experimento no se incluye por estimarse como una respuesta irregular.

En la figura 10 se presentan los resultados de la tasa metabólica del experimento al aumentar la temperatura en *P. interruptus* aclimatadas a 20 °C, mismos que se adecuaron al modelo descrito el cual quedó referido por $QO_2 = 0.017e^{0.57^{\circ}T}$ ($r^2 = 0.94$). El valor final del experimento no se incluye por estimarse como una respuesta irregular.

En *P. interruptus* aclimatadas a 27 °C, al ser sometidas al aumento de la temperatura, se encontró que los resultados no tuvieron un crecimiento exponencial positivo, y por tanto no se adecuaron al modelo $Y = ae^{bx}$, los resultados se presentan en la figura 11.





La figura 12 muestra las rectas de las langostas acondicionadas a 10 y 20 °C, tanto en temperatura ascendente como en descendente. Para obtener estas, se hizo una transformación mediante la función logaritmo natural a los datos promedio de la tasa metabólica ajustados exponencialmente de las figuras 6 a 11. Posteriormente se realizó una regresión lineal y con los datos estimados a partir del modelo $\text{Ln } QO_2 = a + bx$ se obtuvieron los estimadores para hacer la comparación de pendientes y elevaciones de acuerdo a la metodología propuesta por Snedecor y Cochran (1967) mediante un análisis de covarianza (ANCOVA). Los resultados se muestran en las Tablas II a V, en las langostas acondicionadas a 10 y 20 °C durante el aumento de la temperatura (Tabla III), no se encontró diferencia significativa (N. S.) en la comparación de las pendiente y las elevaciones; en las otras tres comparaciones si hubo diferencia significativa (S.).

Los resultados generados en el experimento de las langostas acondicionadas a 27 °C se consideran irregulares debido a un estrés térmico extremo, por lo cual no se consideraron en el análisis de comparación de pendientes y elevaciones.

