



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE CIENCIAS MARINAS
Departamento de Pesquerías y Biología Marina



Supervivencia y capacidad fisiológica de la langosta roja
***Panulirus interruptus* y de la langosta azul *P. inflatus*,**
durante transporte en vivo.

Tesis

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos

P r e s e n t a

MARÍA CATALINA RAMÍREZ ABURTO

La Paz, Baja California Sur, México

Enero 2006



SIP-14

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:00 horas del día 24 del mes de Noviembre del 2005 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"SUPERVIVENCIA Y CAPACIDAD FISIOLÓGICA DE LA LANGOSTA ROJA *Panulirus interruptus*
Y DE LA LANGOSTA AZUL *P. inflatus*, DURANTE TRANSPORTE EN VIVO"

Presentada por el alumno:

RAMÍREZ

Apellido paterno

ABURTO

materno

MARIA CATALINA

nombre(s)

Con registro:

B	0	2	0	7	5	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DRA. LUCÍA OCAMPO VICTORIA

PRESIDENTE

DR. DANIEL LLUCH BELDA

SECRETARIO

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

SEGUNDO VOCAL

DR. OSCAR EFRAÍN HOLGUÍN QUINONES
Co-Director

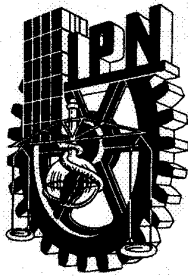
TERCER VOCAL

DR. HUMBERTO VILLARREAL COLMENARES

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE,
CICIMAR
DIRECCION





INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes Diciembre del año 2005, el (la) que suscribe MARIA CATALINA RAMIREZ ABURTO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B020755 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DRA. LUCÍA OCAMPO VICTORIA y cede los derechos del trabajo titulado: "SUPERVIVENCIA Y CAPACIDAD FISIOLÓGICA DE LA LANGOSTA ROJA *Panulirus interruptus* Y DE LA LANGOSTA AZUL *P. inflatus*, DURANTE TRANSPORTE EN VIVO" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: katinga7@hotmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MARIA CATALINA RAMÍREZ ABURTO

nombre y firma

Dedicatoria

A mis padres

Por haberme dado la vida, brindarme todo su apoyo para seguir adelante y principalmente por quererme tanto y siempre estar conmigo.

A mis hermanos

Les doy gracias a todos por ayudarme a seguir en la carrera y su apoyo que me brindaron en los momentos difíciles. Los quiero mucho y gracias por estar conmigo.

A Omar

Por su gran amor y por todo el apoyo que me brindo en la terminación de este trabajo y por todos los momentos que estamos pasando.

Agradecimientos

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por todo el apoyo brindado durante mi formación académica. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico, así mismo al Programa Institucional de Formación de Investigadores.

Mi reconocimiento y gratitud para la Dra. Lucía Ocampo, directora de tesis. Por su apoyo y estímulo que me brindo durante el proceso de este trabajo, así mismo por sus palabras, sabiduría y tiempo que me ayudaron a continuar en mi formación académica.

A Dr. Oscar Holguín, por su tiempo que me brindo, su apoyo y comprensión para poder realizar este trabajo.

A mi comité tutoría, gracias por sus comentarios y apoyo para poder llevar a cabo este trabajo, Dra. Lucía Ocampo, Dr. Oscar Holguín Quiñones, Dr. Humberto Villareal, Dr. Daniel Lluch Belda, Dra. Patricia Cevallos Vázquez y Dr. Rogelio González Armas.

Agradezco a mis amigos y compañeros que de algún modo participaron en la elaboración de este trabajo.

Contenido

	Pág.
Lista de Figuras.....	i
Lista de Tablas.....	iii
Glosario.....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
1. Introducción	viii
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Biología de las langostas espinosas	2
1.3 Ciclo de vida	3
1.4 Distribución.....	4
1.5 Pesquería	4
1.6 Transporte vivo de Crustáceos.....	5
1.7 Estrés asociado al transporte vivo.....	6
2. Antecedentes	7
3. Hipótesis	10
4. Justificación	11
5. Objetivo General	12
5.1 Objetivos Particulares	12
6. Material y Métodos	13
6.1 Origen de las langostas	13
6.2 Técnica de transporte	13
6.3 Obtención de las muestras de hemolinfa de referencia (pre-emersión).....	14
6.4 Obtención de las muestras de hemolinfa durante emersión e inmersión	15
6.5 Registro de la temperatura y de la humedad relativa en hieleras y cajones durante el tiempo de emersión	15
6.6 Determinación del estadio de muda.....	16
6.7 Análisis de metabolitos	16
6.7.1 Proteínas.....	16
6.7.2 Glucosa	16
6.7.3 Lactato.....	17
6.7.4 Amonio	17
6.8 Análisis estadístico.....	17
7. Resultados	18
7.1 Efecto del tiempo de emersión en el desempeño fisiológico de la langosta <i>Panulirus interruptus</i>	18
7.1.1 Supervivencia de <i>Panulirus interruptus</i>	18
7.1.2 Temperatura y humedad relativa en el sistema de transporte en vivo utilizado en <i>Panulirus interruptus</i>	18
7.1.3 Concentración de glucosa y lactato durante 24 y 48 horas de emersión	20
7.1.4 Concentración de proteínas durante 24 y 48 horas de emersión.....	22
7.1.5 Concentración de amonio durante 24 y 48 horas de emersión	22

