



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA  
CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“EFECTO DEL EMPAQUE COMERCIAL Y LA TEMPERATURA SOBRE EL  
CONSUMO DE OXÍGENO Y LA DEUDA DE OXÍGENO EN LA LANGOSTA  
ROJA *Panulirus interruptus* (Randall, 1840)”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
O C E A N O L O G O  
PRESENTA  
EDGAR TORRES IRINEO

Ensenada, Baja California, Mayo del 2005


## RESUMEN


En el presente trabajo se plantea establecer el efecto del empaque comercial y la disminución de la temperatura en el consumo de oxígeno y la deuda de oxígeno en *Panulirus interruptus*. Como indicadores fisiológicos se utilizaron: la tasa metabólica ( $QO_2 = \text{ml O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) ante la disminución de la temperatura del agua y al ser regresadas al agua después de diferentes tiempos de exposición aérea (36 h, 48 h, 60 h y 72 h). Al disminuir la temperatura en *P. interruptus* de 18°C a 10° y 7°C se obtuvo una disminución en el metabolismo. Se obtuvieron valores de  $Q_{10}$  de 2.5 y 1.7 al disminuir la temperatura de 18°C hasta 10° y 7°C respectivamente, que evidenciaron una subcompensación por parte de los organismos a tal disminución de la temperatura. Después de la exposición aérea, se encontró que *P. interruptus* presentó una deuda de oxígeno que dependió del tiempo de la exposición aérea y el pago de la deuda de oxígeno la llevó a cabo por medio de oscilaciones periódicas. El disminuir la temperatura en 1.5 h dando un "shock" térmico, favoreció la sobrevivencia hasta 60 h de exposición aérea. El no dejar que *P. interruptus* no activara su metabolismo durante 4 h previas al enfriamiento y sin aireación simulando el empaque comercial, favoreció la sobrevivencia a la exposición aérea durante 60 h. El estrés ocasionado por la captura y el manejo afecta desfavorablemente la sobrevivencia a la exposición aérea.

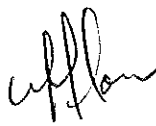
“EFECTO DEL EMPAQUE COMERCIAL Y LA TEMPERATURA SOBRE EL  
CONSUMO DE OXÍGENO Y LA DEUDA DE OXÍGENO EN LA LANGOSTA  
ROJA *Panulirus interruptus* (Randall, 1840)”

T E S I S  
QUE PRESENTA:  
EDGAR TORRES IRINEO

Aprobada por:

  
M.C. Antonio Silva Loera  
Presidente del jurado

  
Dr. Eugenio Díaz Iglesias  
Sinodal propietario

  
M.C. Francisco Ley Lou  
Sinodal Propietario

## DEDICATORIA

- ✿ *A mis padres Wulfrano Torres Pérez y Ma. de Lourdes Irineo Pérez, les dedico el esfuerzo empleado para realizar este trabajo, con el cual culmino una etapa de mi vida con éxito, porque ustedes me enseñaron a que mis sueños los puedo hacer realidad con disciplina y dedicación. Gracias a ustedes aprendí a vivir con libertad y responsabilidad. HASTA LA VICTORIA SIEMPRE!!!*
- ✿ *A mi hermana Tani, gracias por apoyarme en todo este tiempo lejos de casa, ya que tu recuerdo siempre ha sido un motivo para seguir adelante, te quiero mucho!!!*
- ✿ *A mi sobrino Ott, gracias por haber llegado a mi vida, estoy muy contento de tener el mejor sobrino del mundo, aunque no hemos estado mucho tiempo juntos siempre te he llevado en mi corazón. Cuida mucho a tu mamá y siempre lucha por tus ideales.*
- ✿ *A mis abuelos Wulfrano Torres Santana y Guadalupe Pérez Ortega, gracias por su interés de saber como me encontraba, siempre los sentí cerca de mi a pesar de la distancia.*
- ✿ *A M. T. D. L. P. porque con el tiempo vas a regresar con nosotros.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis M.C. Antonio Silva Loera, ya que durante el trabajo de la tesis fue un gran apoyo, ahora sé que es un gran amigo. Además de que me ayudó tener una visión en la que los conocimientos pueden tener una aplicación.

Al M.C. Francisco Ley Lou, porque sin él no hubiera encontrado este proyecto de investigación.

A mi sinodal Dr. Eugenio Díaz Iglesias, por sus comentarios atinados en la revisión de la tesis y por el tiempo dedicado en la realización de este trabajo.

Un agradecimiento muy especial a M.C. Conal David True y al equipo de trabajo del laboratorio de Totoaba, por habernos facilitado el enfriador y esperar a que termináramos los experimentos.

A la familia Haro Irineo porque en todo momento que pasé con ustedes fue como estar en casa y sobre todo por el apoyo que me brindaron en mi estancia en Ensenada.

Un agradecimiento especial a mis primos Omar Haro, Alberto Haro y su familia, porque además del lazo familiar que nos une se fortaleció una gran amistad.

A las familias Torres e Irineo, porque en la distancia siempre se preocuparon por mi bienestar así como los éxitos que he logrado.

Un especial agradecimiento a Nay por el tiempo compartido durante la carrera por haberme aguantado y sobretodo por el cariño incondicional que siempre me ofreciste, porque aprendí mucho a tu lado. Gracias por haberme dejado entrar a tu familia, en especial tu mamá que nunca dudo en ponerle más agua al caldo.

Aquellos que me enseñaron el valor de la amistad Juankis, Marianita, Yeye, Dani, Livia, Roger y Miguel, por todos los momentos de alegría y tristeza de la carrera, porque sin ustedes mi vida aquí no hubiese sido la misma.

A todos los "choros" por su apoyo y amistad durante estos años de estudio.

Asimismo, un agradecimiento especial al C. José Jesús Camacho Osuna, Presidente del Consejo de Administración de la Federación Regional de Sociedades Cooperativas de la Industria Pesquera "Baja California", F.C.L., y al M.C. Mario R. Ramade Villanueva, Jefe del Dpto. de Pesquerías de la misma Federación, por su participación y patrocinio en el desarrollo de estas investigaciones.

# ÍNDICE

	página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	4
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>5</b>
2.1 Obtención y mantenimiento de los organismos	
2.2 Construcción de las cámaras respiratorias y sistema de enfriamiento.	
2.3 Prueba del sistema.	
2.3.1 Experimentos 1 y 2.	
2.4 Método de empaque.	
2.4.1 Experimento 3 y 4.	
2.4.2 Experimento 5.	
2.5 Determinación de la $QO_2$ , deuda de oxígeno y $Q_{10}$	
2.6 Análisis estadístico.	
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>12</b>
3.1 $QO_2$ , deuda de oxígeno y $Q_{10}$ de los experimentos 1 y 2.	
3.1.1 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 1.	
3.1.2 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 1.	
3.1.3 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 2.	
3.1.4 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 2.	
3.2 $QO_2$ , deuda de oxígeno y $Q_{10}$ de los experimentos 3, 4 y 5.	
3.2.1 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 3.	
3.2.2 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 3.	
3.2.3 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 4.	
3.2.4 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 4.	
3.2.5 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 5.	
3.2.6 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 5.	
<b>4. DISCUSIÓN</b>	<b>28</b>
4.1 Experimento 1 y 2.	
4.1.1 $QO_2$ durante el enfriamiento del agua y valores de $Q_{10}$ .	
4.1.2 Pago de la deuda de oxígeno.	
4.2 Experimento 3, 4 y 5.	
4.2.1 $QO_2$ durante el enfriamiento del agua y $Q_{10}$ .	
4.2.2 Pago de la deuda de oxígeno.	
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>42</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b>	<b>43</b>
<b>7. LITERATURA CITADA</b>	<b>44</b>

## Lista de tablas.

	Página
<b>Tabla I.</b> Datos de $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de <i>P. interruptus</i> a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $10^\circ C$ ), del experimento 1. Valores de $Q_{10}$ de $18^\circ C$ a $10^\circ C$ de cada organismo.	12
<b>Tabla II.</b> Datos de $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de <i>P. interruptus</i> a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $10^\circ C$ ), del experimento 2. Valores de $Q_{10}$ de $18^\circ C$ a $10^\circ C$ de cada organismo.	16
<b>Tabla III.</b> Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis del efecto del empaque (exp. 1 y exp. 2), tiempo de exposición (36 h, 48 h, 60 h, 72 h) sobre la $QO_2$ de langostas <i>P. interruptus</i> de ambos experimentos.	19
<b>Tabla IV.</b> Datos de $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de <i>P. interruptus</i> a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $10^\circ C$ ), del experimento 3. Valores de $Q_{10}$ de $18^\circ C$ a $10^\circ C$ de cada organismo.	20
<b>Tabla V.</b> Datos de $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de <i>P. interruptus</i> a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $10^\circ C$ ), del experimento 4. Valores de $Q_{10}$ de $18^\circ C$ a $10^\circ C$ de cada organismo.	24
<b>Tabla VI.</b> Datos de $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de <i>P. interruptus</i> a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $7^\circ C$ ), del experimento 5. Valores de $Q_{10}$ de $18^\circ C$ a $7^\circ C$ de cada organismo.	26
<b>Tabla VII.</b> Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis del efecto del empaque (experimentos 3, 4 y 5) y tiempo de exposición (36 h, 48 h, 60 h, 72 h) sobre la $QO_2$ de langostas <i>P. interruptus</i> .	27

## Lista de figuras.

	Página
<b>Figura 1.</b> Etiqueta colocada en antena.	5
<b>Figura 2.</b> Vista lateral de la cámara respiratoria con sus componentes.	6
<b>Figura 3.</b> Vista lateral del sistema de enfriamiento.	6
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo para los experimentos 1 y 2.	8
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo para los experimentos 3, 4 y 5.	11
<b>Figura 6.</b> Valores de la $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de langostas <i>P. interruptus</i> que estuvieron en el experimento 1 y 2 a los diferentes tiempos de estar empacadas (36 h, 48 h, 60 h y 72 h). Estas mediciones se realizaron a 18°C durante 90 minutos para determinar el pago de la deuda de oxígeno.	15
<b>Figura 7.</b> Valores de la $QO_2$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de langostas <i>P. interruptus</i> que estuvieron en el experimento 3, 4 y 5 a los diferentes tiempos de estar empacadas (48 h, 60 h y 72 h). Estas mediciones se realizaron a 18°C durante 90 minutos para determinar el pago de la deuda de oxígeno.	22

## 1.- INTRODUCCIÓN.

La langosta roja (*Panulirus interruptus*) es un crustáceo que pertenece a la clase Malacostracea, orden Decapoda, de la familia Palinuridae. Se caracterizan por tener todos los segmentos cefálicos y torácicos fusionados formando el cefalotorax. Por cada segmento corporal presenta un par de apéndices. Posee ojos pedunculados, los tres primeros pares de apéndices torácicos modificados en maxilípedos, además de que presentan espinas en la parte torácica (Hickman, *et al* 1998).

Existen seis especies de langostas en los litorales mexicanos (Cifuentes-Lemus, *et al*, 1997). La langosta roja (*P. interruptus*), se encuentra en la costa occidental de la península de Baja California y se distribuye desde San Luis Obispo, California, hasta Bahía Magdalena en Baja California Sur. Es la especie dominante en la producción (95%) de la península de Baja California (Diario Oficial de la Nación, 2004). En el litoral del Pacífico se encuentran la langosta verde y azul (*P. gracilis* y *P. inflatus* respectivamente), en la Isla del Socorro se encuentra *P. penicillatus* y en el Golfo de México la langosta del caribe (*P. argus*) y *P. guttatus* (Cifuentes-Lemus, *et al*, 1997).

En estos organismos se han realizado varios estudios sobre su fisiología, específicamente en el consumo de oxígeno y el efecto de la temperatura en el metabolismo (Jury, 1999; Tully, *et al* 2000; Pritchard y Taylor, 2000; Thomas, 2000), entre otros autores. Sin embargo, investigaciones sobre el método en cómo se comercializan las langostas son pocos, (Gómez-Jiménez, *et al* 2000; Morris y Oliver, 1999a; Morris y Oliver, 1999b; Díaz-Iglesias *et al* 1975), y no son precisamente en *P. interruptus*, por lo que es de importancia mejorar el conocimiento sobre la fisiología de la langosta roja para mejorar el proceso de empaque.

La importancia de esta pesquería para México radica en el valor alto de las langostas y la facilidad para capturarlas, comparada con la pesca de otras especies. En las comunidades pesqueras del país esta actividad es la base de su economía. Este crustáceo ocupa el segundo lugar como generador de divisas.

En la península de B.C., la pesquería registró en los últimos 15 años una producción promedio de 1,415 t. Alcanzando un máximo histórico en la temporada 2000-2001, con una producción de 1,973 t y un valor cercano a los 30 millones USD (Diario Oficial de la Nación, 2004).

El conocimiento de los procesos fisiológicos de *P. interruptus* que realiza durante la extracción de su medio y su mantenimiento, para después ser vendidas es muy importante, ya que el valor económico que llegan alcanzar estos organismos vivos es mayor. Mientras que muertos, disminuye su precio, lo cual implica merma en los ingresos de pescadores.