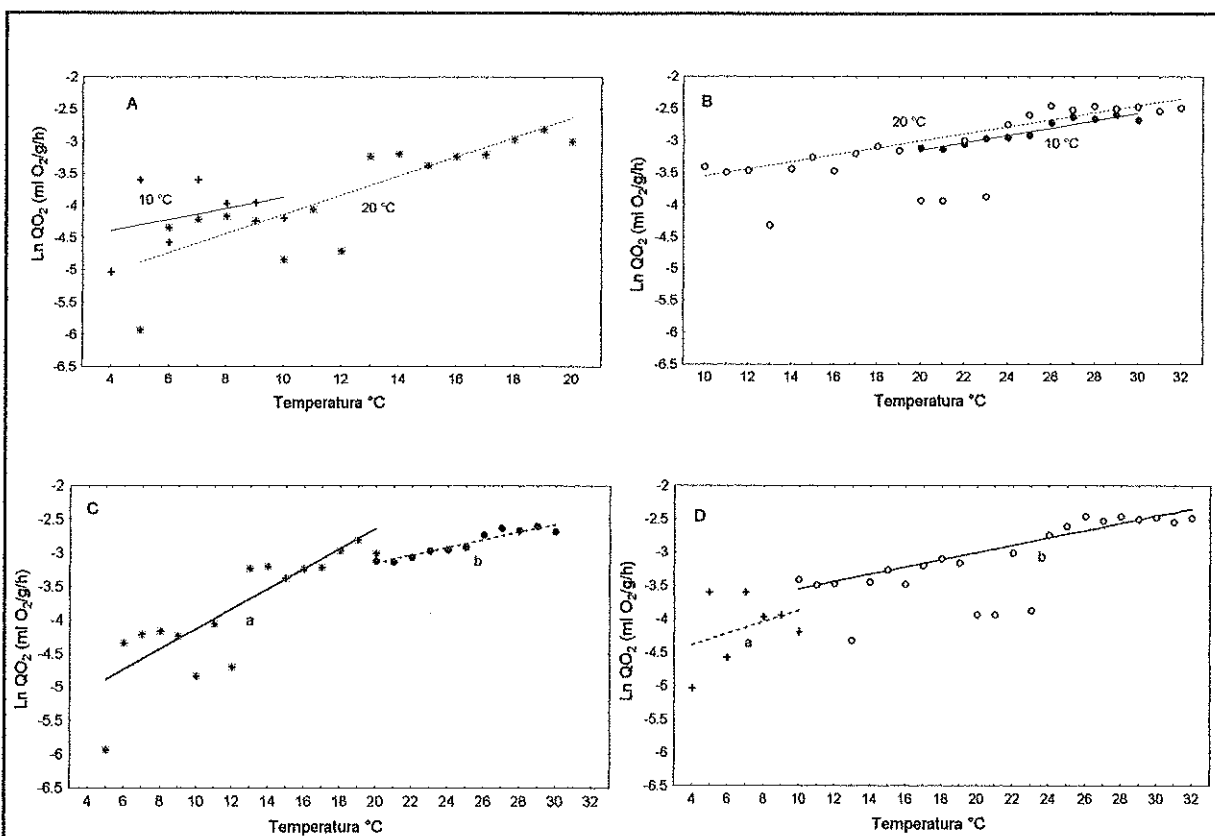


Fig. 12 Modelos lineales de la tasa metabólica de *Panulirus interruptus*. **A** langostas acondicionadas a 10 y 20 $^{\circ}\text{C}$ en temperatura descendente. **B** langostas acondicionadas a 10 y 20 $^{\circ}\text{C}$ en temperatura ascendente. **C** langostas acondicionadas a 20 $^{\circ}\text{C}$ (a) temperatura descendente, (b) temperatura ascendente. **D** langostas acondicionadas a 10 $^{\circ}\text{C}$ (a) temperatura descendente, (b) temperatura ascendente. (Datos observados * 20 $^{\circ}\text{C}$, temperatura descendente + 10 $^{\circ}\text{C}$, temperatura descendente • 20 $^{\circ}\text{C}$, temperatura ascendente ° 20 $^{\circ}\text{C}$, temperatura ascendente).

aclimatadas a 27 °C mantuvieron valores alrededor de 2 entre 6 y 27 °C; la curva de crecimiento exponencial para la temperatura en ascenso a partir de 27 °C fue negativa, y por lo cual no se ajustó para las estimaciones de Q_{10} .

TABLA VI.- Cálculo del Q_{10} de *Panulirus interruptus* aclimatadas a 10, 20 y 27 °C a partir de la temperatura de acondicionamiento en intervalos de 5 y 10 °C durante la estimación de los LLII y LLIS.

Temperatura °C	Q_{10} de las temperaturas de acondicionamiento		
	10 °C	20 °C	27°C
5 - 10	3.7	2.9	---
5 - 15	---	3	---
7 - 12	---	---	2.1
10 - 15	1.7	3.2	---
10 - 20	1.7	3.2	---
12 - 17	---	---	2
12 - 22	---	---	2
15 - 20	1.7	3.3	---
15 - 25	1.8	---	---
17 - 22	---	---	2
17 - 27	---	---	2.1
20 - 25	1.8	1.8	---
20 - 30	1.9	1.7	---
22 - 27	---	---	2.2
25 - 30	1.9	1.7	---

 Temperatura ascendente
 Temperatura descendente

4.3. ESTIMACIÓN DE LOS LÍMITES LETALES INCIPIENTES (LLI).

En la figura 13 se presentan los valores estimados de los límites letales incipientes de *P. interruptus*. El criterio se fundamentó en los valores de la tasa metabólica reducida de

acuerdo con Fry *et al.* (1946) y Brett (1952), que sugieren que se tome el quiebre justo debajo del nivel donde ocurre el decaimiento del índice metabólico; éste es tomado como el límite letal incipiente. En los grupos acondicionados a 10, 20 y 27 °C se reflejó en una modificación, de al menos un grado centígrado. En los organismos aclimatados a 10 °C el LLII fue entre 4 y 5 °C, en los aclimatados a 20 entre 5 y 6 °C y en los aclimatados a 27 entre 6 y 7 °C y en todos los casos la sobrevivencia fue del 100 %. Los LLIS para *P. interruptus* en las temperaturas de aclimatación de 10, 20 y 27 °C fueron entre 33 y 32 °C, 31 y 30 °C y 29 y 28°C respectivamente, estos límites son lineales con una diferencia de al menos 2 °C entre cada acondicionamiento. La sobrevivencia fue de 0 %.

Resalta la amplitud de resistencia térmica que mostraron las langostas de 5 a 32 °C. Se considera importante resaltar la sobrevivencia de los organismos sometidos al rigor de las bajas temperaturas fue del 100 % al ser colocadas después del experimento en agua a 18 °C, En tanto que las sometidas al rigor térmico superior, la sobrevivencia fue de 0 %, muriendo todas aproximadamente a los 10 min. posteriores a la experimentación.

5. DISCUSIONES

5.1. TASA METABÓLICA (QO_2).

Los valores que expresan la actividad metabólica en la langosta espinosa, se representan por el consumo específico del peso, o tasa metabólica ($ml\ O_2/g/h$), es decir una medida que nos permite estandarizar las mediciones en términos del peso (Prosser y Brown, 1968), dado que las langostas eran organismos sexualmente maduros no fue necesario realizar una estandarización por el efecto del peso sobre la QO_2 . Winget (1969) reportó que en *P. interruptus* no existe relación entre el consumo de oxígeno y el tamaño del animal entre 200 y 600 g. El efecto de la temperatura sobre la tasa metabólica (figs. 3, 4 y 5) de *P. interruptus* incidió de manera directa, a temperatura mayor la tasa metabólica fue mayor, y viceversa; en general ésta es la respuesta típica de los poiquiloterms (Waterman, 1960; Vernberg, 1983). Cameron y Mangum (1983) mencionan que algunos crustáceos incrementan la tasa metabólica a bajas temperaturas debido a que la actividad de éstos es mayor a dichas temperaturas, Waterman (1960) reportó que para algunas especies de poiquiloterms los valores de Q_{10} usualmente incrementan con las bajas temperaturas, *Anguilla rostrata* mostró un incremento en el consumo de oxígeno al ser sometidas a bajas temperaturas (Walsh *et al.*, 1983).