7.2 Efecto del tiempo de inmersión en el desempeño fisiológico de la langosta	
<i>Panulirus interruptus</i>	24
7.2.1 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa durante inmersión después de 24 horas de emersión.	24
7.2.2 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa durante inmersión después de 48 horas de emersión.	25
7.3 Tiempo de emersión en la langosta <i>Panulirus inflatus</i>	26
7.3.1 Supervivencia de <i>Panulirus inflatus</i>	26
7.3.2 Temperatura y humedad relativa en el sistema de transporte en vivo utilizado en <i>Panulirus inflatus</i>	27
7.3.3 Concentración de glucosa y lactato en hemolinfa durante 24 y 48 horas de emersión	28
7.3.4 Concentración de proteínas durante 24 y 48 horas de emersión.....	30
7.3.5 Concentración de amonio en hemolinfa durante 24 y 48 horas de emersión ..	30
7.4 Efecto del tiempo de inmersión en el desempeño fisiológico de la langosta	
<i>Panulirus inflatus</i>	32
7.4.1 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa durante inmersión después de 24 horas de emersión.	32
7.4.2 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio durante inmersión después de 48 horas de emersión.	33
8. Discusión.....	35
8.1 Supervivencia.....	35
8.2 Cambios en los metabolitos de la hemolinfa durante la emersión.....	36
8.2.1 Proteínas.....	36
8.2.2 Lactato.....	36
8.2.3 Glucosa	38
8.2.4 Amonio	39
8.3 Cambios en los metabolitos de la hemolinfa durante la inmersión	41
10. Recomendaciones	45
11. Bibliografía	46
Anexo 1	54
Anexo 2	55
Anexo 3	56
Anexo 4	57
Anexo 5	58

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Características morfológicas de la langosta espinosa.....	3
Figura 2. Ciclo de vida de langosta espinosa.....	4
Figura 3. Cajones de madera utilizados para la simulación del transporte en vivo (tiempo de emersión) de la langosta <i>Panulirus interruptus</i>	13
Figura 4. Hielera utilizada para la simulación del transporte en vivo (tiempo de emersión) de la langosta <i>Panulirus inflatus</i>	14
Figura 5. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 24 horas de transporte en vivo de langosta roja <i>Panulirus interruptus</i>	19
Figura 6. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 48 horas de transporte en vivo de langosta roja <i>Panulirus interruptus</i>	20
Figura 7. Concentración de glucosa (mg/mL) en hemolinfa de <i>Panulirus interruptus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	21
Figura 8. Concentración de lactato (mg/mL) en hemolinfa de <i>Panulirus interruptus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	21
Figura 9. Concentración de proteínas (mg/mL) en hemolinfa de <i>Panulirus interruptus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	22
Figura 10. Concentración de amonio (μmol/L) en hemolinfa de <i>Panulirus interruptus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	23
Figura 11. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 24 horas de transporte en vivo de langosta azul, <i>Panulirus inflatus</i>	27
Figura 12. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 48 horas de transporte en vivo de langosta azul, <i>Panulirus inflatus</i>	28

Figura 13. Concentración de glucosa (mg/mL) en hemolinfa de <i>Panulirus inflatus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	29
Figura 14. Concentración de lactato (mg/mL) en hemolinfa de <i>Panulirus inflatus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	29
Figura 15. Concentración de proteínas (mg/mL) en hemolinfa de <i>Panulirus inflatus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	30
Figura 16. Concentración de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en hemolinfa de <i>Panulirus inflatus</i> durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.....	31