En este contexto, es de gran importancia conocer el efecto de la temperatura sobre el metabolismo de un organismo poiquilotermo como *Panulirus interruptus*, ya que lo modifica considerablemente. Asimismo, el consumo de oxígeno, es otro factor de importancia vital, ya que su deficiencia en el medio puede ocasionar la muerte y el tiempo en que el organismo sobrevivirá en condiciones de exposición aérea, así como el pago de la deuda de oxígeno que éste llegue a presentar.

Existe una interacción dinámica entre el funcionamiento de la maquinaria interna de un crustáceo y su ambiente externo. La respuesta metabólica de un organismo ante un cambio ambiental, es un indicador total de la capacidad de adaptación de los organismos, pero no explica del todo qué es lo que pasa en el interior de estos (Vernberg, 1983).

Después de que los organismos se han encontrado expuestos a una condición de anaerobiosis, deben pagar una "deuda de oxígeno" que se ha acumulado, ya que han utilizado oxígeno de su cuerpo para cubrir sus requerimientos metabólicos. En realidad algunos organismos obtienen algo de energía por medios anaerobios y más tarde oxidan los productos para cubrir la deuda de oxígeno (Prosser, 1973).

Una manifestación de la recuperación de un organismo, es la reanudación de los procesos celulares esenciales, que se lleva a cabo por un periodo en el que el consumo de oxígeno es por arriba de lo normal, proceso conocido como deuda de oxígeno (Crear y Forteach, 2001).

El consumo de oxígeno esta correlacionado con la temperatura, la densidad, alimentación y tamaño de animal (Morris y Oliver 1999a).

Los animales poiquilotermos, aunque se encuentran a temperatura ambiental, tienen cierta regulación térmica por medio de sus mecanismos vitales, al entrar a un estado de hibernación o por compensaciones metabólicas. Se han creado varios métodos para comparar cuantitativamente la magnitud del efecto de la temperatura en las reacciones químicas. El método más empleado es la aproximación de  $Q_{10}$ . Que es el factor por el que aumenta la velocidad de reacción al elevarse la temperatura  $10^{\circ}\text{C}$  (Prosser, 1973).

Ante cambios de temperatura de  $5$  a  $25^{\circ}\text{C}$  el consumo de oxígeno de la langosta *Homarus americanus* varió desde  $0.015$   $\text{ml O}_2/\text{kg/h}$  a  $0.043$   $\text{ml O}_2/\text{kg/h}$  y cerca del doble para *Panulirus interruptus* entre  $15^{\circ}$  y  $20^{\circ}\text{C}$  (Cobb y Phillips, 1980).

Todo lo anterior refuerza la importancia de buscar las respuestas fisiológicas de *P. interruptus* para poder realizar un mejor manejo de este organismo durante su comercialización. Donde la capacidad de resistencia a la emersión de *P. interruptus* se modificará en función de la temperatura de enfriamiento y el tiempo de exposición aérea.

### 1.1 Objetivos.

- ❖ Determinar el valor del  $Q_{10}$  de *P. interruptus* durante del acondicionamiento térmico.
- ❖ Evaluar el tiempo de resistencia a la exposición aérea de *P. interruptus* en función de la duración de enfriamiento.
- ❖ Determinar la deuda de oxígeno, después de diferentes tiempos de emersión de *P. interruptus*.

## 2.- METODOLOGÍA.

### 2.1 Obtención y mantenimiento de los organismos.

Se utilizaron 48 langostas que fueron traídas de campos pesqueros de la zona II de la península de Baja California, al laboratorio de acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas, durante la temporada en la que se capturan (30 Septiembre – 1 Marzo). Los organismos fueron colocados en tanques circulares de plástico de 500 l (12 langostas/tanque). La temperatura del agua en los tanques varió entre 15° y 20°C. En los tanques se mantuvieron con aireación y flujo de agua continuo. Se colocaron cajas forradas por plástico negro para que las langostas las utilizaran como refugios. Se alimentaron a saciedad con calamar fresco-congelado y mejillones vivos.

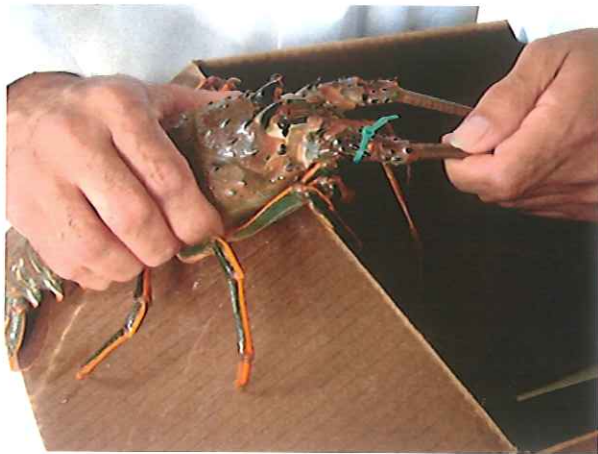


Fig. 1 Etiqueta colocada en antena.

Unos días antes de que se iniciaran los experimentos, las langostas fueron pesadas y etiquetadas. Las etiquetas consistieron en cintas de plástico las cuales eran colocadas en las antenas y los periópodos. Para cada experimento se utilizaron cintas de colores diferentes, el orden en el que fueron colocadas las etiquetas, fue a partir de la antena derecha observando el organismo desde arriba y las etiquetas

siguientes, en los periópodos en el sentido de las manecillas del reloj.

Asimismo se determinó el volumen que ocuparon las langostas en las cámaras respiratorias experimentales.

## 2.2 Construcción de las cámaras respiratorias y sistema de enfriamiento.

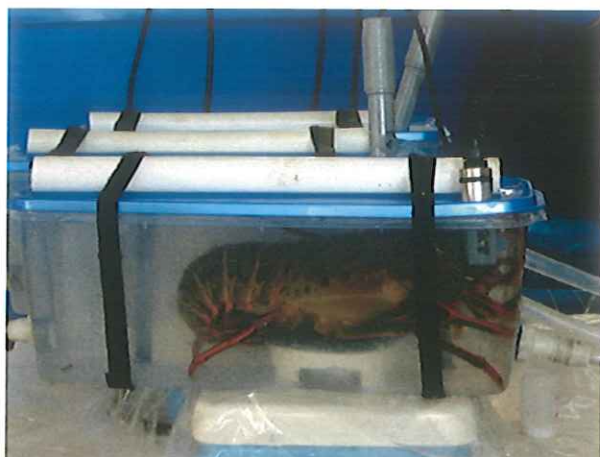


Fig. 2. Vista lateral de la cámara respiratoria con sus componentes.

colocar el electrodo que midió el oxígeno. Por dentro, se colocó una protección de tubo PVC cubierto con una malla de plástico para que el agitador magnético homogenizara el agua durante la medición, esto debido a que la langosta podía moverlo.

Las tapas de las cámaras respiratorias, fueron aseguradas con fieltro, debido a que las langostas podían destapar la cámara. En la figura 2 se observan tubos de PVC por encima de las tapas, esto para que no se formaran burbujas de aire en el interior.

Para mover el magneto en el interior de las cámaras, se utilizaron tres planchas de agitación que fueron colocadas debajo de éstas.



Fig. 3 Vista lateral del sistema de enfriamiento.

Se utilizaron tres cámaras respiratorias con flujo semicontínuo (Fig. 2), construidas con recipientes de plástico de 5.7 l de capacidad. Se les hicieron dos orificios, uno a cada extremo para conectar mangueras de entrada y de salida, selladas con silicón para evitar fugas. A las tapas de las cámaras se les hizo un orificio para

colocar el electrodo que midió el oxígeno. Por dentro, se colocó una

El sistema de enfriamiento (Fig. 3) consistió en un sistema de recirculación. Una bomba sumergible mandaba el agua de un tambo de 200 l de capacidad a través de un enfriador con un controlador digital de temperatura modelo TR115DN, el cual era programado para llevar la temperatura del agua de 18°C a 10° ó

7°C. Al alcanzar cualquiera de las dos temperaturas se tenía que mantener ahí. Después de pasar por el enfriador el agua llegaba a las cámaras respiratorias.

Cuando se medía el consumo de oxígeno, se cerraban las llaves de las cámaras respiratorias, mientras que el agua seguía circulando a través de un sistema de retorno, colocado antes de la entrada a las cámaras.

Una vez que terminaba la medición, el agua de las cámaras regresaba al contenedor de la bomba por gravedad, y se abrían las llaves para poder cambiar el agua.

### **2.3 Prueba del sistema.**

Se realizó una prueba del sistema, para verificar el funcionamiento de las cámaras y la disminución de la temperatura del agua para saber el tiempo necesario que estarían las langostas dentro de cada una de las cámaras respiratorias, determinando el consumo de oxígeno sin rebasar al 70% de saturación, para evitar que la tensión parcial baja actuara como un factor.

#### ***2.3.1 Experimentos 1 y 2 para determinar las condiciones experimentales.***

Este experimento consistió en enfriar durante tres horas y en 90 minutos (experimentos 1 y 2 respectivamente), dos grupos de 12 langostas cada uno (Fig. 4).

Fueron colocadas en un tambo de 200 l con una densidad de una langosta en 16 litros. El grupo que se enfrió en el experimento 1, fue a partir de la temperatura ambiente (18°C), mientras que el grupo del experimento 2 se empezaron a enfriar a partir de 14°C hasta alcanzar 10°C ambos grupos a una razón de enfriamiento de 0.044 °/min. Al alcanzar la temperatura de empaque, las langostas fueron colocadas en una caja de unicel con viruta de madera humedecida. Se colocaron dos "gel-ice" para mantener el mayor tiempo posible la temperatura de empaque, se sellaron con cinta canela las cajas y se colocaron en un cuarto a 18°C.

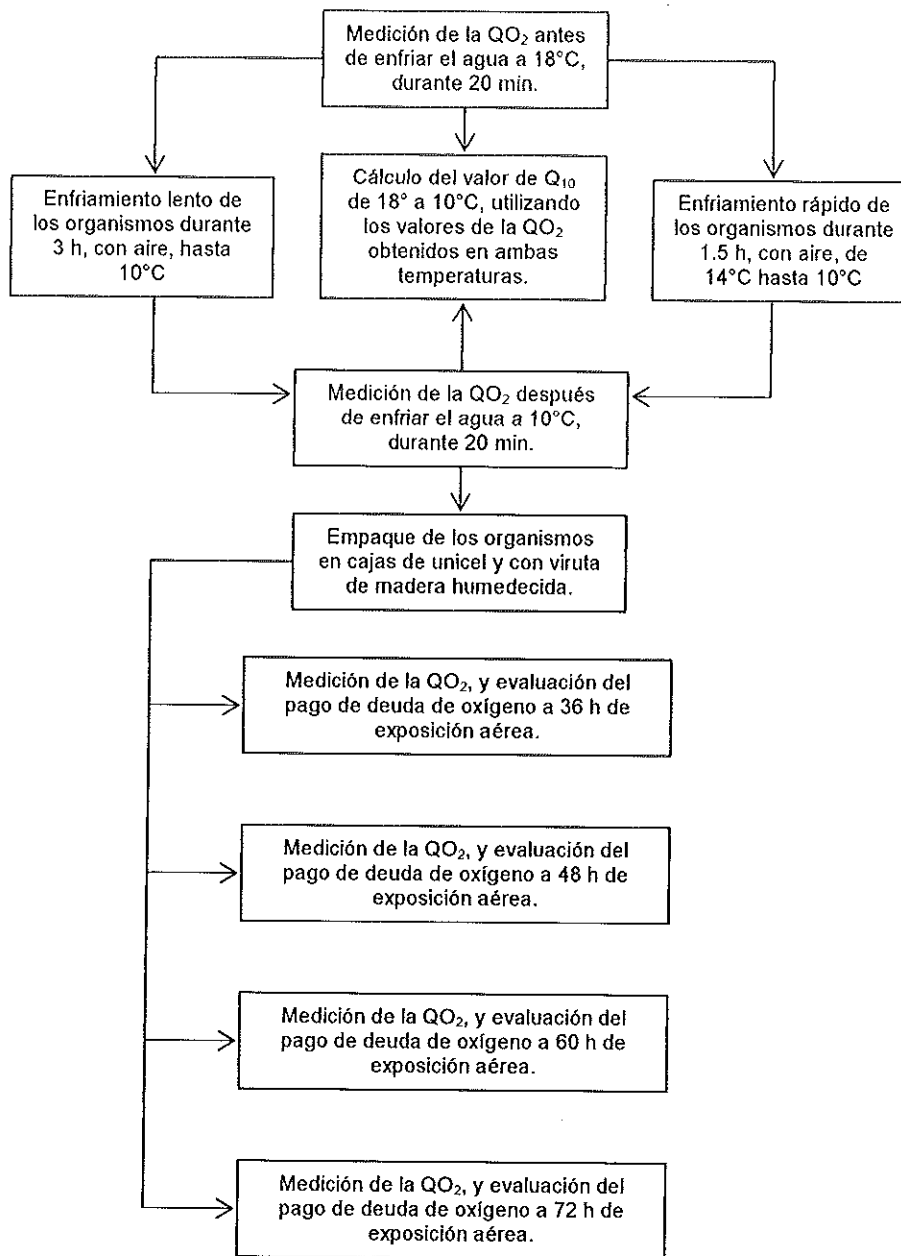


Figura 4. Diagrama de flujo de los experimentos 1 y 2.