Se observó de manera general que al disminuir la temperatura de aclimatación aumentó la tasa metabólica, éstos comportamientos pueden estar relacionados con la

disponibilidad del oxígeno lo cual favoreció el intercambio gaseoso, y la demanda del transporte de oxígeno a altas temperaturas se ve reducida por la disolución de éste (Lockwood, 1967). También éste incremento en la tasa metabólica a bajas temperaturas pueden deberse a que *P. interruptus* tiene dependencia con la tensión de oxígeno, puesto que en cada uno de los experimentos disminuía conforme aumentaba la temperatura de aclimatación; Thomas (1953) reportó que si existe una dependencia directamente proporcional en *H. vulgaris*. Ortiz (1996) encontró que *P. interruptus* sí tiene dependencia con la disponibilidad de oxígeno.

Estadísticamente, las diferencias en la tasa metabólica fueron significativas tanto para la temperatura de aclimatación como para la variación térmica. En el análisis de Tukey sólo existió diferencia significativa entre 10 °C y las tres últimas mediciones en las langostas aclimatadas a 10 °C, y en las acondicionadas a 20 y 27 °C entre las primeras y las últimas mediciones, lo cual fue normal que la tasa metabólica se haya incrementado con el aumento de la temperatura.

En *P. interruptus* no se modificó el efecto de la temperatura sobre la tasa metabólica por el proceso de acondicionamiento, sin embargo se presentaron algunas respuestas distintas entre las diferentes temperaturas de acondicionamiento. En el rango de temperatura de 13 a 20 °C las desviaciones estándar fueron muy pequeñas en las langostas acondicionadas a 10 °C (fig. 3), lo cual no fue así en las de 20 y 27 °C (figs. 4 y 5).

Consideramos que las respuestas uniformes de los organismos, en este caso medidas como desviaciones estándar; sobre factores del ambiente, indica de alguna manera que son condiciones benéficas a la mayoría de los individuos de una población. De ahí su respuesta uniforme en éste intervalo de temperatura y, lo cual de mantenerse en todas las condiciones de acondicionamiento térmico del experimento, indistintamente si se aumentó o disminuyó la temperatura, nos hace pensar que estas son las condiciones más adecuadas para el desarrollo de la especie. Álvarez - Torres (1977) encontró rangos de temperatura superficial al sur de la península con máximas de 23 °C para el mes de octubre y mínimas de 15 °C para los meses de febrero - mayo, y resalta que ésta aptitud de mejor desarrollo a ésta temperatura no se pierde a pesar del proceso de acondicionamiento térmico de *P. interruptus*. Las desviaciones estándar fueron grandes a partir de los 10 °C en los tres niveles de acondicionamiento indistintamente si se aumentó o se disminuyó la temperatura, esto es mucho más notable en las langostas acondicionadas a 20 °C, tanto en el incremento como en el descenso de la temperatura, mientras que en las langostas acondicionadas a 10 y 27 °C las desviaciones estándar son un poco más pequeñas, pero se incrementan a altas temperaturas (alrededor de los 21 °C en adelante); a temperaturas menores a 10 °C las desviaciones estándar son pequeñas, a excepción de las acondicionadas a 10 °C, en las cuales hay muchas variaciones tanto de la tasa metabólica promedio como las desviaciones estándar, esto pudo deberse a que por ser el primer experimento se buscaban algunas otras señales para determinar si el organismo aún vivía y que las langostas tuvieran de alguna manera estrés por contacto visual.

Ahora, si consideramos las variaciones promedio de la tasa metabólica dentro del rango de 13 a 20 °C (fig. 3) resalta que ésta aptitud no se pierde ya que no son notables, al parecer se presentó un mecanismo de compensación, que nos indica la capacidad de mantener una tasa metabólica con pocas variaciones en este rango térmico, el cual no se modificó si se considera el aumento o disminución de la temperatura. Warner (1977) al respecto dice que cuando la aclimatación es efectiva, la tasa metabólica se mantiene relativamente constante a través de las variaciones termal en un cierto rango. En las langostas acondicionadas a 20 °C (fig. 4) el mecanismo de compensación fue mayor y lo sobresaliente, que no lo hayan perdido indica que los procesos de acondicionamiento experimental no inciden notablemente en la modificación de las temperaturas a las que puedan compensar las langostas y que por esta razón asumimos que sean las temperaturas óptimas de la especie.