Lista de Tablas

		Pág.
Tabla 1.	Acumulación de amonio (μmol) en hemolinfa de <i>Panulirus interruptus</i> en comparación a las estimaciones basadas en una producción continua a la tasa de excreción rutinaria.....	24
Tabla 2.	Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta <i>Panulirus interruptus</i> durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 24 horas de emersión.....	25
Tabla 3.	Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta <i>Panulirus interruptus</i> durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 48 horas de emersión.....	26
Tabla 4.	Acumulación de amonio (μmol) en hemolinfa de <i>Panulirus inflatus</i> en comparación a las estimaciones basadas en una producción continua a la tasa de excreción rutinaria.....	32
Tabla 5.	Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta <i>Panulirus inflatus</i> durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 24 horas de emersión.....	33
Tabla 6.	Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta <i>Panulirus inflatus</i> durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 48 horas de emersión.....	34

Glosario

- Anoxia:** condiciones carentes de oxígeno
- Cefalotórax:** conjunto de la cabeza y el tórax de la langosta
- Emersión:** de emerger, salir del agua u otro líquido, exposición aérea
- Hiperglicemia:** incrementos en los niveles de glucosa excesivos
- Hipoxia:** condiciones muy bajas de oxígeno, generalmente <30% de saturación de oxígeno
- Normoxia:** condiciones normales de oxígeno, cercanas a saturación de oxígeno
- Hemolinfa:** la sangre de los invertebrados con sistema circulatorios abiertos
- Pereiópodo:** conjunto de cinco pares de patas característico en Crustáceos
- Pre-emersión:** previo a la emersión
- Re-inmersión:** regresar al agua, periodo de recuperación post-emersión

Resumen

Se evaluó la supervivencia y el desempeño fisiológico de la langosta roja, *Panulirus interruptus* y de la langosta azul, *Panulirus inflatus* durante dos tiempos de transporte en vivo y posterior recuperación. Se colocaron 30 langostas roja en un cajón de madera con costales húmedos y hielo seco en gel y 30 langostas azul en una hielera de poliuretano con aserrín humedecido y hielo seco en gel donde permanecieron por 24 y 48 h, simulando condiciones de transporte vivo. Un grupo de 30 langostas recién desembarcadas fue considerado como referencia (pre-emersión). Se tomaron muestras de hemolinfa post-branquial en 15 langostas y se determinaron las concentraciones de proteínas, glucosa, lactato y amonio durante emersión y durante 6 días de recuperación (re-inmersión) como indicadores del desempeño fisiológico. La supervivencia de la langosta roja a las 24 h de emersión fue del 100% y 93% a las 48 h de emersión. Los niveles de glucosa y de lactato en la hemolinfa se incrementan de manera significativa durante la emersión sin embargo estos niveles se mantienen a los dos tiempos de emersión. El amonio en la hemolinfa se incrementa de manera significativa durante la emersión ($P<0.05$), a 24 h de emersión el incremento es 1.7 veces los valores pre-emersión mientras que a 48 h de emersión el incremento es 3.6 veces. Las proteínas se mantienen constantes durante la emersión y posterior recuperación. La supervivencia durante los 6 días de recuperación fue del 100%. Durante la recuperación la concentración de glucosa, lactato y amonio en hemolinfa disminuye significativamente después de 24 h de inmersión ($P<0.05$). La supervivencia de la langosta azul a las 24 h de emersión fue del 100% y 86% a las 48 h de emersión. La concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio se incrementa de manera significativa con respecto al nivel pre-emersión ($P<0.05$). El tiempo de emersión tuvo un efecto significativo en la concentración de glucosa y de amonio en la hemolinfa ($P<0.05$), pero no hubo efecto ($P>0.05$) en la concentración de proteína y lactato. A 24 h de emersión el incremento en la glucosa es 2.8 veces los valores pre-emersión mientras que a 48 h de emersión el incremento es 4.9 veces. A 24 h de emersión el incremento en el amonio es 0.7 veces los valores pre-emersión mientras que a 48 h de emersión el incremento es 3.8 veces. La supervivencia durante la recuperación fue 92%. Durante la recuperación, la concentración

de glucosa y de lactato en la hemolinfa disminuyen significativamente después de 24 h de inmersión mientras que el amonio y las proteínas se mantienen constantes. El amonio acumulado en la hemolinfa durante la emersión representa aproximadamente un 20% del valor estimado en base a la tasa de producción previa a la emersión, lo que sugiere que la producción de amonio se reduce durante el tiempo de emersión y el amonio producido es almacenado o excretado durante la emersión. Los valores de los metabolitos evaluados son menores a los reportados para una serie de Crustáceos durante estrés por emersión lo que indica que ambas especies tienen la capacidad fisiológica para soportar largos periodos de emersión. Se recomienda el uso de estos metabolitos como indicador de estrés asociado a emersión.

Palabras clave: *Panulirus inflatus*, *Panulirus interruptus*, emersión, recuperación, metabolitos, desempeño fisiológico.