Se registro la variación de la temperatura en el interior de las cajas, introduciendo un termómetro en la parte inferior. De estos dos grupos se sacaron aleatoriamente tres langostas del empaque a las 36 h, 48 h, 60 h y 72 h de exposición aérea, para medir la  $QO_2$  y determinar si existió un pago de deuda de oxígeno.

Para determinar el tiempo que estarían las langostas dentro de las cámaras y medir el consumo de oxígeno, se colocaban los organismos dentro de éstas y se cerraban conforme lo mencionado anteriormente. Cuando los organismos se encontraban dentro se llenaban las cámaras respiratorias, asegurándose que no quedara ninguna burbuja, y se iniciaba a medir el oxígeno en las cámaras. De acuerdo a la primera medición se calculaba el 70% de la concentración de oxígeno, esto, para tomar el tiempo que se tardaba en alcanzar dicho porcentaje y poder cambiar el agua, esta operación se realizó para medir la  $QO_2$  a temperatura ambiente ( $18^{\circ}C$ ) y también cuando se alcanzaba la temperatura de empaque ( $10^{\circ}$  y  $7^{\circ}C$ ). Las mediciones de la  $QO_2$  a cada temperatura se repitió cuatro o dos veces por organismo, en general el tiempo que se tardaban en alcanzar el 70% fue de cinco minutos a temperatura ambiente y de 10 minutos a temperatura de empaque. La toma de datos era cuando se cerraban las llaves de las cámaras y se estabilizaba el oxímetro.

El pago de la deuda de oxígeno se midió con la  $QO_2$  a temperatura ambiente ( $18^{\circ}C$ ) como se mencionó anteriormente, para poder observar el efecto de la exposición aérea en el empaque durante su recuperación al regresarlas al agua. Esta medición se realizó a las horas que se mencionaron anteriormente, sacando un grupo de tres langostas aleatoriamente por cada hora. Para cada organismo se repitió la medición 18 veces, para poder efectuar los cambios de agua, que representó 90 minutos de medición, después de esto, las langostas eran regresadas a los tanques donde eran mantenidas antes de los experimentos, se mantuvieron en observación y se les dio calamar fresco a saciedad.

## 2.4 Método de empaque.

A partir de los experimentos descritos arriba y del experimento para probar el sistema, se realizaron algunas modificaciones buscando optimizar los tiempos de sobrevivencia mediante la investigación de respuestas fisiológicas de *P. interruptus* (Fig. 5). El método de empaque realizado por los laboratorios de empaque consisten básicamente en recibir la langosta, separar la viva de la débil, para ser colocadas en tinas con agua de mar (sistema cerrado) y antes del empaque la someten a la disminución de la temperatura, que puede ir desde los 18° a los 10°C en un tiempo variable desde 2 a 6 h según cada laboratorio.

### 2.4.1 Experimentos 3 y 4.

Para estos dos experimentos se enfrió el agua en 90 minutos. A partir de estos experimentos las langostas fueron sacadas de los tanques donde eran mantenidas durante 12 h previas a empezar el experimento, esto, debido a que es aproximadamente el tiempo que tardan en llegar de los campos pesqueros hasta los laboratorios de empaque comercial. Después de cumplir con este tiempo, se formaron dos grupos aleatoriamente de nueve langostas y se colocaron en tambos de 200 l de capacidad durante cuatro horas, que es el tiempo en que se limpian los desechos inorgánicos. Se colocaron a una densidad de un organismo en 16 l. A uno de los grupos se les colocó aireación (experimento 3) y al otro no (experimento 4) durante las 4 h. El tiempo de enfriamiento y la medición de consumo de oxígeno se realizó como se describe en los experimentos 1 y 2. En estos experimentos se eliminó la medición de la deuda de oxígeno a las 36 h, y se mantuvieron los otros tres tiempos antes mencionados.

### 2.4.2 Experimento 5.

Este experimento sólo tuvo un grupo de seis langostas escogidas aleatoriamente, las cuales se mantuvieron con aireación durante las 4 h de limpieza de desechos inorgánicos. Se enfriaron en 90 minutos hasta alcanzar 7°C, y se sacaron del empaque

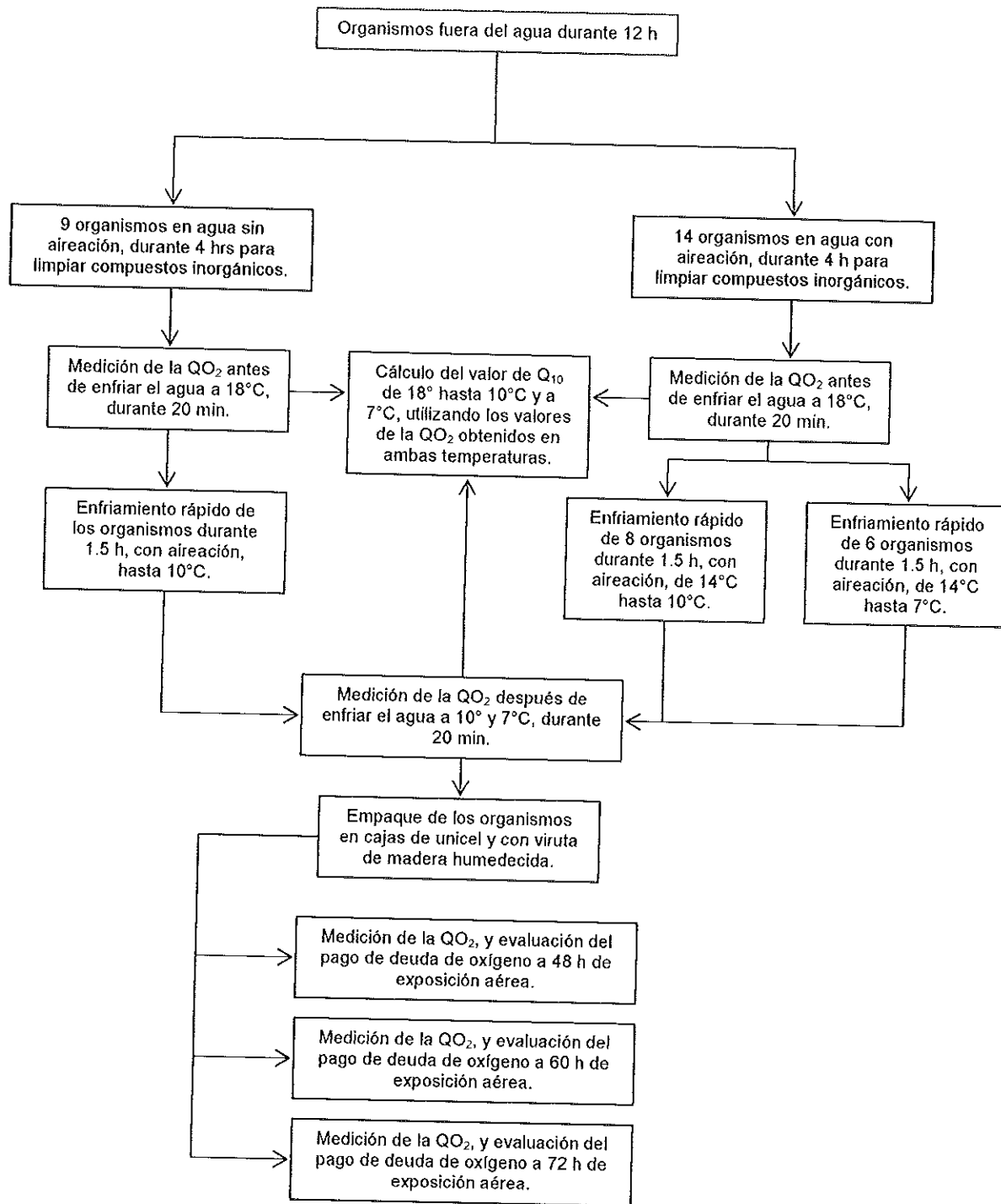


Figura 5. Diagrama de flujo de los experimentos 3, 4 y 5.

### 2.4.2 Experimento 5.

Este experimento sólo tuvo un grupo de seis langostas escogidas aleatoriamente, las cuales se mantuvieron con aireación durante las 4 h de limpieza de desechos inorgánicos. Se enfriaron en 90 minutos hasta alcanzar 7°C, y se sacaron del empaque a las 60 h y 72 h evaluando la  $QO_2$  para determinar si existió un pago de deuda de oxígeno.

### 2.5 Determinación de la $QO_2$ , deuda de oxígeno y $Q_{10}$ .

Al determinar la  $QO_2$  y la deuda de oxígeno, se midió el consumo de oxígeno tal como se describe anteriormente, el dato que daba el oxímetro era en  $mg\ O_2.l^{-1}$  por lo que se convirtieron las unidades en  $ml\ O_2.l^{-1}$ . Los datos que dio cada langosta se expresaron como la respiración del peso específico por hora para poder compararlos, obteniendo las siguientes unidades  $ml\ O_2.g^{-1}.h^{-1}$ . La medición del consumo de oxígeno en las cámaras respiratorias se llevó a cabo con tres oxímetros modelo YSI 55.

La  $QO_2$  se calculó de la forma siguiente:

$$QO_2 = \left[ \left( \frac{PPM}{t} \right) * (60) * \left( \frac{1}{\rho} \right) (V) \right] / (P)$$

Donde:

PPM = partes por millón de oxígeno (diferencia entre las medidas de oxígeno disuelto).

t = tiempo de medición (min.).

$\rho$  = densidad del oxígeno (1.4290 g/l).

P = peso de la langosta (g).

V = volumen de la cámara menos lo desplazado por la langosta (l).

$QO_2$  = tasa metabólica ( $ml\ O_2.g^{-1}.h^{-1}$ ).

El  $Q_{10}$  se calculó mediante la fórmula descrita por Prosser (1973):

$$Q_{10} = \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}}$$

Donde:

$Q_{10}$  = factor de cambio metabólico.

$R_1$  =  $QO_2$  a la temperatura 1.

$R_2$  =  $QO_2$  a la temperatura 2.

$T_1$  = Temperatura 1.

$T_2$  = Temperatura 2.

## 2.6 Análisis estadístico.

A los datos de la  $QO_2$  previos al enfriamiento ( $18^\circ C$ ) y a temperatura de empaque ( $10^\circ C$  y  $7^\circ C$ ) se le aplicó la prueba de suma de rangos de Mann-Whitney para saber si existían diferencias significativas.

Se aplicó una 't' de student para determinar si existieron diferencias significativas con la  $QO_2$  a  $18^\circ C$  entre los experimentos. Se aplicó la misma prueba a  $10^\circ$  y  $7^\circ C$ .

Para saber el efecto de cada experimento y las horas en que se midió  $QO_2$  de las diferentes langostas después de la exposición aérea dentro del empaque, se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Para determinar las diferencias entre cada hora de cada empaque, se hizo una prueba a posteriori de Tukey.

Las pruebas se aplicaron por medio del software Sigmastat de Jandel Software Corp., versión 2.1.

### 3. Resultados.

#### 3.1 $QO_2$ , deuda de oxígeno y $Q_{10}$ de los experimentos 1 y 2.

##### 3.1.1 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 1.

Se probó la normalidad de los datos de la  $QO_2$  a 18° y a 10°C, resultando negativa. Por lo que se aplicó la prueba de suma de rangos de Mann-Whitney, donde si hubo una diferencia significativa en la  $QO_2$  a las dos temperaturas ( $P = <0.001$ ).

Los valores obtenidos durante la medición de la  $QO_2$  de las 12 langostas del experimento 1, mostraron el efecto que ocasionó la disminución de la temperatura. A 18°C las langostas tuvieron una  $QO_2$  promedio de 0.070 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  y 0.037 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  a 10°C (Tabla I). El efecto sobre el metabolismo fue determinado mediante un valor, por el cual se aumenta la velocidad de reacción al elevarse la temperatura 10°C ( $Q_{10}$ ) y el valor promedio de  $Q_{10}$  obtenido de la disminución de la temperatura (Tabla I) fue de 2.4 unidades.

**Tabla I.** Datos de  $QO_2$  (ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de *P. interruptus* a temperatura ambiente (18°C) y de empaque (10°C), del experimento 1. Valores de  $Q_{10}$  de 18°C a 10°C de cada organismo.

Langosta	$QO_2$ 18°C (ml $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$QO_2$ 10°C (ml $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$Q_{10}$ (18°C a 10°C)
1	0.089	0.065	1.5
2	0.045	0.036	1.3
3	0.083	0.032	3.2
4	0.077	0.026	3.9
5	0.094	0.056	1.9
6	0.085	0.050	2.0
7	0.057	0.021	3.5
8	0.066	0.037	2.1
9	0.076	0.038	2.4
10	0.055	0.035	1.7
11	0.055	0.028	2.4
12	0.053	0.021	3.1
	Promedio = 0.070 desv. std = 0.02	Promedio = 0.037 desv. std = 0.01	Promedio = 2.4 desv. std = 0.8

### 3.1.2 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 1.

Los valores de la  $QO_2$  de las langostas que a las 36 h de haber permanecido empacadas, fueron en promedio mayores a los previos al enfriamiento de 18°C a 10°C. Durante los 90 minutos de medición (Fig. 6a). Las langostas 9 y 3 consumieron en promedio 0.055 y 0.066 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  respectivamente, mientras que la langosta 4 presentó 0.068 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ , pero con oscilaciones periódicas más marcadas que la 9 y 3 no presentaron (Fig. 6a).