Al considerar comparativamente como influyó el proceso de acondicionamiento ante la respuesta metabólica frente a la variación termal (aumento y disminución) se obtuvieron tres patrones: acondicionar las langostas a 10 °C (previamente de 20 °C) no hubo beneficio sobre su capacidad de compensación, la cual se mantuvo en la mínima variación metabólica en función de la temperatura, al menos de 6 a 11 °C (fig. 3). La gran mayoría de los crustáceos viven en un rango de temperaturas ambientales amplio; consecuentemente la tasa de metabolismo oxidativo en un individuo puede variar más de 10 veces en la naturaleza (Prosser 1973) y *P. interruptus* al ser sometido a los diferentes

acondicionamientos térmicos también mostró estas variaciones. En las langostas acondicionadas a 20 °C la variación metabólica fue menor ante la variación termal, de 13 a 24 °C, en cambio las langostas acondicionadas a 27 °C, de 20 a 34 °C presentaron una disminución en su tasa metabólica, lo cual es explicable, debido al efecto de la disminución de la temperatura que incidió fuertemente, debido al efecto de acondicionamiento. Esta disminución en la tasa metabólica, no a muy altas temperaturas como lo fueron de 28 a 34 °C, pero si de 20 a 27 °C puede deberse a que los organismos reducen su tasa metabólica a altas temperaturas porque el oxígeno disponible fue menor. La poca o nula capacidad de compensación que presentó *P. interruptus* de 28 a 34 °C, se pudo deber a que su energía la enfocaran hacia la écdicis, ya que durante el acondicionamiento a ésta temperatura, se tuvo que repetir por 4 veces, ya que por lo menos 3 de cada 6 langostas mudaban entre el 4to. y 6to. día de acondicionamiento aunado con el periodo de inanición al que se vieron sometidas indica la poca energía disponible para compensar. Las bajas temperaturas tienden a reducir la incidencia de la muda en las poblaciones naturales, no así en las altas, que tienden a incrementarla (Balesdent - Marquet, 1955; Travis, 1955). Bliss (1953) encontró en el cangrejo *Gecarcinus lateralis* que el coeficiente de respiración bajo de 0.77 a 0.69 durante la proécdicis; Penkoff y Thurberg (1981) reportan para *Homarus americanus* una tasa metabólica en los estadios "C-D " de 0.036 ml O₂/g/h entre 9 y 10 °C de temperatura, en *P. interruptus* se encontró en éste mismo rango de temperatura una tasa metabólica de 0.012 ml O₂/g/h para las langostas acondicionadas a 20 y 27 °C, y en las acondicionadas a 10 °C fue el doble (figs 3, 4 y 5 respectivamente), pero hay que tomar en

cuenta que estos organismos estaban acondicionados a altas temperaturas y el desgaste que sufrieron tratando de compensar fue muy grande. La tasa metabólica puede variar de especie a especie, tamaño, dieta y origen latitudinal (Thomas, 1954; McLeese, 1964; Logan y Epifanio, 1978); *H. americanus* es una especie proveniente de aguas más frías, debido a esto su tasa metabólica es más alta que la de *P. interruptus*; Mota y Correia (1980) para juveniles de *P. argus* de entre 17.8 y 22.5 g, reportan los valores más altos en el consumo de oxígeno para los estadios "D" (entre 0.074 y 0.066 ml O₂/g/h) a 29.2 °C.

Otra consideración importante es que las temperaturas mayores a 27 °C inciden en la tasa metabólica de manera inversa por ser condiciones termales no usuales en su ambiente y por ende, reflejan una deficiencia energética o incapacidad de las langostas para resistir esas condiciones; Álvarez - Torres (1977) encontró temperaturas máximas de 23 °C en el medio natural.

Debido al tamaño de muestra no se pudo establecer si el sexo influyó en el consumo de oxígeno, al parecer esto no sucedió, Mota y Correia (1980) que trabajaron con juveniles de *P. argus* (L.) y *P. laveilaculata*, no encontraron diferencias significativas por sexos Thomas (1954) con *H. vulgaris* tampoco encontró diferencias significativas.

De la prueba de ANCOVA de los datos ajustados al modelo $\ln y = a + bx$ aportó elementos para afirmar que sí se modificó la capacidad de respuesta respecto a las

langostas acondicionadas a 10 y 20 °C durante el descenso de la temperatura (fig. 12A) y en las langostas acondicionadas a 20 °C durante el incremento y el descenso de la temperatura (fig. 12C) así como entre las acondicionadas a 10 °C en las mismas condiciones (fig. 12D). Entre las acondicionadas a 20 y 10 °C durante el ascenso de la temperatura (fig. 12B) no existió modificación en la capacidad de respuesta; Waterman (1960) al respecto menciona que el oxígeno consumido por unidad de tiempo por los crustáceos es proporcional a algo, usualmente como función fraccional o exponencial de algún factor ambiental que está incidiendo sobre el metabolismo del animal. En este caso la temperatura de aclimatación influye en la capacidad de respuesta de *P. interruptus*. De las langostas acondicionadas a 27 °C no fue requerido un análisis debido a que se consideró que son datos en una situación extrema de estrés térmico fuera de el rango termal de *P. interruptus*.