Abstract

The physiological performance of red lobster, *Panulirus interruptus*, and blue lobster, *Panulirus inflatus*, during simulated commercial handling was investigated. 30 red lobsters were placed in wooden shipping boxes, and 30 blue lobsters were placed in a polyethylene box, and exposed to air for 24 and 48 h. Controls were taken before packing. Post-branchial hemolymph samples were taken in 15 lobsters after each emersion time and during 6 days of recovery. Physiological performance was determined by measuring glucose, lactate, protein, and ammonia. Survival was 100% for both species at 24 h emersion. Glucose, lactate, and ammonia significantly varied from pre-emersion values. In red lobster, emersion time effect was not detected in protein, lactate, and glucose ($P>0.05$). In blue lobster, emersion time effect was not detected in protein and lactate ($P>0.05$) but glucose and ammonia significantly increased ($P<0.05$). Ammonia accumulated in the hemolymph at a considerable lower (<20%) expected amount. Values of the metabolites evaluated are lower than those reported for a series of Crustaceans submitted to emersion stress indicating that both species are tolerant to high emersion periods. The use of these metabolites associated to emersion stress in lobsters is recommended.

Key words: *Panulirus inflatus*, *Panulirus interruptus*, emersion, recovery, metabolites, physiological performance

1. Introducción

1.1 Generalidades

La langosta espinosa es uno de los recursos pesqueros mejor cotizados, es capturada y comercializada en más de 90 países. La captura mundial anual es de aproximadamente 77 000 tm con un valor aproximado de US\$500 millones (Phillips & Kittaka, 2000). En México se distribuyen siete especies de langosta, pero solo tres sostienen la pesca. La captura de langosta se lleva a cabo desde 1936, pero ha mostrado un crecimiento con fluctuaciones interanuales y donde la mayor producción se presentó en la temporada 2000-01 con 2,803 tm a nivel nacional, donde el 60% de la producción corresponde a Baja California Sur (Anónimo, 2001; Phillips & Kittaka, 2000). Baja California Sur es el estado que tiene la mayor producción de langosta y en el que se capturan tres especies, *Panulirus interruptus* (langosta roja), *P. inflatus* (langosta azul) y *P. gracilis* (langosta verde). *P. interruptus*, es la especie que presenta el mayor volumen de la captura y ha logrado entrar al mercado Internacional por ser resistente al transporte en vivo y porque el tamaño de la cola es mayor que el del cefalotórax. *P. inflatus* ocupa el segundo lugar de la producción y sólo se distribuye en el mercado nacional (Díaz-Arredondo & Guzmán, 1995). En Baja California Sur la totalidad de langosta capturada es transportada viva independientemente de su destino final. Los sitios de captura son de difícil acceso, las técnicas de transporte utilizadas pueden variar ampliamente y han sido desarrolladas por ensayo-error. Las condiciones medioambientales son muy particulares en B.C.S., ya que la temperatura puede variar ampliamente a lo largo de la captura. Al inicio de la temporada de captura (Septiembre), la temperatura del agua (en el área de Magdalena-San Lázaro) puede oscilar alrededor de los 25°C, y la temperatura ambiente puede alcanzar los 40°C, mientras que al final de la temporada (Marzo) la temperatura del agua puede bajar a 19°C (Vega, Com. Pers.¹).

Durante la captura y el transporte, las langostas son sometidas a condiciones de estrés tales como largos periodos de emersión, desecación, manipuleo excesivo, pérdida de miembros, aumento de la actividad e interacción de los animales, bajos niveles de oxígeno y aumento en los niveles de los compuestos nitrogenados. Debido a que la mayoría de las investigaciones han sido destinadas a evaluar diferentes aspectos sobre la

¹ Armando Vega, Instituto Nacional de la Pesca, CRIP La Paz, B.C.S., avega04@cibnor.mx

ecología y biología del recurso, se tiene poco conocimiento de la fisiología y de los mecanismos involucrados durante la comercialización viva de la langosta. En este sentido el presente trabajo de investigación aborda esta problemática basándose en la respuesta fisiológica de la langosta roja y de la langosta azul cuando son expuestas a 2 tiempos de emersión y durante su posterior recuperación (inmersión). Los resultados de esta tesis contribuirán a optimizar el uso y manejo del recurso langosta en B.C.S.

1.2 Biología de las langostas espinosas

La langosta pertenece al grupo de crustáceos decápodos que presentan una amplia distribución mundial y corresponde al grupo de los Palinúridos. Aunque existen 49 especies de langostas espinosas en el mundo, sólo 33 especies soportan pesquerías comerciales pertenecientes a tres géneros; *Panulirus*, *Palinurus* y *Jasus* (Phillips *et al.*, 1994). Las langostas de importancia comercial en México pertenecen al género *Panulirus* Gray (1847) y se distribuyen cuatro en el Océano Pacífico (*Panulirus interruptus*, *P. inflatus*, *P. gracilis* y *P. penicillatus*) y tres en el Golfo de México y el Caribe (*P. argus*, *P. guttatus* y *P. leuicauda*) (Grecia & Kensler, 1980; Vega *et al.*, 1996).