Los valores de la  $QO_2$  de este grupo de langostas durante el tiempo de medición, tienden a disminuir ligeramente conforme avanza el tiempo (Fig. 6a).

Las langostas 5, 7 y 8 que se les midió la  $QO_2$  a las 48 h de exposición aérea dentro del empaque, en promedio cada una, a diferencia de los organismos de 36 h, tuvieron valores promedio de la  $QO_2$  más altos que antes de enfriar el agua, 0.105, 0.107 y 0.096 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  respectivamente (Fig. 6c).

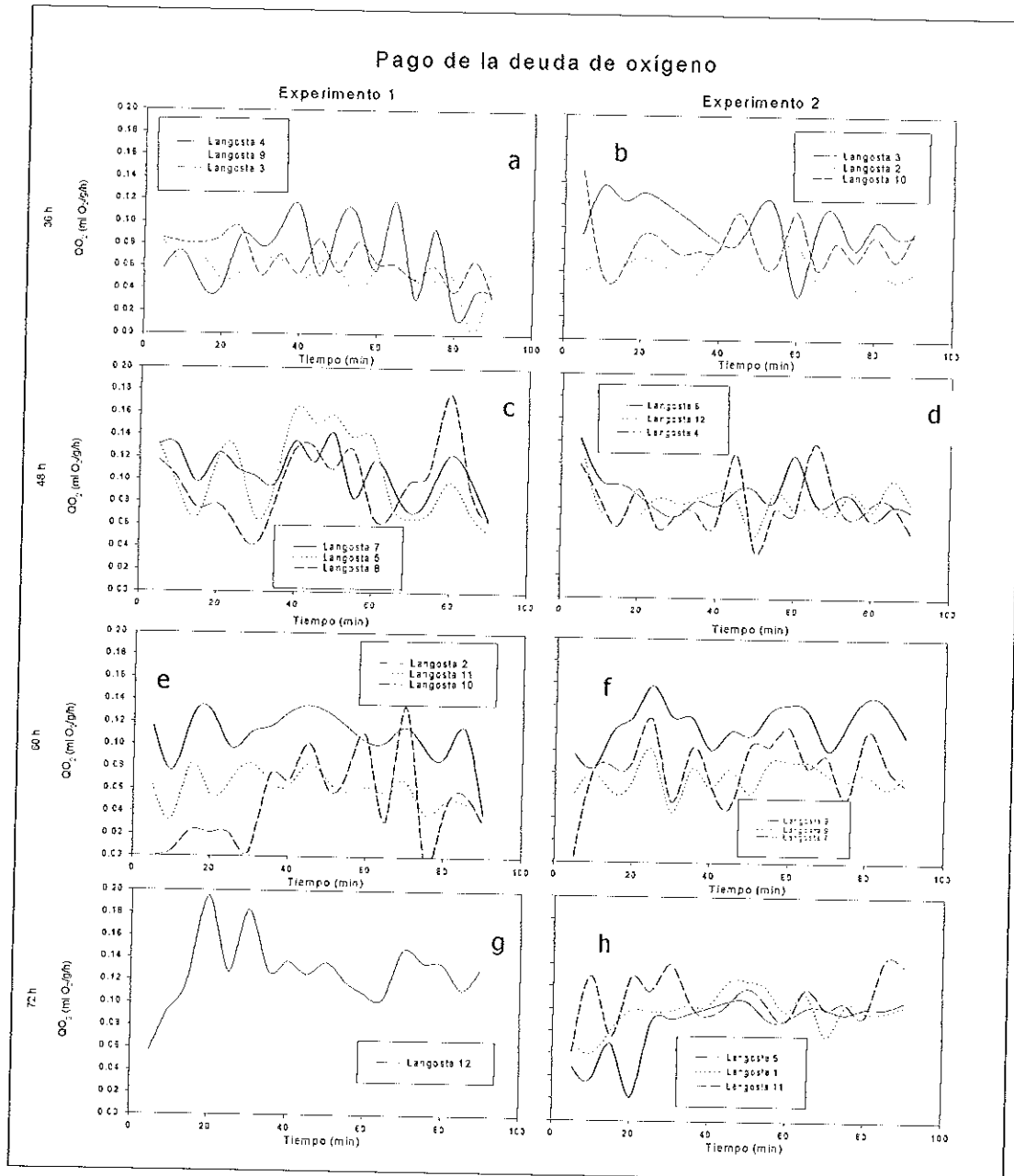
Los tres organismos que estuvieron expuestos al aire 48 h, presentaron oscilaciones periódicas durante los 90 minutos de medición. Los primeros 30 minutos disminuyó la  $QO_2$ , de los 40 a los 60 minutos aumenta la  $QO_2$  y finalmente vuelve a disminuir. Ninguna de las langostas estabilizó su  $QO_2$ .

A las 60 h de estar empacadas, se sacaron las langostas 2, 10 y 11. La  $QO_2$  promedio evaluada a este tiempo para la 2 y 11 fue mayor 0.108 y 0.061 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  respectivamente que los previos a enfriar el agua, mientras que la 10 tuvo una  $QO_2$  menor 0.048 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  (Fig. 6e) con respecto a antes del enfriamiento. Una vez que fue colocada en el tanque donde se mantuvieron, no se pudo recuperar y murió al día siguiente.

Las langostas 2 y 11 presentaron oscilaciones periódicas con un comportamiento similar durante los 90 minutos de medición, donde los primeros 40 minutos elevan la  $QO_2$  y después empezaron a disminuir su  $QO_2$  continuando con las oscilaciones.

Las langostas 1 y 6 se sacaron muertas del empaque a las 72 h (Fig. 6g). La langosta 12 resistió 72 h de estar expuesta al aire. La  $QO_2$  promedio de esta langosta fue de  $0.128 \text{ ml O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , de la misma manera que el grupo anterior, fue mayor que antes de enfriar el agua  $0.053 \text{ ml O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Al inicio de la medición, la langosta 12 presentó una  $QO_2$  baja y entre el minuto 20 y 30 alcanzó sus máximos con algunas oscilaciones, representando una recuperación. Sin embargo a partir del minuto 30 pareció que el organismo empezó a estabilizar la  $QO_2$  y a reflejar el pago de la deuda de oxígeno.



**Fig. 6.** Valores de la  $QO_2$  ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de langostas *P. interruptus* que estuvieron en el experimento 1 y 2 a los diferentes tiempos de estar empacadas (36 h, 48 h, 60 h y 72 h). Estas mediciones se realizaron a  $18^\circ C$  durante 90 minutos para determinar el pago de la deuda de oxígeno.

### 3.1.3 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 2.

Se probó la normalidad de los datos de  $QO_2$  a 18°C y a 10°C, resultando negativa. Por lo que se aplicó la prueba de suma de rangos de Mann-Whitney, donde si hay una diferencia significativa en la  $QO_2$  a las dos temperaturas ( $P = <0.001$ ).

Los valores de la  $QO_2$  obtenidos mediante el consumo de oxígeno de las 12 langostas del experimento 2, de 18° a 10°C mostraron el efecto que ocasionó la disminución de la temperatura. A 18°C las langostas tuvieron una  $QO_2$  promedio de 0.066 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  y a 10°C fue de 0.031 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  (Tabla I). El efecto sobre el metabolismo fue determinado a través del factor  $Q_{10}$ . El valor promedio obtenido fue de 2.9 unidades.

**Tabla II.** Datos de  $QO_2$  (ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de *P. interruptus* a temperatura ambiente (18°C) y de empaque (10°C), del experimento 2. Valores de  $Q_{10}$  de 18°C a 10°C de cada organismo.

Langosta	$QO_2$ 18°C (ml $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$QO_2$ 10°C (ml $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$Q_{10}$ (18°C a 10°C)
1	0.073	0.037	2.4
2	0.071	0.030	2.9
3	0.077	0.023	4.6
4	0.066	0.020	4.4
5	0.071	0.043	1.9
6	0.066	0.024	3.5
7	0.035	0.024	1.6
8	0.047	0.025	2.2
9	0.062	0.030	2.4
10	0.079	0.060	1.4
11	0.073	0.029	3.2
12	0.078	0.024	4.4
	Promedio = 0.066 desv. std = 0.01	Promedio = 0.031 desv. std = 0.01	Promedio = 2.9 desv. std = 1.1

### 3.1.4 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 2.

Los valores de la  $QO_2$  de las langostas (2, 3 y 10) que permanecieron 36 h fuera del agua empacadas, se encontró que para la langosta 2 fue en promedio mayor con respecto a la  $QO_2$  antes de disminuir la temperatura de  $18^\circ$  a  $10^\circ\text{C}$ . Mientras que la 3 y 10 tuvieron valores promedio de la  $QO_2$  más altos. Durante los 90 minutos de medición (Fig. 6b) la  $QO_2$  promedio para la 2, 3 y 10 fue de  $0.068$ ,  $0.103$  y  $0.086 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  respectivamente.

Los valores de la  $QO_2$  durante los primeros 40 minutos de medición, no presentan oscilaciones. Sin embargo del minuto 50 en adelante empezaron a presentarlas y estabilizaron la  $QO_2$ .

Los valores promedio de la  $QO_2$  obtenidos de las langostas 4, 6 y 12 que estuvieron empacadas en el experimento 2 durante 48 h fueron en promedio  $0.084$ ,  $0.092$  y  $0.087 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  respectivamente (Fig. 6d). Los datos obtenidos fueron mayores con respecto a los obtenidos antes de disminuir la temperatura ( $18^\circ\text{C}$ ).

Es notable que durante el tiempo de medición de la  $QO_2$ , los primeros 15 minutos, disminuyeron su  $QO_2$ , después de este tiempo, las langostas presentaron oscilaciones periódicas, reflejando un pago de la deuda de oxígeno (Fig. 6d).

Las langostas que estuvieron empacadas 60 h (7, 8 y 9), tuvieron valores promedio de la  $QO_2$  de  $0.084$ ,  $0.123$ ,  $0.076 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  respectivamente, siendo menores que la  $QO_2$  previa a disminuir la temperatura del agua ( $18^\circ\text{C}$ ).

Es importante mencionar, que estos organismos durante los primeros 25 minutos aumentaron la  $QO_2$ , reflejando una recuperación al tiempo de exposición aérea. Después de este tiempo, la  $QO_2$  se estabilizó, principalmente la langosta 9 (Fig. 6d).

La  $QO_2$  a las 72 h de las langostas que estuvieron empacadas (1, 5 y 11), tuvieron valores promedio de 0.098, 0.086 y 0.109  $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  respectivamente. Estos datos fueron mayores que antes de disminuir la temperatura del agua (Fig. 6f).

A diferencia de las langostas del experimento 1, las langostas del experimento 2 si resistieron el tiempo máximo de exposición aérea. Cabe resaltar que los primeros 25 minutos de medición, los organismos presentaron valores de la  $QO_2$  que tendieron a subir, pero después de este tiempo se estabilizaron, reflejando el pago de la deuda de oxígeno (Fig. 6f).

Otro aspecto que cabe resaltar que las langostas que se mantuvieron 36 h y 48 h empacadas, tuvieron un comportamiento similar, en el que conforme avanza el tiempo de medición, la  $QO_2$  fue disminuyendo. Mientras que las que estuvieron empacadas 60 h y 72 h, primero tendieron a aumentar la  $QO_2$  reflejando una recuperación y después un pago de la deuda de oxígeno.

Se comparó la  $QO_2$  a 18°C entre las langostas del experimento 1 y 2. Se evaluó mediante una 't' de student donde fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) y no se excluye la posibilidad que este resultado sólo sea debido a la variabilidad de los organismos.

Para las mismas langostas del experimento 1 y 2 se comparó la  $QO_2$  a 10°C. Se evaluó con una 't' de student, donde fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Los datos del pago de la deuda de oxígeno no fueron normales. Por lo que se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, que mostró diferencias significativas influenciadas por el tipo de empaque (experimento 1 y 2) y el tiempo de emersión (36 h, 48 h, 60 h y 72 h) sobre la  $QO_2$  de cada organismo a los diferentes tiempos de duración de exposición aérea (Tabla III).

En el análisis a posteriori (Tukey), se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los dos tipos de empaque. Al comparar los datos por cada hora de medición del

empaques del experimento 1, no hay diferencia significativa ( $P < 0.50$ ) solamente entre las 36 h y 60 h. Lo que corresponde a los datos por cada hora de medición del experimento 2, son diferentes significativamente ( $P > 0.05$ ).

**Tabla III.** Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis del efecto del empaque (exp. 1 y exp. 2), tiempo de exposición (36 h, 48 h, 60 h, 72 h) sobre la  $QO_2$  de langostas *P. interruptus* de ambos experimentos.