5.2. Q_{10}

La capacidad de compensación en langostas ha sido investigada por Wood (1885), Lowndes y Panikkar (1941), Hollet (1943), Dunahue (1953), Thomas (1953), McLeese (1954), entre otros. Algunas presentan capacidad de compensación, otras no, al menos en este experimento. En *P. interruptus* no obstante que el diseño no contempló el investigar algún proceso o presencia de histeresis térmica, los datos de Q_{10} (tabla I) reflejan que estos valores fueron mayores en los experimentos al aumentar la temperatura y lo contrario al disminuir. Esto pudo deberse a dos casos: primero a una falta de compensación eficiente

para enfrentar una disminución de temperatura, lo cual si sucedió al aumentar ésta. En segundo lugar a que los procesos de compensación, ante cambios termale ascendentes o lo contrario, involucran procesos de compensación enzimáticos distintos. Estos pueden ser de dos tipos, cambios en la energía cinética con la que cambian los metabolitos durante las tasa en que están siendo formados o degradados, en otras palabras no son catalizados, y por otro lado a muy bajas temperaturas los procesos son tan lentos que son inefectivos (Hochachka, 1973; Prosser *et al.*, 1973). Hochachka (op. cit.) menciona tres mecanismos enzimáticos potenciales para la tasa de compensación para los poiquiloterms: en primer término, cambio en la concentración de las enzimas pre existentes (estrategia cuantitativa); segundo término, cambio en los tipos de enzimas presentes en el sistema (estrategia cualitativa). Sostenido por tres pasos: utilización de variantes a diferentes temperaturas, adaptación a la arquitectura celular y la economía celular. Finalmente la modulación de la actividad de las enzimas pre existentes (estrategia de modulación).

De estas estrategias enzimáticas sería conveniente investigar que ventajas desde el punto de vista energético le puede representar a *P. interruptus* este comportamiento.

Los resultados del Q_{10} en las langostas acondicionadas a 10, 20 y 27 °C (Tabla VI) indican que el acondicionamiento no influyó de alguna manera este proceso, a excepción de las acondicionadas a 27 °C. Lo sucedido en éstos últimos respecto de los organismos acondicionados a 10 °C durante el descenso de temperatura refleja que al tratar de

compensar gastaron la mayor parte de su energía, por lo que se considera como una condición de desgaste y en general extrema por lo cual posterior al acondicionamiento, los niveles energéticos y de capacidad de respuesta pudieran estar influenciados por el estrés de la condición previa de acondicionamiento a 27 °C, no obstante de tener valores casi de la mitad. Estos valores de Q_{10} (muy cercanos a 2) se consideran no significativos de la variación de la temperatura, más bien del efecto causado por la temperatura de 27 °C que no es condición natural de *P. interruptus*; cuando la temperatura incrementa las enzimas son destruidas rápidamente y el efecto neto es una reducción de la actividad, que se ve reflejado en Q_{10} bajos.

El acondicionamiento a 20 °C, correspondiendo a la temperatura de el medio natural, lo consideramos una respuesta que refleja la capacidad normal de compensación de *P. interruptus*. Al parecer presentaron mejor capacidad por enfrentar eventuales aumentos de temperatura. Los valores de Q_{10} durante el descenso de temperatura disminuyeron desde 3.3, a partir de la temperatura de acondicionamiento hasta un valor de 2.9 en 5 °C; clasificándose en el tipo 3 de Pretch. Esto mismo se presentó en los organismos acondicionados a 10 °C, al incrementarse el Q_{10} casi al doble, al disminuir la temperatura respecto al aumento de esta. Esto indicó que *P. interruptus* fue capaz de enfrentar cambios de temperatura ascendente con un nivel de compensación aparentemente mejor que al disminuirla, pues los valores elevados de Q_{10} en bajas temperaturas son muy comunes en los crustáceos (Lockwood, 1983) y reflejan que existe una mayor actividad, o

sea que estos organismos enfocan su energía hacia la alimentación y el crecimiento ante una deficiencia para compensar (Prosser *et al.*, 1973). Los valores de Q_{10} de 3.7, de acuerdo con los diagramas de Petch, corresponden al tipo 4, el cual corresponde a un organismo con compensación parcial; es decir, las langostas parecieran que no tienden a compensar. En otros poiquiloterms que se ha experimentado a temperaturas bajas presentan también Q_{10} altos, para el cangrejo de las trincheras hidrotermales *Bythograea thermydron* fue de 3.9 en rangos de 2 a 8 °C (Mickel y Childress, 1981), en la anguila *Anguilla rostrata* se encontraron valores de 4.1, 1.1 y 1.6 a 5, 10 y 15 °C de temperatura respectivamente (Walsh, 1983) y en el bacalao del Atlántico *Gadus morhua* L. se encontró un Q_{10} de 2.5 de 3 a 5 °C de temperatura (Schurmann y Steffensen, 1992).