El cuerpo de la langosta está dividido en cefalotórax y abdomen (Figura 1). El abdomen se divide en seis somites, terminando en abanico caudal (Phillips *et al.*, 1994) y presentan un exoesqueleto fuertemente calcificado y un poco espinulado de forma subcilíndrica (Anónimo, 1995). El color de la langosta roja va desde un rojo ladrillo hasta café-rojizo; mientras que en la langosta azul la tonalidad es azul claro. Estas especies son de gran talla y presentan dimorfismo sexual. La hembra tiene pinzas en el quinto par de pereiópodos con las que rasca el parche durante la reproducción y tiene pleópodos natatorios más anchos para cubrir los huevos en su abdomen. El macho es de mayor peso y alcanza la talla comercial más rápido que la hembra (Vargas-Romero, 1999).

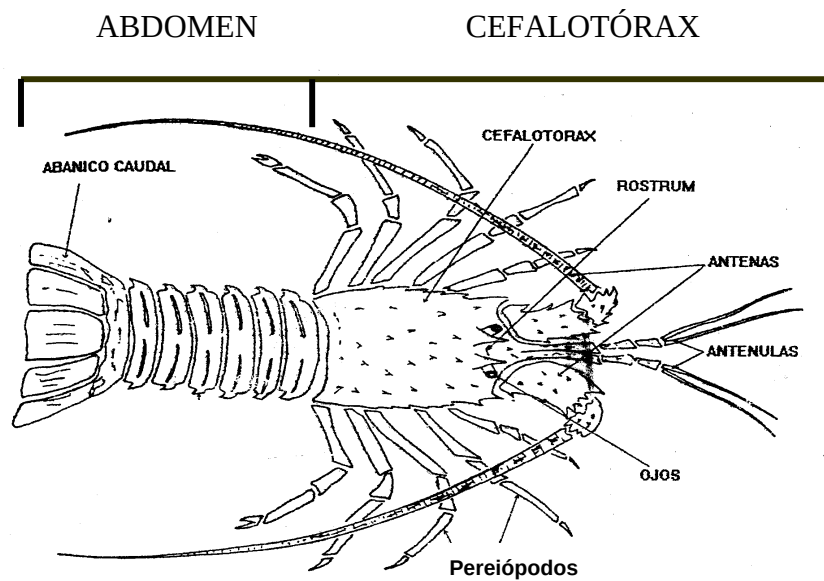


Figura 1. Características morfológicas de la langosta espinosa

1.3 Ciclo de vida

El crecimiento de la langosta, se lleva a cabo a través del proceso conocido como “muda”, cuando elimina el exoesqueleto incrementa su tamaño y peso (Díaz-Arredondo & Guzmán, 1995). *Panulirus interruptus* tiende a ser longeva, puede vivir más de 20 años y llegar a crecer hasta 190 mm de longitud del cefalotórax (Vega *et al.*, 1996). La langosta roja presenta una tasa de lento crecimiento, llega a la edad de adulto de los 5 a 6 años (Anónimo, 1998). En general la langosta espinosa tiene un ciclo gonádico de tipo isocrónico. *Panulirus interruptus* se reproduce una vez al año, entre Marzo y Septiembre y la hembra lleva de 50,000 a 500,000 huevos en su abdomen incubándolos de 8 a 10 semanas (Figura 2) (Vargas-Romero, 1999). Las langostas son de hábitos nocturnos, ocultándose de día en las áreas rocosas y en la noche salen en busca de alimento; son omnívoros con preferencia carnívora (peces, moluscos, anélidos y otros crustáceos) y de hábitos carroñeros (Vega *et al.*, 1996).