Efecto	g.l. efecto	Cuadrados medios del efecto	Cuadrados medios del error	F	Significancia
Empaque	1	0.0479	0.0479	40.753	<0.001
Hora	3	0.0394	0.0131	11.157	<0.001
Empaque-Hora	3	0.0674	0.0225	19.110	<0.001

### 3.2 $QO_2$ , deuda de oxígeno y $Q_{10}$ de los experimentos 3, 4 y 5.

#### 3.2.1 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 3.

Los datos de la  $QO_2$  a 18°C y a 10°C de este experimento, previos al empaque no fueron normales. Por esta razón, se aplicó una prueba de suma de rangos de Mann-Whitney, donde si hay una diferencia significativa del  $QO_2$  entre las dos temperaturas ( $P = < 0.001$ ).

El efecto que causó la disminución de la temperatura en la  $QO_2$  de las nueve langostas que estuvieron en el experimento 3, que se mantuvo con aireación durante las cuatro horas previas al enfriamiento, los valores promedio de la  $QO_2$  a temperatura de empaque (10°C) fueron menores con respecto a la temperatura ambiente (18°C). Teniendo una  $QO_2$  promedio de 0.111 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  a 18°C y de 0.065 ml  $O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  a 10°C. El valor promedio de  $Q_{10}$  fue de 2.5 unidades (Tabla IV).

**Tabla IV.** Datos de  $QO_2$  ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de *P. interruptus* a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $10^\circ C$ ), del experimento 3. Valores de  $Q_{10}$  de  $18^\circ C$  a  $10^\circ C$  de cada organismo.

Langosta	$QO_2$ a $18^\circ C$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$QO_2$ a $10^\circ C$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$Q_{10}$ ( $18^\circ C$ a $10^\circ C$ )
1	0.181	0.095	2.2
2	0.144	0.034	6.1
3	0.114	0.057	2.4
4	0.127	0.113	1.2
5	0.068	0.030	2.7
6	0.075	0.036	2.5
7	0.087	0.095	0.9
8	0.125	0.091	1.5
9	0.077	0.033	2.9
	Promedio = 0.111 desv. std = 0.04	Promedio = 0.065 desv. std = 0.03	Promedio = 2.5 desv. std = 1.5

### 3.2.2 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 3.

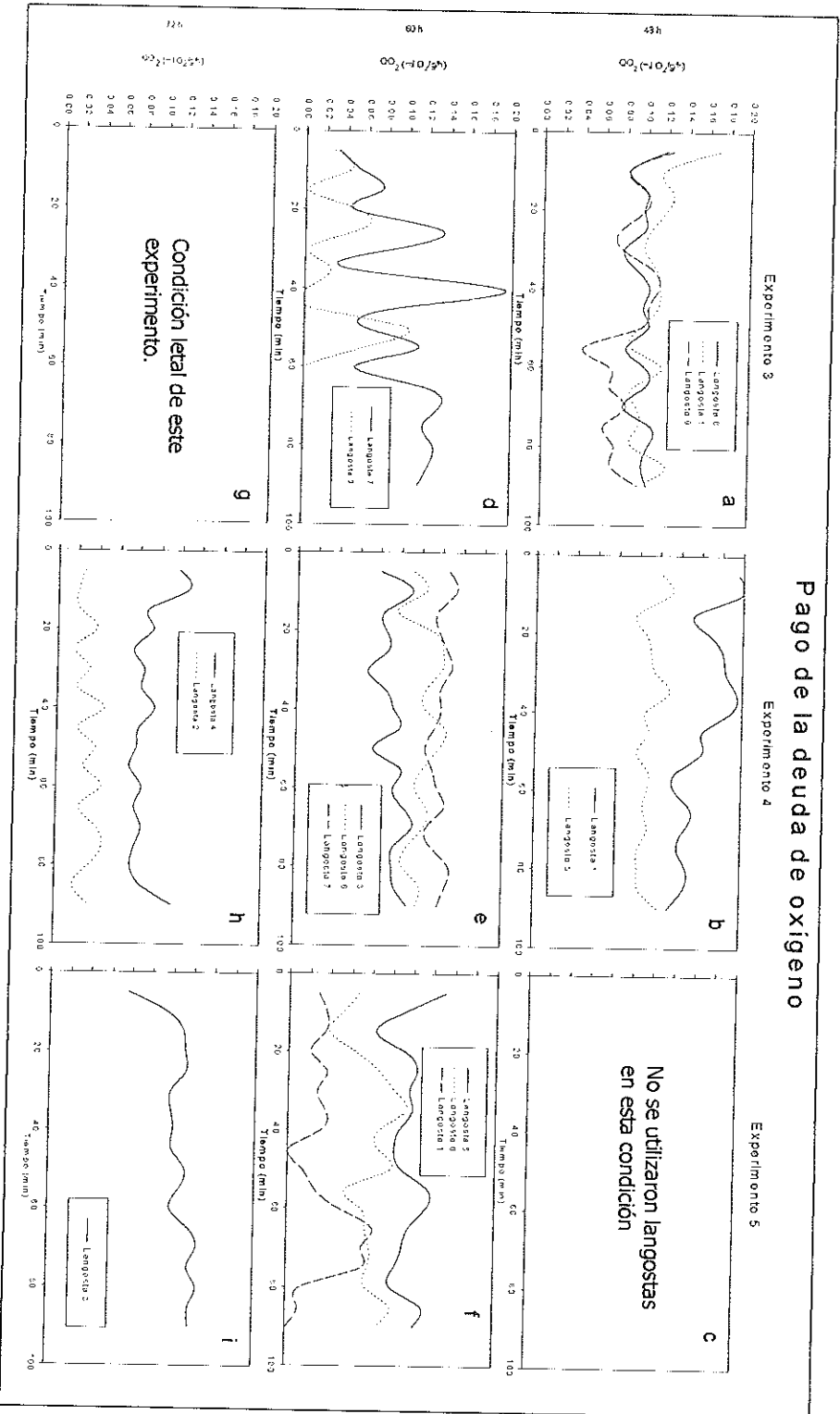
En la  $QO_2$  evaluada de las langostas (1, 8 y 9) a las 48 h de haber estado empacadas, alcanzaron sus máximos 0.165, 0.118 y 0.123  $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  a los cinco minutos y conforme avanzó el tiempo, la  $QO_2$  disminuyó aproximadamente en promedio a 0.09  $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  (Fig. 7a) para los tres organismos. El valor obtenido de la langosta 1 fue menor que la  $QO_2$  que presentó al inicio de la disminución de la temperatura ( $18^\circ C$ ), para la langosta 8 no varió su  $QO_2$ , mientras que la langosta 9 tuvo una  $QO_2$  mayor de la que presentó a  $18^\circ C$ .

Llama la atención, que a los cinco minutos de medición de la  $QO_2$ , cada langosta alcanzó su máximo, pero después de este punto disminuyeron sus valores de la  $QO_2$ , presentando oscilaciones periódicas como la mayoría de los organismos de experimentos anteriores (Fig. 7a). En la figura 7a se refleja el pago de la deuda de oxígeno.

Los valores de la  $QO_2$  medidos a las 60 h de haber permanecido empacadas, la langosta 6 salió muerta del empaque. Mientras que la langosta 2, a pesar de que estuvo consumiendo hasta los 55 minutos, ya no se pudo recuperar y también murió (Fig. 7a).

Llama la atención que la langosta 7 fue la única que sobrevivió y alcanzó su máximo valor de la  $QO_2$  en el minuto 40 con  $0.190 \text{ ml } O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ . Durante los últimos 25 minutos se observa que se estabilizó la  $QO_2$ , en promedio  $0.119 \text{ ml } O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ , quedando por arriba de la  $QO_2$  al inicio de la disminución de la temperatura ( $18^\circ\text{C}$ ), reflejando un pago de la deuda de oxígeno.

Las langostas (3, 4 y 5) que quedaron a las 72 h dentro del empaque murieron.



**Fig. 7.** Valores de la  $QO_2$  ( $ml\ O_2\ g^{-1}\ h^{-1}$ ) de langostas *P. interruptus* que estuvieron en el experimento 3, 4 y 5 a los diferentes tiempos de estar empacadas (48 h, 60 h y 72 h). Estas mediciones se realizaron a  $18^\circ C$  durante 90 minutos para determinar el pago de la deuda de oxígeno.

### 3.2.3 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 4.

Los datos de la  $QO_2$  a  $18^\circ\text{C}$  y a  $10^\circ\text{C}$  de este experimento, previos al empaque no fueron normales. Por esta razón, se aplicó una prueba de suma de rangos de Mann-Whitney, donde si hay una diferencia significativa en los valores de la  $QO_2$  entre las dos temperaturas ( $P = <0.001$ ).

El efecto que causó la disminución de la temperatura ( $18^\circ\text{C}$  a  $10^\circ\text{C}$ ) en la  $QO_2$  del grupo de langostas que estuvieron en el experimento 4, sin aireación durante las 4 h previas a la disminución de la temperatura, fue que los valores promedio de la  $QO_2$  a temperatura de empaque ( $10^\circ\text{C}$ ) disminuyó con respecto a la  $QO_2$  a temperatura ambiente ( $18^\circ\text{C}$ ). En este experimento la langosta 9 salió lastimada de la parte baja de la zona abdominal durante las 12 h que eran mantenidas fuera del agua, simulando el tiempo que tardan en llegar de los campos pesqueros a los laboratorios de empaque. Por esta razón no fue utilizada para este experimento. No se utilizó otra langosta debido a que no habría estado en las mismas condiciones que las demás.

El grupo de langostas de este experimento tuvieron valores de la  $QO_2$  promedio igual  $0.109 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  (Tabla IV) que el grupo del experimento 3  $0.111 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  a  $18^\circ\text{C}$ . Sin embargo la  $QO_2$  promedio a  $10^\circ\text{C}$  fue de  $0.072 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  siendo mayor que la  $QO_2$  promedio de  $0.065 \text{ ml O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  del experimento 3.

El valor promedio del  $Q_{10}$  de este experimento fue de 2.4 unidades, ligeramente por debajo del obtenido en el experimento anterior (2.5 unidades).

**Tabla V.** Datos de  $QO_2$  ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de *P. interruptus* a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $10^\circ C$ ), del experimento 4. Valores de  $Q_{10}$  de  $18^\circ C$  a  $10^\circ C$  de cada organismo.

Langosta	$QO_2$ a $18^\circ C$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$QO_2$ a $10^\circ C$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$Q_{10}$ ( $18^\circ C$ a $10^\circ C$ )
1	0.090	0.086	1.1
2	0.107	0.031	4.7
3	0.092	0.068	1.5
4	0.111	0.168	0.6
5	0.144	0.057	3.2
6	0.101	0.038	3.4
7	0.102	0.081	1.3
8	0.128	0.050	3.2
9	No se utilizó	No se utilizó	No se utilizó
	Promedio = 0.109 Desv. std = 0.02	Promedio = 0.072 desv. Std = 0.04	Promedio = 2.4 desv. std = 1.5

### 3.2.4 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 4.

Los valores promedio de la  $QO_2$  del grupo de langostas (1 y 5) que se sacaron del empaque a las 48 h (Fig. 7b), la langosta 5 tuvo una  $QO_2$  menor que la 1, sin embargo, con respecto a la  $QO_2$  al inicio del acondicionamiento térmico ( $18^\circ C$ ). La langosta 1 tuvo un promedio de la  $QO_2$  de  $0.162\ ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  siendo mayor que la previa al enfriamiento del agua a  $18^\circ C$  y no se pudo recuperar. Mientras que la 5 presentó una  $QO_2$  promedio de  $0.111\ ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  y tampoco recuperó.

Cabe resaltar en la figura 14, que durante los primeros 40 minutos, ambas langostas presentaron oscilaciones de la  $QO_2$  y al final reflejaron un pago de la deuda de oxígeno, con oscilaciones periódicas.

Las langostas (3, 6 y 7) que se les determinó la  $QO_2$  a las 60 h de haber estado empacadas (Fig. 7e), presentaron una  $QO_2$  con oscilaciones periódicas. Sin embargo, sólo la langosta 3 tuvo una  $QO_2$  promedio de  $0.093\ ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ , similar al que presentó previo al enfriamiento del agua, mientras que las langostas 6 y 7 tuvieron una  $QO_2$  más alta a la obtenida a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ).

Lo interesante de este grupo de langostas, es que mantuvieron casi constante su  $QO_2$  durante la medición (Fig. 7e).

A las 72 h de haber estado empacadas (Fig. 7h), la langosta 8 se sacó muerta del empaque. La langosta 4 al final de la medición, alcanzó un valor promedio en la  $QO_2$  previo al enfriamiento del agua de  $0.110 \text{ ml O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Sin embargo, la langosta 2 no recuperó la  $QO_2$  que presentó al inicio del acondicionamiento térmico  $0.105 \text{ ml O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

A diferencia de los experimentos anteriores, a las 72 h de exposición aérea dentro del empaque, llama la atención que las langostas de este experimento no presentaron valores de la  $QO_2$  bajas; tratando de recuperarse sin embargo si efectuaron un pago de la deuda de oxígeno.