Al incrementarse la temperatura el organismo acondicionados a 20 °C aumentaron sus valores de Q_{10} paulatinamente desde 1.7, el cambio es con tendencia opuesta a un valor de 2, sin embargo todas las langostas murieron a pesar de que el cambio fue virtualmente compensatorio. Los Q_{10} bajos quizás sean provocados debido a que los organismos cuando encuentran su temperatura “preferida” son menos activos (Hoar, 1975). Se podría pensar que éstos cambios pudieran ser más compensatorios si el tiempo entre cada medición fuera mayor, ya que conforme pasó el tiempo el Q_{10} disminuyó con tendencia a 2. Al aumentar la temperatura mostraron el mismo patrón que las aclimatadas a 10 °C durante el ascenso de la temperatura, con un valor constante de 1.8. Las langostas aclimatadas a 27 °C tuvieron un valor constante a temperaturas descendentes de 2. a 2.1, sin embargo, a temperaturas

altas el patrón fue negativo. La tendencia de compensación en altas temperaturas obedece más al origen latitudinal de los organismos y consecuentemente tener grabada una historia térmica (Prosser, 1961); como *P. interruptus* fue extraída de un lugar situado al sur de la península, en donde las condiciones térmicas son más cálidas estos cambios podrían verse influidos por los factores arriba mencionados, también podría haber influido la temperatura de verano, que fue de 22.5 a 23.8 °C en los estanques dentro del laboratorio, antes de que las langostas fueran sometidas a la aclimatación.

5.3. LÍMITES LETALES INCIPIENTES (LLI).

La aclimatación si influyó en la modificación de los rangos de los LLI. Las langostas aclimatadas a 10 °C mostraron mayor actividad a un cuando se llegó al decaimiento de la tasa metabólica, para los fines que fue planteado este experimento esto si tiene mucho peso. Pudiera ser que la temperatura a la que normalmente viven en la mayor parte del año en el medio natural (entre 11 y 18 °C) influya en su resistencia térmica.

McLeese (1954) determinó el LLII para *Homarus americanus* aclimatadas a 17 °C en 1.8 °C y 5 °C para las aclimatadas a 27 °C, encontrando un 100 % de sobrevivencia, estas langostas fueron sometidas a la aclimatación por una semana para las langostas del primer grupo y para las del segundo la aclimatación fue de 22 días. *H. americanus* mostró

tener mayor resistencia a bajas temperaturas, esto podría estar dado por que la temperatura de su lugar de origen era de 3 a 4 °C durante el periodo de invierno en el cual fueron capturadas, esto tiene gran influencia en el LLII ya que genéticamente están adaptadas a muy bajas temperaturas, además de que el tiempo de aclimatación fue más largo. Thomas (1953) reporta para *H. vulgaris* temperaturas letales inferiores de 3 °C para langostas aclimatadas a 15 °C, que al igual que las utilizadas por McLeese, éstas fueron extraídas de aguas con temperaturas no mayores a 10 °C. *P. interruptus* al provenir de aguas más cálidas tuvo temperaturas letales un poco más altas que *H. vulgaris* y *H. americanus*

McLeese (1954) durante la determinación de los LLIS aclimató langostas a 5, 15 y 25 °C (6.4 mg/l de O₂ y 30 ‰ de salinidad) en un periodo de 31 días, y las temperaturas letales fueron 25.7, 28.5 y 30.5° C respectivamente. Se puede considerar que *P. interruptus* por estar adaptada genéticamente a temperaturas un poco más altas, si a esto le añadimos que el experimento se hizo durante el verano y que la temperatura antes de iniciar éste, a nivel de laboratorio fue entre 22.5 y 23.8 °C, por esto *P. interruptus* podría tener LLIS más altos; aunque según McLeese (op. cit.) los límites a altas temperaturas se ven más afectados por la disminución del oxígeno, en las cámaras respiratorias utilizadas con *P. interruptus* fueron aireadas entre cada lectura y siempre se mantuvo tasas por arriba de 4.9 mg/l. Prosser (1961) menciona que la muerte proviene de otro factor distinto de la temperatura, y éste pudiera ser la disponibilidad del oxígeno el cual a su vez se ve afectado por la salinidad Kasim (1986), encontró que el consumo de oxígeno en *P. polyphagus* se ve

afectado por el aumento de la salinidad, a extremas salinidades siempre fue mayor que en las salinidades óptimas. En nuestros experimentos la salinidad se mantuvo controlada, por lo cual no fue factor para que se alterara la disponibilidad de oxígeno. Pero también la temperatura letal depende de la duración de la exposición a altas temperaturas, que de haber durado por un tiempo más prolongado a uno o dos grados anteriores a los que se estimaron los LLIS, es muy probable que los organismos murieran.