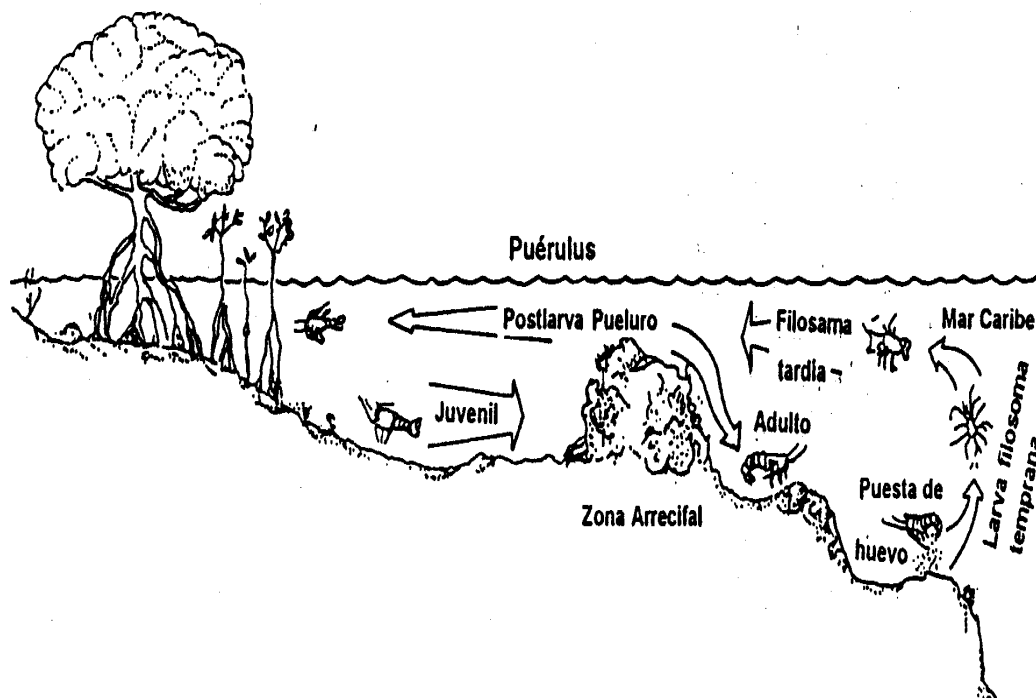


Figura 2. Ciclo de vida de langosta espinosa

1.4 Distribución

La langosta roja, *P. interruptus*, se distribuye desde San Luis Obispo, California, Estados Unidos, hasta el sur de la Isla Margarita, Baja California Sur, México (Vargas-Romero, 1999). La langosta azul, *P. inflatus*, se distribuye desde San Juanico, por todo el Golfo de California, hasta Chiapas (Anónimo, 1995).

La langosta es una especie que suele migrar, aunque no es muy estable su recorrido ya que depende de diferentes factores como la reproducción, redistribución de juveniles y adultos o por tensiones del medio ambiente (Phillips *et al.*, 1994). *P. interruptus* se distribuye de 55 a 91 m de la costa y generalmente permanece a 100 m de profundidad, pero en ocasiones abarca hasta los 300 m (Guzmán, 1992).

1.5 Pesquería

La langosta es uno de los recursos pesqueros de mayor popularidad y de alto valor económico, por lo que en algunos casos ha sido sobreexplotada. En México la exportación de langosta es de gran importancia comercial, siendo que en el 2002 fue del orden de 41 millones de dólares, ubicándola en el tercer lugar de los recursos de

importancia generadores de divisas por debajo del camarón y atún (Vega *et al.*, 1996; Anónimo, 2002). La pesca de langosta se regula mediante una temporada de veda, respetando el tamaño mínimo legal (82.5 mm de longitud de cefalotórax) y la prohibición de captura de hembras grávidas. Hasta 1993, la temporada de veda era la misma a todo lo largo de la costa occidental de la península de Baja California. Sin embargo debido a las variaciones latitudinales en el ciclo reproductivo de *P. interruptus* la costa se dividió en 4 zonas abriendo la temporada de captura en Septiembre en la parte norte de la Península y en la parte del sur en Noviembre (Anónimo, 2001; Briones-Fourzán & Lozano-Álvarez, 2000;). En la zona norte la langosta se captura con trampas rectangulares de alambre galvanizado y en la zona sur predominan las trampas de madera. Las trampas se colocan con carnada (pescado o moluscos) por la mañana y se recogen al siguiente día para ser almacenadas en contenedores o jaulas submarinas llamadas “recibas” cerca de la cooperativa donde permanecen de uno a seis días antes de ser trasladadas al centro de procesamiento o al punto de venta (Briones-Fourzán & Lozano-Álvarez, 2000; Ortiz, 2002). Las langostas en las cooperativas son procesadas o empaquetadas y pueden ser enviadas a centros de procesamiento de empresas privadas distribuidas en el norte de Baja California o enviadas al mercado nacional (Ortiz, 2002).