### **3.2.5 $QO_2$ y $Q_{10}$ del experimento 5.**

Los datos de la  $QO_2$  a  $18^\circ\text{C}$  y a  $7^\circ\text{C}$  de este experimento, previos al empaque no fueron normales. Por esta razón, se aplicó una prueba de suma de rangos de Mann-Whitney, donde si hubo una diferencia significativa de la  $QO_2$  entre las dos temperaturas ( $P = <0.001$ ).

La tabla V contiene datos de la  $QO_2$  correspondientes al grupo de langostas que se utilizaron en el experimento 5 donde el agua se enfrió hasta  $7^\circ\text{C}$ , el efecto que causó este enfriamiento en la  $QO_2$  causó una disminución hasta  $0.062 \text{ ml O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  a temperatura de empaque siendo parecida a los experimentos anteriores, al igual que a  $18^\circ\text{C}$ .

Sin embargo el valor promedio del  $Q_{10}$  calculado fue de 1.7 unidades, siendo menor con respecto a los experimentos anteriores.

**Tabla VI.** Datos de  $QO_2$  ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de *P. interruptus* a temperatura ambiente ( $18^\circ C$ ) y de empaque ( $7^\circ C$ ), del experimento 5. Valores de  $Q_{10}$  de  $18^\circ C$  a  $7^\circ C$  de cada organismo.

Langosta	$QO_2$ a $18^\circ C$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$QO_2$ a $7^\circ C$ ( $ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ )	$Q_{10}$ ( $18^\circ C$ a $7^\circ C$ )
1	0.076	0.041	1.6
2	0.076	0.048	1.5
3	0.121	0.080	1.5
4	0.069	0.072	1.0
5	0.162	0.051	2.9
6	0.122	0.075	1.6
	Promedio = 0.106 desv. std = 0.04	Promedio = 0.062 desv. std = 0.02	Promedio = 1.7 desv. std = 0.6

### 3.2.6 Pago de la deuda de oxígeno del experimento 5.

En la medición de la  $QO_2$  de las langostas (1, 5 y 6) que permanecieron 60 h dentro del empaque del experimento 5 que se enfrió hasta  $7^\circ C$  y que se mantuvo con aireación durante las cuatro horas previas al enfriamiento del agua, la langosta 1 a pesar de que tuvo valores de  $QO_2$ , al finalizar la medición salió muerta de la cámara respiratoria. La langosta 5 y 6 sobrevivieron y no alcanzaron a recuperar el valor de la  $QO_2$  que presentaron al inicio de la disminución de la temperatura (Fig. 7f).

Llama la atención, que las langostas 5 y 6, comenzaron disminuyendo la  $QO_2$  durante los primeros 15 minutos, seguido de un aumento, efectuando un pago de la deuda de oxígeno (Fig. 7f).

Los valores de la  $QO_2$  a las 72 h de haber permanecido dentro del empaque, sólo la langosta 3 sobrevivió. Mientras que las langostas 2 y 4 estaban muertas. La langosta 3 si alcanzó el valor promedio de la  $QO_2$  de  $0.123\ ml\ O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$  que presentó al inicio del acondicionamiento térmico ( $18^\circ C$ ).

Cabe resaltar, que hasta los primeros 15 minutos, la langosta 3 aumentó su  $QO_2$  adelante efectuando un pago de la deuda de oxígeno (Fig. 7f).

Se comparó la  $QO_2$  a 18°C previa al enfriamiento del agua entre las langostas del experimento 3, 4 y 5. Se evaluó mediante una 't' de student donde fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) y no se excluye la posibilidad que este resultado sólo sea debido a la variabilidad de los organismos.

Para las mismas langostas del experimento 3, 4 y 5 se comparó la  $QO_2$  a 10° y 7°C. Se evaluó con una 't' de student, donde fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) y no se excluye la posibilidad que este resultado sólo sea debido a la variabilidad de los organismos.

Los datos del pago de la deuda de oxígeno no fueron normales. Por lo que se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, que mostró diferencias significativas influenciadas por el tipo de empaque (experimento 3, 4 y 5) y el tiempo de exposición aérea (48 h, 60 h y 72 h), sobre la  $QO_2$  de las langostas (Tabla VII).

En el análisis a posteriori (Tukey), se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los experimentos 4 y 3, así como 4 y 5, mientras que entre el experimento 3 y 5 no fueron significativamente diferentes. Al comparar entre las horas de medición para cada experimento fueron diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ).

**Tabla VII.** Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis del efecto del empaque (experimentos 3, 4 y 5) y tiempo de exposición (36 h, 48 h, 60 h, 72 h) sobre la  $QO_2$  de langostas *P. interruptus*.

Efecto	g.l. efecto	Cuadrados medios del efecto	Cuadrados medios del error	F	Significancia
Empaque	2	0.183	0.0913	54.879	<0.001
Hora	2	0.217	0.109	65.339	<0.001
Empaque-Hora	4	0.366	0.0916	55.041	<0.001

#### 4.- DISCUSIÓN.

Las langostas de la familia Palinuridae, al igual que las de la familia Nephropidae, son capaces de resistir ser empacadas vivas y ser transportadas por tiempos prolongados con poca mortalidad (Paterson y Spanoghe, 1997). Sin embargo es necesario conocer los procesos fisiológicos que realizan durante el proceso de empaque y de esta manera, mejorar la técnica utilizada para que sean empacadas vivas.

Un aspecto importante, es el efecto que causa la disminución de la temperatura sobre el metabolismo de *P. interruptus*. Se sabe que en organismos poiquiloterms como las langostas, esta disminución de temperatura, produce una reducción en la actividad metabólica. De acuerdo con Prosser (1973), al disminuir la temperatura corporal, se mantienen vivas consumiendo oxígeno para el automantenimiento. Este efecto incidirá en el tiempo de sobrevivencia del organismo, durante el tiempo de exposición aérea dentro del empaque, siendo parte del proceso que reciben las langostas cuando son empacadas, ya que se les disminuye la temperatura con la finalidad de disminuir su actividad metabólica.

El oxígeno es necesario en los procesos vitales, dado que proveen de energía a los organismos en forma de ATP durante la respiración aerobia. Prosser (1973) menciona que la respiración interna o metabolismo intermediario es la suma de reacciones enzimáticas, oxidativas y no oxidativas, mediante las cuales se libera energía que se utiliza para el trabajo biológico. Por lo que el metabolismo, se manifiesta en términos de oxígeno consumido, calor producido o bióxido de carbono liberado (Prosser, 1973).

El efecto que produce la disminución de la temperatura en el metabolismo de langostas, se ha evaluado a través de la concentración de urato en la hemolinfa, la afinidad de hemocianina por el  $O_2$ , el pH de la hemolinfa, el balance ácido-base, concentración de lactato en hemolinfa, concentración de  $CO_2$ , que son reacciones y productos que se forman durante la respiración de estos organismos (Morris y Oliver, 1999a y b; Taylor y Waldron, 1997, Pritchard y Taylor, 1999).

En particular, la disminución de la temperatura en las langostas induce a la disminución de su metabolismo, donde los organismos respiran sólo para sobrevivir y no para alimentarse o tener actividad que requieran mayor energía. Donde la supervivencia en crustáceos acuáticos a la exposición aérea es favorecida por la disminución de su metabolismo, especialmente cuando son empacadas por tiempo prolongado (Morris y Oliver, 1999a). Cabe mencionar, que crustáceos intermareales en su medio natural están expuestos a estar fuera del agua por algún tiempo, por lo que tienen la capacidad de sobrevivir, bajo estas condiciones. Sin embargo, *P. interruptus*, es un crustáceo submareal que no presenta este tipo de exposición aérea en su medio natural, pero tiene mecanismos que le permiten resistir estar fuera del agua.

#### 4.1 Experimento 1 y 2.

##### 4.1.1 $QO_2$ durante el enfriamiento del agua y valores de $Q_{10}$ .

Los datos correspondientes a la  $QO_2$  de los experimentos 1 y 2, previos a la disminución de la temperatura del agua (18°C) y a la temperatura de empaque (10°C) fueron significativamente diferentes  $P < 0.05$  (Tabla I y II) respectivamente, es decir la disminución de la temperatura si afectó su metabolismo disminuyéndolo.

Sin embargo, al comparar la  $QO_2$  en 18°C son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) previo a ser enfriadas para los dos experimentos, esto pudo ser debido a la variabilidad natural de los organismos. Ya que, las langostas de ambos experimentos estuvieron bajo las mismas condiciones previas a la disminución de la temperatura.

Los valores de la  $QO_2$  en 10°C si fueron significativos ( $P < 0.05$ ), donde si afecto a la  $QO_2$  el tiempo de enfriamiento del agua, de estar en una condición en la que son enfriadas durante 3 h (experimento 1) a estar 1.5 h enfriándose. La  $QO_2$  de las langostas del experimento 2 fue menor en 10°C con respecto a las del experimento 1.

Para lo anterior, el hecho de permanecer más tiempo enfriándose las langostas del experimento 1, provocaría que la biomasa metabólicamente activa se alcanzara a enfriar en su totalidad, mientras que al estar menos tiempo no lo lograrían. Al finalizar el tiempo de enfriamiento en el experimento 1 las langostas parecían estar ya aclimatadas a la temperatura de empaque, tomando en cuenta que se enfriaron desde 18°C hasta 10°C, mientras que las langostas del experimento 2, después de haber medido la  $QO_2$  a 18°C, se colocaron en agua a 14°C hasta enfriarlas a 10°C. Al ser sacadas del agua para medir su  $QO_2$  a 10°C estaban con poca actividad, como si estuvieran entumidas, al parecer esto les ocasionó un "shock" térmico al ser colocadas rápidamente de 18°C en agua a 14°C, que posteriormente benefició su resistencia a la exposición aérea. Esta técnica, por la cual se da un "shock" térmico a las langostas, se realiza con *Jasus edwardsii* en Australia, obteniendo un alto porcentaje de sobrevivencia a la exposición aérea dentro del empaque comercial (Morris y Oliver, 1999a).

Al disminuir la  $QO_2$  cuando se baja la temperatura de 18° a 10°C, se espera una disminución en las funciones biológicas de los organismos. Nakamura *et al* (1994) encontraron para *P. japonicus* que su ritmo cardiaco disminuye de 45.5 pulsaciones/min a 20°C hasta 28 pulsaciones/min a 15°C durante invierno y de 99.5 pulsaciones/min hasta 67 pulsaciones/min a las mismas temperaturas durante primavera a otoño, teniendo valores de  $Q_{10}$  de 2.6 y 2.2 unidades para cada estación. Por lo que se puede esperar una disminución marcada para *P. interruptus* en este experimento como producto de la disminución de la temperatura, donde se obtuvieron valores promedio de  $Q_{10}$  de 2.4 y 2.9 para los experimentos 1 y 2 respectivamente. Esto es una respuesta a la disminución de la temperatura debido a la baja disponibilidad de energía de dos veces menos.

Paterson y Spanoghe (1997) y Díaz-Iglesias *et al* (1975), mencionan que el estrés ocasionado por la pesca y manejo de los organismos previo al empaque, genera mortalidad durante el tiempo que permanecen dentro del empaque. Las langostas que fueron utilizadas para estos experimentos, fueron tomadas directamente de los contenedores de plástico donde eran mantenidas. Lo anterior, señala que al no haber

sufrido el estrés previo a ser enfriadas y empacadas, llegaron en buenas condiciones al momento en el que se empezó a disminuir la temperatura del agua.

Para las langostas de los experimentos 1 y 2, los valores promedio de  $Q_{10}$  fueron de 2.4 y 2.9 respectivamente, significa que quedaron en una zona de subcompensación, siendo mayor para las langostas que fueron enfriadas en 1.5 h (experimento 2). La disminución de la temperatura entre 10° y 25°C ocasiona una disminución en el ritmo cardíaco, que frecuentemente presenta valores de  $Q_{10}$  de 2 para crustáceos (Nakamura *et al*, 1994; Morris y Oliver, 1999a). Se han encontrado valores de  $Q_{10}$  para *P. japonicus* de 2.2 en verano en disminución de temperatura de 20°C a 15°C y de 2.6 en invierno con el mismo rango de temperatura (Nakamura *et al*, 1994). Morris y Oliver (1999a) reportan valores de  $Q_{10}$  para *J. edwardsii* de 3.05 en un rango de temperatura de 18° a 13°C.

#### **4.1.2 Pago de la deuda de oxígeno.**

La supervivencia de las langostas durante el tiempo que llegue a durar el empaque, es por su resistencia a la exposición aérea, ya que deben de poner en marcha mecanismos que les ayudan a sobrevivir (Morris y Oliver, 1999b). Morris y Oliver (1999a), mencionan que durante la exposición aérea las branquias se colapsan, reduciendo el área superficial para el intercambio gaseoso, por lo que la concentración de  $CO_2$  en el interior de las langostas tiende a aumentar. Estos son algunos de los efectos que causa la exposición aérea en estos crustáceos.

Crear y Forteath (2001) mencionan que cuando las langostas son devueltas al agua, son capaces de recuperar cualquier perturbación fisiológica causada por la exposición aérea, donde una variedad de procesos toman lugar durante la reinmersión. Los productos finales de la respiración anaerobia son desechados de los tejidos y las variaciones de pH son corregidas. Una manifestación de la recuperación de un organismo, es la reanudación de los procesos celulares esenciales, que se lleva a cabo por un periodo en el que el consumo de oxígeno es por arriba de lo normal, proceso conocido como deuda de oxígeno (Crear y Forteath, 2001).