Cabe destacar que los LLI de las langostas conforme la temperatura de aclimatación aumentó estos disminuyeron, cuando se esperaría que sucediera lo contrario, McLeese encontró en *H. americanus* el comportamiento esperado. Es notable que *P. interruptus* tiene una amplia resistencia tanto a bajas temperaturas como a las altas, aunque en éstas últimas el desgaste es determinante, ya que la demanda energética para poder compensar a una temperatura a la que no está acostumbrada.

6. CONCLUSIONES

- ⇒ La aclimatación térmica no modificó la dependencia del metabolismo respecto a la variación térmica.
- ⇒ El acondicionamiento térmico del experimento si modificó los LLI: los LLIS disminuyeron y los LLII aumentaron.
- ⇒ Los LLII se establecieron entre 4 y 5, 5 y 6, y 6 y 7 °C en las langostas acondicionadas a 10, 20 y 27 °C respectivamente.
- ⇒ Los LLIS se establecieron entre 32 y 31, 31 y 30, y 29 y 28 °C en las langostas acondicionadas a 10, 20 y 27 °C respectivamente.
- ⇒ La capacidad de compensación fue mayor durante el proceso de incremento de temperatura respecto a la disminución de ésta.
- ⇒ En crustáceos, el uso del consumo de oxígeno como estimador de límites letales térmicos superior es más adecuado que en límites letales térmicos inferiores.

COROLARIOS

Se considera que el rango de temperatura de 9 a 14 °C es un óptimo para el funcionamiento fisiológico.

El acondicionamiento a 27 °C favoreció el desgaste energético elevado como una respuesta anómala al aumentar la temperatura.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ-TORRES, S. (1977). Ensayo para un semicultivo de *Panulirus interruptus*. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, unidad Ensenada, Baja California, México.
- BLISS, D. E. (1953) Endocrine control of metabolism in the land crab, *Gecarcinus lateralis*. I. Differences in respiratory metabolism of sinus glands and eyetalkless crabs. *Biol.Bull. Woods. Hole*. 104: 275-296.
- BRETT, J. R. (1952) Temperature tolerance in young Pacific salmon, Genus *Oncorhynchus*. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 9: 265-323.
- CALABRESE A., THURBERG, F. P. AND GOULD E. (1977). Effects of cadmium, mercury, and silver on marine animals; *Mar. Fish. Rev.* 39: 5 - 11.
- CHIDRESS, J. J. Y MICKEL, T. (1981) Effects of temperature, pressure and oxygen concentration on the oxygen consumption rate of hydrothermal vent crab *Bythograea thermydron* (Brachyura). *Physiol. Zool.* 55 (2): 194-207.
- CAMERON, J. N. AND MANGUM (1983). Environmental adaptation of the respiratory system: ventilation, circulation and oxygen transport. In *The biology of crustacea* Academic Press; New York, USA; 8 (2). pp 383.
- COBB, S. J. AND PHILLIPS, B. (1980). The biology and management of lobster, vol. 1, physiology and behavior; Academic Press N. Y. ; USA pp 463.
- FRY, F. E. J.; HART, J. S. AND WALKER, K. F. (1946) Lethal temperature relation for sample of young speckled trout (*Salvelinus fontinalis*). *Univ. Toronto stud., Biol. Ser.*, No. 54; Pub. Ontario Fish. Res. Lab., No 66, 35 pp.
- HATHWAY, E. S. (1927). Quantitative study on changes produced by acclimatization on the tolerance of high temperatures by fishes and amphibians. *Bull. U. S. Bur. Fisheries*, 43: 169 - 192.
- HOAR, S. WILLIAMS (1966). General and comparative physiology. Environmental relation. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey Chapter 9 AND 10: 293 - 338.
- HOAR, S. W. AND CLEVELAND, P. H. Jr. (1978). Efecto de la temperatura sobre el consumo de oxígeno de los animales acuáticos; Omega (Ed). En *Manual para la fisiología general y comparada*. Editorial Omega S. A. Barcelona, Esp. pp 41- 48.