1.6 Transporte vivo de Crustáceos

Aunque el transporte en vivo de organismos acuáticos se ha venido realizando de manera rutinaria en el mundo, existe muy poca información publicada sobre el tema. Sigholka (1982) describe un sistema de transporte para peces y crustáceos tipo cuarto frío, que puede ser adaptado a barcos o trenes y que ha funcionado adecuadamente en Tailandia durante el transporte en vivo del langostino *Machrobrachium rosenbergii*. Mientras que Spotts (1983) reporta que el camarón *Panaeus japonicus* puede ser transportado en aserrín humedecido por periodos de hasta 24 h lo que reduce considerablemente el costo de operación. Cada día se intenta implementar nuevas técnicas con el fin de poder aumentar la supervivencia de las especies que requieren ser transportadas vivas. Así mismo se buscan variables que puedan incrementar los tiempos de traslado, por ejemplo, a baja temperatura (5-10°C) se incrementa la supervivencia de la langosta *Hommarus americanus* comparada con temperaturas de 20 a 30°C (Ortiz, 1996). Una respuesta

similar presenta la langosta, *P. japonicus*, ya que a temperatura baja (5-10°C) la supervivencia es 100% y ésta baja a 60% a 25°C (Huang & Chen, 2001).

1.7 Estrés asociado al transporte vivo

Cualquiera que sea el sistema o la técnica de transporte utilizada, existe una serie de alteraciones en la fisiología y en el desempeño fisiológico de los animales acuáticos cuando son expuestos a condiciones de estrés como largos periodos fuera del agua. En general, se desconoce la fisiología y los mecanismos involucrados durante el transporte en vivo y durante la posterior recuperación de la mayoría de las especies de crustáceos que se comercializan vivos.

Las langostas poseen branquias eficientes y mecanismos para generar un flujo continuo de agua a través de ellas, lo que permite la rápida difusión del oxígeno del medio externo a la sangre y del bióxido de carbono de la sangre al medio, además de mantener el equilibrio hídrico e iónico y balance del pH (Wilson, 1989). La glándula antenal es el órgano excretor de los Crustáceos, sin embargo la mayor parte de los desechos nitrogenados son eliminados por simple difusión a través del epitelio branquial (Wilson, 1989). El amonio es el producto final del catabolismo de proteínas y representa más de la mitad de los desechos nitrogenados de los crustáceos decápodos (Regnault, 1987). Durante la emersión la cámara branquial no dispone de un constante flujo de agua por lo que las branquias pueden colapsarse y reducir la superficie de intercambio gaseoso, o pueden perder humedad y con ésto imposibilitar la difusión del oxígeno al epitelio branquial (Taylor & Waldron, 1997; Sifuentes 2002). Asimismo, la excreción de dióxido de carbono y compuestos nitrogenados de desecho se interrumpe debido a la falta de un gradiente de concentración que permita la difusión hacia el exterior. Asociado a la acidosis respiratoria y al desequilibrio en el balance ácido-base consecuencia de la emersión, la toxicidad del amonio acumulado en la hemolinfa se incrementa (Schmitt & Uglow, 1997a; Racotta & Hernández-Herrera, 2000). El estrés durante la emersión puede ocasionar el rompimiento de la regulación iónica y osmótica y dañar la función celular en crustáceos osmorreguladores (Lignot *et al.*, 2000).

2. Antecedentes

Existe una serie de investigaciones que relacionan el efecto del tiempo de emersión en la fisiología de crustáceos entre los que se encuentran estudios con relación a la formación de desechos metabólicos (Paterson *et al.*, 1997; Paterson & Spanoghe, 1997; Schmitt & Uglow, 1997ab; Chen & Chen, 1998; Durand & Regnault, 1998; Huang & Chen, 2001; Danford *et al.*, 2002) en el metabolismo energético y proteico (Furusho *et al.*, 1988; Stillman & Somero, 1996; Morris & Oliver, 1999a; Paterson *et al.*, 1999; Bergmann *et al.*, 2001) en la fisiología respiratoria (Samet *et al.*, 1996; Luquet *et al.*, 1998); en la fisiología circulatoria (Kuramoto, 1994; Airries & McMahon, 1996); en el balance ácido-base (Chen & Chen, 1998; Morris & Oliver, 1999b); en la regulación osmótica e iónica (Schmitt & Santos, 1993; Morris, 2001); en la regulación endócrina (Webster, 1996; Spanoghe, 1996); y en el sistema inmune (Jussila *et al.*, 1997; Jussila *et al.*, 2001; Ortiz, 2002).