Crear y Forteath (2001) encontraron que en *P. cygnus*, la concentración de lactato en la hemolinfa aumenta al ser devueltas al agua, debido a la alta demanda de energía requerida para procesos vitales, este aumento de la concentración de lactato es una muestra de que existe un pago de la deuda de oxígeno.

Cuando se comparó el efecto que causó las condiciones de los dos experimentos, en las supervivencia de las langostas a la exposición aérea, fueron diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ). Donde el tiempo de enfriamiento en el experimento 2 favoreció la resistencia a la exposición aérea, teniendo un tiempo de resistencia de 72 h. Mientras que en el experimento 1, como se mencionó anteriormente, no tuvo el efecto del "shock" térmico y las langostas sobrevivieron un tiempo de 60 h de exposición aérea. El tiempo de exposición aérea fue otro aspecto importante que incidió en la resistencia de las langostas a este estrés. Conforme avanzaba el tiempo de exposición aérea, las langostas se vieron afectadas en su supervivencia, de esta manera, el pago de la deuda de oxígeno aumentó conforme mayor fue el tiempo de exposición aérea. Salvo las langostas del experimento 1 a las 60 h de exposición aérea, que su valor promedio de la  $QO_2$  fue menor que las langostas con 48 h, esto podría ser debido a que durante los 90 minutos de medición a pesar de que su  $QO_2$  fue mayor que previo al enfriamiento, no pudieron efectuar completamente el pago de la deuda de oxígeno, además que a las 60 h se murió una langosta, es decir, este tiempo de exposición aérea fue letal para los organismos del experimento 1.

Los organismos que fueron tomados después de 36 h de exposición aérea (Fig. 6a y 6e), de los experimentos 1 y 2 tuvieron entre las tres langostas de cada experimento, valores de la  $QO_2$  menor y mayor respectivamente a los que presentaron previos al enfriamiento del agua a la misma temperatura ( $18^\circ\text{C}$ ), siendo diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ). La  $QO_2$  promedio fue menor para el experimento 1 que para el 2. Esto se pudo deber que después de 36 h de exposición aérea no afectó a la  $QO_2$  para las langostas que se enfriaron en 3 h, sin embargo el aumento de la  $QO_2$  para las langostas del experimento 2 si tuvieron que efectuar un pago en la deuda de oxígeno. Todas las langostas al ser regresadas a los tanques donde eran mantenidas, sobrevivieron conforme pasaron los días.

Llama la atención que en ambos casos, la  $QO_2$  en el tiempo de medición no se comportó como una recta, sino que se llevó a cabo mediante oscilaciones que parecen ser periódicas después de los primeros 40 minutos de estar en el agua. Esto pudo estar relacionado con algún mecanismo dentro de *P. interruptus* para pagar la deuda de oxígeno y poder recuperarse. Prosser (1973) menciona que en circunstancias controladas de temperatura, iluminación y concentración química del medio, la  $QO_2$  fluctúa en función del tiempo. Lo anterior concuerda con el comportamiento que presentó la  $QO_2$  durante el tiempo de medición. Al final de los 90 minutos no recuperaron la  $QO_2$  inicial, donde Crear y Forteath (2001) mencionan que los daños fisiológicos provocados por la exposición aérea se revierten en las 24 h siguientes.

Lo que corresponde a la  $QO_2$ , de las langostas que estuvieron 48 h (Fig. 6c y 6d) en exposición aérea de los experimentos 1 y 2, fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ). Donde la  $QO_2$  promedio para las langostas del experimento 1 fue mayor que para el 2. Esto, además de evidenciar el pago de la deuda de oxígeno en ambos experimentos, dejó ver que las langostas del experimento 1 tuvieron un pago de la deuda de oxígeno mayor, esto pudo ser debido al tiempo que permanecieron enfriándose, ya que las langostas del experimento 2 no presentaron una  $QO_2$  promedio tan alta. Por lo que a 48 h se empezaron a ver los efectos que provocó el tiempo de exposición aérea en la  $QO_2$  de ambas condiciones experimentales, favoreciéndose más las langostas que se enfriaron en 1.5 h.

Las langostas de ambos experimentos, volvieron a presentar oscilaciones periódicas en los valores de la  $QO_2$ . Dichas oscilaciones fueron más marcadas en la figura 6d. Todas las langostas al ser regresadas a los tanques donde eran mantenidas se pudieron recuperar, sólo que al ser colocadas en el agua permanecieron inmóviles, al otro día ya habían recuperado su movilidad. Lo anterior pudo ser debido a que permanecieron consumiendo oxígeno tratando de activar sus mecanismos vitales, después de haber estado sujetas a un estrés de 48 h de exposición aérea.

El efecto de la exposición aérea durante 60 h (Fig. 6e y 6f) para ambos experimentos fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ). Estos experimentos tuvieron valores promedio de la  $QO_2$  mayores a los obtenidos previos al enfriamiento del agua. De nueva cuenta, se llevó a cabo el pago de la deuda de oxígeno, y se repitió el patrón oscilatorio descrito anteriormente. Al inicio de la medición, las langostas de ambos experimentos tendieron a aumentar su  $QO_2$  rápidamente, como si estuvieran reviviendo, seguido del comportamiento oscilatorio. Para las langostas del experimento 2, la  $QO_2$  de 60 h fue significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) con respecto a las 48 h, evidenciando el efecto del tiempo de exposición aérea, sobre la  $QO_2$  de las langostas.

Otro aspecto importante, es que la langosta 10 del experimento 1, ya no pudo recuperarse y murió al finalizar los 90 minutos de la medición en la reinmersión, este deceso mostró que 60 h de exposición aérea empezó a ser letal para las langostas que se enfriaron en 3 h. El resto de las langostas, al ser devueltas a los tanques donde eran mantenidas, siguieron el mismo comportamiento de las langostas con 48 h de exposición aérea.

Para las langostas que estuvieron expuestas al aire durante 72 h dentro del empaque de ambos experimentos (Fig. 6d y 6g), las del experimento 2 sobrevivieron, mientras que en el experimento 1 sólo la langosta 12 sobrevivió. Sus valores de la  $QO_2$  durante los 90 minutos de medición, fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), siendo más alto el valor promedio para la langosta 12 que para las tres langostas del experimento 2. Todas las langostas mostraron un aumento rápido de la  $QO_2$  al inicio de la medición, seguidas de una estabilización en sus valores, evidenciando un pago en la deuda de oxígeno. El efecto que causó haber estado 72 h empacadas fue mayor en el experimento 1.

Al ser regresadas las langostas a los tanques donde eran mantenidas, se recuperaron, aunque también presentaron un comportamiento similar a las langostas de 48 h y 60 h de exposición aérea. Cada vez que eran regresadas las langostas a los tanques, se les dio alimento a saciedad, sin embargo no comieron hasta el día siguiente del que eran devueltas. Esto pudo representar que el principal objetivo de los

organismos al ser regresadas al agua es el de recuperar todos sus procesos fisiológicos antes de alimentarse. Además, tienen que desechar los productos del metabolismo anaeróbico durante el tiempo que estuvieron expuestas al aire, también deben de reestablecer el pH de la hemolinfa, el cual lo facilita el exceso de  $\text{CO}_2$  que retienen durante la exposición aérea. Cuando las branquias se colapsan deja de existir el intercambio gaseoso, evitando la expulsión del  $\text{CO}_2$  (Morris y Oliver, 1999a).

#### 4.2 Experimento 3, 4 y 5.

##### 4.2.1 $QO_2$ durante el enfriamiento del agua y $Q_{10}$ .

De acuerdo a los resultados en la supervivencia de las langostas, de los experimentos 1 y 2 en función del tiempo de enfriamiento, se diseñaron los experimentos 3, 4 y 5. Se tomó la decisión de que el agua se enfriaría durante 1.5 h, siguiendo la metodología descrita para el experimento 2. Con las langostas de estos experimentos se simuló el manejo previo a llegar a los laboratorios de empaque. Consistió en sacarlas de los tanques donde eran mantenidas durante 12 h, colocándolas en una caja de cartón con papel humedecido. Después de este tiempo, las langostas fueron colocadas en un tambo de 200 l de capacidad a una densidad de 1 langosta en 16 l durante 4 h, tiempo aproximado que tienen para desechar los productos inorgánicos que almacenan desde el momento en que son capturadas. Lo anterior se realizó para poder evaluar si afectaba el estrés ocasionado por la captura y manejo de las langostas antes de ser empacadas.

Este factor de estrés es muy importante para la sobrevivencia de las langostas. De acuerdo con Paterson y Spanoghe (1997), el estrés asociado con la captura y el manejo, es un factor determinante en la sobrevivencia de los organismos durante el tiempo que dure la exposición aérea.

En los datos de la  $QO_2$  promedio para las langostas de los experimentos 3, 4 y 5 fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) entre los previos a la disminución de la temperatura del agua ( $18^\circ\text{C}$ ), y a temperatura de empaque ( $10^\circ\text{C}$  y  $7^\circ\text{C}$ ) respectivamente. Donde se volvió a ver el efecto que ocasiona la disminución de la temperatura en el metabolismo de las langostas.

Es importante resaltar que las langostas que se enfriaron hasta  $7^\circ\text{C}$ , en el momento en que fueron sacadas de las cámaras respiratorias estaban muy débiles, esto se pudo atribuir a una posible inhibición de los sistemas bioquímicos (Ortiz-Viveros, 1996). A pesar de que se encontraban entumidas todas las langostas sobrevivieron al finalizar el enfriamiento del agua a  $7^\circ\text{C}$ .

Cuando se compararon los valores de la  $QO_2$  de las langostas entre los tres experimentos a  $18^\circ\text{C}$ , fueron diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ), posiblemente debido a la variabilidad natural de los organismos. Al comparar las langostas a la temperatura de empaque ( $10^\circ\text{C}$  y  $7^\circ\text{C}$ ) también fueron diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ). Esto significa que si hubo un efecto sobre su metabolismo al dejar sin aireación a las langostas durante las 4 h previas a disminuir la temperatura hasta  $10^\circ\text{C}$ , con respecto a las que si tuvieron aireación y con las que se enfriaron hasta  $7^\circ\text{C}$ .

Los valores promedio de  $Q_{10}$  de las langostas del experimento 3 que se mantuvieron con aire durante las 4 h previas al enfriamiento de la temperatura fue de 2.5, para las langostas del experimento 4, sin aireación durante las mismas 4 h antes del enfriamiento fue de 2.4 y para las langostas del experimento 5 que se enfrió hasta  $7^\circ\text{C}$  y con aireación fue de 1.7. Estos valores promedio de  $Q_{10}$ , mostraron que las langostas de los experimentos que se enfriaron hasta  $10^\circ\text{C}$  se subcompensan ante dicha temperatura. Sin embargo, para las langostas que se enfriaron hasta  $7^\circ\text{C}$ , el valor indica casi una subcompensación de los organismos por tratar de mantener sus procesos fisiológicos, esta terminología esta definida por Precht en (Prosser, 1973).

Al comparar los valores promedio de  $Q_{10}$  de las langostas de los experimentos 1 y 2 y de los experimentos 3, 4 y 5, se obtuvo que los experimentos 3 y 4, tienen el mismo valor promedio que el experimento 1 (2.5 unidades). Sin embargo, los experimentos 3 y 4 se enfriaron en 1.5 h, al igual que las langostas del experimento 2, teniendo éste último, un valor promedio de  $Q_{10}$  de 2.9, lo que indica que el metabolismo se vio afectado de la misma magnitud para el experimento 1 y los experimentos 3 y 4.

Cabe recordar que el valor de  $Q_{10}$  esta dado por un cambio en la  $QO_2$  dado en un rango de temperatura (Prosser, 1973). Ahora bien, la  $QO_2$  de las langostas de los experimentos 3 y 4 en 18°C y 10°C fueron mayores con respecto a las langostas del experimento 1, y a pesar de que tuvieron el mismo valor promedio de  $Q_{10}$  si se pudo observar un efecto en su metabolismo expresado en términos de la  $QO_2$ . Si bien, fueron diferentes los valores de la  $QO_2$  entre los experimentos 3 y 4 con el experimento 2, a pesar de que se enfriaron en el mismo tiempo, aquí cabría resaltar el efecto que produce el manejo previo a la disminución de la temperatura sobre las langostas que experimentaron este estrés y que la resistencia a la exposición aérea fue mejorada al ser enfriadas en 1.5 h.

El haber dejado sin aireación durante las 4 h previas al enfriamiento, en el experimento 4, se realizó debido a que después de estar expuestas al aire durante 12 h, se esperaba que al estar con aire volverían activar su metabolismo y recuperarse del tiempo del viaje. Sin embargo, el que fueran colocadas en agua de mar sin aireación pudo ocasionar que el metabolismo no fuera totalmente activado. Este efecto estuvo relacionado con la sobrevivencia de los organismos a las distintas horas de exposición aérea, este aspecto se discutirá más adelante.