- HOCHACHKA, P. W. Y SOMERO, G. N. (1973). Strategies of biochemical adaptation. W. B. Saunders Company, pp 358.
- HOLLET, A. (1943). The relation between moult cycle and the phosphorus content of the blood and muscle in lobster. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 6: 152- 157.
- HUNTSMAN, A. G. AND SPARKS, M. I. (1924). Limiting factors for marine animals. 3. Relative resistance to high temperature. *Contr. Canadian Biol.*, N. S. 2(6): 97 - 114.
- JOHNSON, M. V. (1971). The palinurid and Scyllarid larvae of Tropical Eastern Pacific and theirs distribution as related to the prevailing hydrography. *Bull. SCRIPPS Inst. Oceanogr.*, 19(1): 1 - 36.
- KASIM, H. M. (1967) Effect of salinity, temperature and partial oxygen pressure on the respiratory metabolism of *Panulirus polyphagus* (Herbst). *J. Fish.* Vol. 33, No. 1: 66-75.
- LOCKWOOD (1960). Aspects of the physiology of crustacea. 6. Respiration and metabolism. W. H. Freeman and Company San Francisco. pp 110 -159.
- LOWNDES, A. G., AND PANIKKAR, N. K. (1941). A note on the changes in water content of the lobster (*Homarus vulgaris* M.- Edw.) during moult. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, N. S. 25: 111 - 112.
- McLEESE, D. W. (1954). Effects of temperature, salinity and oxygen on the survival of american lobster; *J. Fish. Res. Bd. Canada*, (13(2): 246 - 272.
- MOTA ALVES, M. I. e CORREIA MOTA, R. V. (1980). Algumas considerações sobre os índices metabólicos da langosta *Panulirus argus* (Latreille). *Bolm. Inst. Oceanogr., Lab. de Ciências do Mar*, Universidade Federal do Ceará, C. E.; S. Paulo, Brasil, 29(2): 251 - 254.
- ORTÍZ-VIVEROS, D. (1996) Adapataciones fisiológicas de la "langosta roja" *Panulirus interruptus* para vivir fuera del agua en relación al tiempo de exposición aérea. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, unidad Ensenada, Baja California, México.
- PENKOFF, S. J. AND THURBERG, F. P. (1982). Changes in oxygen consumption of american lobster, *Homarus americanus* during the molt cycle; *Comp. Biochem. Physiol.* National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Center, Milford Lab. USA, Vol. 72A (4): 621 - 622.

- PORA, EUGEN (1955). O metodă comodă de a urmări consumul de oxigen la animalele acvatice timp îndelungat: Aplicarea ei la pesti marini. *Bul. Inst. Cerc. Pisc. Anul. XIV* Nr. 1: 23 - 38.
- PROSSER, L. AND BROWN, F. A. Jr. (1961). Fisiologia comparada; 2da edición; editorial Interamericana; México D. F. pp 728.
- PROSSER, L.; BISHOP; AND BROWN, F. A. Jr (1973). Comparative animal physiology. 10. Temperature: Metabolic aspects and perception. W. B. Saunders Company; pp. 341-380.
- SECRETARÍA de PESCA (1993). Anuario Estadístico de Pesca 1993; México, D. F.; pp 87.
- RUÍZ-DURA, M. F. (1985). Recursos pesqueros de las costas de México; 2da. edición; Editorial LIMUSA. México D. F. pp 111-116.
- SCHMIDT NIELSEN, K. (1975). Animal physiology, adaptation and environment; Cambridge University Press; N. Y., USA. pp 699.
- SCHURMANN, H. AND STEFFENSEN, J. F. (1992) Lethal oxygen levels at different temperature and preferred temperature during hypoxia of the atlantic cod, *Gadus morhua* L. *J. of Fish Biology* 41: 927- 934.
- SNEDECOR, G. W. Y COCHRAN, W. G. (1967) Análisis de covarianza. 14. Métodos estadísticos. C. E. C. S. A. Editores; pp 512-543.
- SOLÍS, M. J. (1963). Ensayo de nasas para langosta en la Bahía de Ascención. Quintana Roo, México. *Inst. Nal. Inv. Biol. Pesq. Sec. Ind. Com. México. Ser. Trabajos de divulgación* 7(66): 1 - 17.
- THOMAS, H. J. (1954). The oxygen uptake of the lobster (*Homarus vulgaris* Edw.) *J. Exp. Biol.* 31: 228 - 251.
- TUKEY, J. W., (1935). The problem of multiple comparizon. Unpublished manuscript. Princeton University, (in CSS: Statistica, Statsoft 1991), Chap. 8 y 9, 299- 401 pp.
- VERNBERG, F. J. (1983). Respiratory adaptation. In The biology of crustacea 8 (1). Academic Press; New York, USA; pp 383.
- WALSH, P. J.; FOSTER, G. D. AND MOON W. T. (1983) The effect of temperature on metabolism of the american eel *Anguilla rostrata* (LeSueur): compensation in summer and torpor in winter. *Physiol. Zool.* 56 (4): 532-542.

- WARNER, G. F. (1977) Hostile enviromental. 9. In The biology of the crabs. van Nostrand Reinhold. pp 141-162.
- WATERMAN, T. H. (1960). The physiology of crustacea. Vol. 1. Metabolism and growth. Academic Press; New York, USA; pp 669.
- WATERMAN, H. T. AND WOLVEKAMP, H. P. (1960) Respiration. 2. The physiology of crustacea. Metabolism and growth. Vol. I: 35-100.
- WINGET, R. (1969) Oxygen consumption and respiratory energetics in the spiny lobster *Panulirus interruptus* (Randall). *Biol. Bull.* (Woods Hole, Mass.) 136: 301-312.
- WOOD, W. M. (1885). Trasnplanting lobster to Chesapeake - Experiments upon the temperature which they can endure. *Bull. U. S. Fish. Comm.* 5: 31-32.