#### ***4.2.2 Pago de la deuda de oxígeno.***

Cuando se comparó el efecto que causó las condiciones de los tres experimentos, en las supervivencia de las langostas a la exposición aérea, fueron diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ). Donde el haber estado sin aireación en el experimento 5 favoreció la resistencia a la exposición aérea, teniendo un tiempo de resistencia de

60 h. Mientras que en el experimento 3 el haber estado con aireación no favoreció la resistencia a la exposición aérea con un tiempo de resistencia de 48 h, ya que a las 60 h de este experimento sólo sobrevivió una langosta. Con respecto al experimento 5, las langostas sobrevivieron 60 h, muriendo una de ellas al finalizar la medición. El tiempo de exposición aérea fue otro aspecto importante que incidió en la resistencia de las langostas a este estrés. Conforme avanzaba el tiempo de exposición aérea, las langostas se vieron afectadas en su supervivencia, de esta manera, el pago de la deuda de oxígeno aumentó conforme mayor fue el tiempo de exposición aérea.

Las langostas que estuvieron 48 h en exposición aérea del experimento 3 tuvieron valores de la  $QO_2$  menores a los que presentaron previo al enfriamiento del agua ( $18^\circ\text{C}$ ), siendo significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ). Mientras que las langostas del experimento 4, sus valores de la  $QO_2$  fueron significativamente mayores ( $P < 0.05$ ) a los previos al enfriamiento del agua, evidenciando un pago de la deuda de oxígeno.

Morris y Oliver (1999b) mencionan que el efecto que produce el enfriamiento en langostas *J. edwardsii* aumenta la afinidad de la hemocianina por el oxígeno, lo que ocasiona que se retarde la activación de la anaerobiosis. Esto ocasiona un pago de la deuda de oxígeno mínimo o nulo. Lo anterior pudo haber pasado con las langostas del experimento 3, mientras que esto no se presentó en las del experimento 4, debido a que 48 h de exposición aérea no es letal para los organismos. Sin embargo, los valores promedio de la  $QO_2$  a pesar de que fueron mayores no fueron tan grandes con respecto a los obtenidos previos al enfriamiento.

Es importante resaltar que en las figuras de las langostas a las 48 h (Fig. 7a y 7b) de exposición aérea, las que estuvieron en el experimento 3 presentaron oscilaciones periódicas y las tres langostas tuvieron valores de la  $QO_2$  similares a lo largo de la medición. Mientras que las langostas del experimento 4 a pesar de que presentaron valores en la  $QO_2$  diferentes, tuvieron una periodicidad parecida.

Todas las langostas sobrevivieron a este tiempo de exposición aérea, sin embargo al ser colocadas en los tanques donde eran mantenidas, se quedaron inmóviles hasta el día siguiente, evidenciando que la recuperación de sus procesos fisiológicos se realiza al menos en 24 h como lo mencionan Crear y Forteath (2001).

En el experimento 5, no se utilizaron langostas para las 48 h de exposición aérea, ya que en los experimentos 3 y 4 la sobrevivencia fue del 100%. Los primeros decesos se presentaron a las 60 h de exposición aérea, por lo que se quería ver el efecto en la sobrevivencia a 60 h y 72 h al enfriarlas a 7°C.

Las langostas del experimento 3 que estuvieron expuestas al aire durante 60 h (Fig. 7d), sólo la langosta 7 sobrevivió. La langosta 2 salió del empaque moribunda, no recuperándose y la langosta 6 salió muerta del empaque. El organismo que sobrevivió, tuvo un valor promedio de la  $QO_2$  mayor al que presentó antes del enfriamiento, evidenciando el pago de la deuda de oxígeno. En este caso, no se puede afirmar que el retardo de la anaerobiosis ayudó a que permanecieran vivas, salvo con la langosta 7. Lo anterior, pudo ser el resultado de la activación del metabolismo en las 4 h previas al enfriamiento del agua con aireación, y que el estrés es mayor en estos organismos y no pueden mantenerse vivas, incluso para este experimento (3) ninguna de las langostas que estuvieron expuestas al aire 72 h sobrevivieron.

Las tres langostas en el experimento 4 a 60 h de exposición aérea sobrevivieron (Fig. 7e), evidenciando un pago de la deuda de oxígeno. Sus valores de la  $QO_2$  fueron mayores que los que presentaron antes del enfriamiento del agua. En este experimento, parece que el haber dejado sin aireación el agua, ayudó a los organismos a no activar el metabolismo y por lo tanto entrar en un estado de metabolismo basal. La supervivencia en función de lo mencionado anteriormente, parece estar relacionado con lo que encontraron Crear y Forteath (2001), ellos mencionan la importancia del consumo de oxígeno en función del porcentaje de saturación en el agua. Concentraciones del 10 al 20% de saturación es contraproducente en *P. cygnus*, ya que mueren en 12 h bajo esta condición, la mejor supervivencia después de haber sido expuestas al aire es cuando la concentración de oxígeno disuelto en el agua es del 70 al 80% de saturación. Esto es importante, ya que los organismos en porcentajes de

saturación bajos no pueden activar su metabolismo después de haber estado en exposición aérea ya que se están asfixiando. Este proceso parece que favoreció a las langostas *P. interruptus* en este experimento, ya que después de haber estado sólo 4 h sin aireación, el porcentaje de saturación del agua fue de 20%, lo que ocasionó que las mantuviera sin activar por completo su metabolismo. Manteniéndose en este estado durante todo el proceso de enfriamiento, favoreciendo la supervivencia durante los diferentes tiempos de exposición aérea.

Las langostas del experimento 5 que estuvieron 60 h en exposición aérea (Fig. 7f) sobrevivieron. Al final de la medición la langosta 1 murió, mientras que las langostas 5 y 6 tuvieron un valor promedio de la  $QO_2$  menor al obtenido previo al enfriamiento del agua. Cabe mencionar que todas las langostas de este experimento, al ser abierto el empaque, el "gel ice" estaba en contacto con ellas y la mayoría de las langostas perdieron periópodos, lo que ocasionó un estrés mayor en los organismos y afectó su recuperación al regresarlas al agua.

A las 72 h de exposición aérea sólo sobrevivieron las langostas 4 y 2 del experimento 4 (Fig. 7h), y la langosta 3 del experimento 5 (Fig. 7i). Sin embargo la langosta 2, murió después de ser regresada al tanque donde eran mantenidas. La langosta que sobrevivió del experimento 4 tuvo un valor promedio de la  $QO_2$  menor al que presentó previo al enfriamiento del agua. Mientras que la langosta del experimento 5, tuvo en promedio una  $QO_2$  igual al previo de enfriar el agua a la misma temperatura (18°C).

Estas langostas presentaron un incremento en los valores de la  $QO_2$  al inicio de la medición, reflejando la activación de las funciones de su cuerpo y conforme avanzó el tiempo casi se estabilizó, efectuando un pago en la deuda de oxígeno.

Esta condición en la que las langostas fueron expuestas al aire durante 72 h fue letal, ya que la supervivencia fue casi nula. Se puede mencionar el efecto que produce el estrés ocasionado por la captura y el manejo, ya que las langostas del experimento 4 tuvieron una supervivencia de hasta 60 h de exposición aérea, mientras que las langostas que estuvieron en el experimento 2 sobrevivieron 72 h, con la diferencia de que no tuvieron el estrés antes mencionado. Lo que ayudó a reducir el efecto del estrés de manejo, fue la falta de aireación durante las 4 h previas al enfriamiento del agua.

## 5.- CONCLUSIONES.

- Al disminuir la temperatura a *Panulirus interruptus* de 18° a 10°C se encontró un efecto directo sobre su metabolismo presentándose una subcompensación, con valor de  $Q_{10}$  de 2.5.
- Al disminuir la temperatura a *Panulirus interruptus* de 18° a 7°C se encontró un efecto directo sobre su metabolismo presentándose una ligera subcompensación, con valor de  $Q_{10}$  de 1.7.
- El efecto que produjo disminuir el metabolismo a *Panulirus interruptus* en este trabajo, favoreció a la supervivencia durante la exposición aérea.
- Disminuir la temperatura a *Panulirus interruptus* de 18° a 10°C en 1.5 h favoreció el tiempo de supervivencia hasta 60 h de exposición aérea.
- El haber producido un "shock" térmico a *Panulirus interruptus* en este trabajo aumentó la resistencia a la exposición aérea.
- Evitar la activación completa del metabolismo de *Panulirus interruptus* favoreció la supervivencia a la exposición aérea.
- El tiempo máximo que resistió *Panulirus interruptus* a la exposición aérea bajo las condiciones a las que fueron sometidas fue de 60 h.
- El estrés que ocasionó simular la captura y el manejo de *Panulirus interruptus* afectó la sobrevivencia desfavorablemente durante la exposición aérea.
- *Panulirus interruptus* presentó una deuda de oxígeno, que se incrementó conforme aumentó el tiempo a la exposición aérea.
- El pago de la deuda de oxígeno de *Panulirus interruptus* la llevó a cabo con un comportamiento oscilatorio periódico.

## 6.- RECOMENDACIONES.

Para ampliar el conocimiento de los procesos fisiológicos que suceden en *Panulirus interruptus* durante el empaque, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios relacionados con la hemolinfa de las langostas, ya que las distintas sustancias que la constituyen se ven alteradas, durante la exposición aérea.

## 7.- LITERATURA CITADA.

- Cifuentes-Lemus, J. L., Torres-García, P. y M. Frías. (1997). El Océano y sus Recursos: Pesquerías. 3ª ed. Fondo de Cultura Económica. México. 228pp.
- Cobb, S. J. y B. F. Phillips (1980). The biology and management of lobsters: Physiology and Behavior. 1ª ed. Academic Press Inc. USA. 463 pp.
- Crear, B. J. y G. N. R. Forteath (2001). Recovery of the western rock lobster, *Panulirus cygnus*, from emersion and handling stress: The effect of oxygen concentration during re-immersion. *Journal of Shellfish Research*. 20(3): 921-929.
- Diario de la Nación. Lunes 15 de Marzo del 2004.
- Díaz-Iglesias, E., L. Ramos-Trujillo y W. Fernández-Cruz (1975). Metodología para la exportación de langostas vivas *Panulirus argus* (Latreille, 1804). Universidad de la Habana. *Investigaciones Marinas*. 8(20): 1-14.
- Gomez-Jimenez, S., R.F. Uglow, and T. Gollas-Galvan. (2000). The effects of cooling and emersion on total haemocyte count and phenoloxidase activity of the spiny lobster *Panulirus interruptus*. *Fish and Shellfish Immunology*. 10(7): 631-635.
- Hickman, C. P. Jr., L. S. Roberts and A. Parson. (1998). Principios Integrales de Zoología. 4ª ed. McGraw Hill. España. 991 pp.
- Jury, S. H. (1999). Behavioral and Physiological Responses of the Lobster, *Homarus americanus*, to Temperature: a New Synthesis. *Science and Engineering*. 60(4): p 1473.
- Morris, S. and S. Oliver (1999a). Circulatory, respiratory and metabolic response to emersion and low temperature of *Jasus edwardsii*: simulation studies of commercial shipping methods. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 122A(3): 299-308.
- Morris, S. and S. Oliver (1999b). Respiratory gas transport, haemocyanin function and acid-base balance in *Jasus edwardsii* during emersion and chilling: simulation studies of commercial shipping methods. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 122A(3): 309-321.
- Nakamura, M., M. Tani y T. Kuramoto (1994). Effects of rapid cooling on heart rate of the Japanese lobster *in vivo*. *Zoological Science*. 11(3): 375-379.
- Ortiz-Viveros, D. (1996). Adaptaciones fisiológicas de la langosta roja *Panulirus interruptus*, para sobrevivir fuera del agua en relación al tiempo y temperatura de exposición aérea. Tesis de licenciatura. FCM. UABC. pp 51.

- Paterson, B. D. y P. T. Spanoghe (1997). Stress indicators in marine decapods crustaceans, whit particular reference to the grading of western rock lobsters (*Panulirus cygnus*) during commercial handling. *Mar. Fresh Water Res.* 48(8): 829-834.
- Pritchard, M. M. y H. H. Taylor (1999). The effects of temperature on the respiratory function of the New Zealand lobster (*Jasus edwardsii*) in air and water. *International Symposium on Lobster Health Management*. September 19-22. p. 679.
- Prosser, C. L. y F. A. Brown. (1973). *Comparative Animal Physiology*. 2<sup>nd</sup> Ed. Saunders Co. Philadelphia. 668 pp.
- Taylor, H. H. y F. M. Waldron. (1997). Respiratory responses to air-exposure in the southern rock lobster, *Jasus edwardsii* (Hutton) (Decapoda:Palinuridae). *Mar. Freshwater Res.* 48(8): 889-897
- Thomas, C.W. (2000). The effect of temperature on survival, growth, feeding and metabolic activity of the southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Aquaculture*. 185(1-2): 73-84.
- Tully, O., V. O'Donovan y D. Fletcher. (2000). Metabolic rate and lipofuscin accumulation in juvenile European lobster (*Hommarus gammarus*) in relation to simulated seasonal changes in temperature. *Marine Biology*. 137: 1031-1040.
- Vernberg F. J. (1983). *The Biology of Crustacea*. Academic Press. New York. pp 471.