Durante la emersión los crustáceos intermareales, semi-terrestres y terrestres, tienen ciertas adaptaciones que les permiten continuar con la incorporación de oxígeno y la excreción de desechos sin embargo, las especies submareales no cuentan con dicha adaptación (Schmitt & Uglow, 1997b; Ortiz, 2003). Se ha demostrado que *Carcinus maenas* disminuye en un 50% la toma de oxígeno de manera inmediata por efecto de la emersión (Johnson & Uglow, 1985). Otras especies de crustáceos (vgr. *Penaeus semisulcatus*, *Macrobrachium malcolmsonii*, *Paratelphusa hydrodromus*) han mostrado incrementos de 2 a 5 órdenes de magnitud en el balance entre la cantidad de amonio excretado y de oxígeno consumido durante condiciones de hipoxia (Laxminarayana & Kutty, 1982). En *Crangon crangon* la producción de hemocianina disminuye de manera significativa durante la hipoxia y el ayuno, independientemente del estado de muda (Hagerman & Uglow, 1986). Recientemente se ha demostrado que *Palaemonetes adspersus* y *Palaemonetes varians* acumulan altas cantidades de lactato durante anoxia o hipoxia prolongada y que son capaces de removerlo a tasas similares durante la recuperación (Nielsen & Hagerman, 1998).

Son pocos los estudios que reportan la fisiología durante la re-inmersión en una serie de crustáceos expuestos a diferentes tiempos de emersión. El tiempo de recuperación durante la inmersión puede variar significativamente dependiendo de la especie. El

cangrejo *Cancer pagurus* posee altas concentraciones de amonio, lactato y urato en la hemolinfa después de 24 h de emersión, y le toma 24 h recuperar los niveles normales (Danford *et al.*, 2002). Taylor & Whitely, (1989) comentan que a la langosta *Homarus gammarus* le toma entre 1 y 3 h recuperar sus valores normales de pH y CO_2 en la hemolinfa, pero que la concentración de lactato se mantiene alta y requiere 24 h para regresar al nivel normal. Schmitt & Uglow (1997b) encontraron en la langosta *Nephrops norvegicus* que para un periodo de 8 h de emersión durante las dos primeras horas de inmersión la concentración de lactato se mantiene elevada y el pH presenta un incremento de la acidosis de 0.4 unidades. En *Necora puber* y *Carcinus maenas* después de 18 y 72 h de emersión el nivel de amonio en la hemolinfa regresa al nivel normal después de 24 h de inmersión (Durand & Regnault, 1998).

La langosta roja *P. interruptus* ha sido objeto de diversas investigaciones en relación a estudios poblacionales (Vega *et al.*, 1996; Vargas-Romero, 1999; Briones-Fourzán & Lozano-Álvarez, 2000); en pesquería (González & Lelevier, 1990; Guzmán & Pineda, 1990; Pérez-González *et al.*, 2002); en fecundidad (Pineda *et al.*, 1989; Tapia-Vázquez & Castro-González, 2000), en la distribución de larvas y juveniles (Ayala & Chávez, 1985); en caracterización del hábitat (Castañeda, 2005); en genética de poblaciones (Pérez-Enríquez *et al.*, 2001); en hábitos alimenticios (Díaz-Arredondo & Guzmán del Proo, 1995); en el sistema inmune (Hernández-López, *et al.*, 2003; Ortiz, 2002); en repuesta celular (Soto & Viana, 2003); en fisiología (WinGet, 1969; Patiño, 2002; Ocampo *et al.*, 2003). A diferencia de la langosta roja existen muy pocos estudios en la langosta azul. Las investigaciones se han enfocado a aspectos de la biología y pesquería (Weinborn, 1977; Grecia & Kensler, 1980; Vega *et al.*, 1996); de la distribución y abundancia de filosomas (Muñoz-García *et al.*, 2003), de la reproducción (Gracia, 1979) y genética de poblaciones (Pérez-González *et al.*, 1992). No existen reportes de la fisiología de esta especie durante la emersión.

En relación al transporte vivo Sifuentes (2002) demostró que *Panulirus interruptus* puede sobrevivir 24 horas de emersión sin aparente daño en las branquias. Mientras que Ramírez (2002) demostró que durante la recuperación el metabolismo respiratorio y la excreción de amonio se incrementan de manera significativa a causa del tiempo de emersión. Ortiz (2003) encontró que un tratamiento pre-emersión de shock térmico por

inmersión rápida en agua de mar a 5°C suprime la hiperglicemia inducida por la emersión en *P. interruptus*, por lo que recomienda el shock térmico para disminuir el estrés ocasionado por el transporte vivo y para facilitar el manejo de las langostas.

3. Hipótesis

Las langostas serán expuestas a periodos involuntarios de emersión durante su comercialización en vivo. El tiempo de exposición aérea (emersión) ocasionará una desviación (estrés fisiológico) en las concentraciones basales o de referencia de metabolitos en la hemolinfa de las langostas *Panulirus interruptus* y *P. inflatus* asociada a anaerobiosis, acidosis respiratoria y disminución de la excreción nitrogenada. Durante la recuperación (inmersión) los metabolitos en hemolinfa deberán regresar a los niveles previos a la emersión.

La hipótesis nula señala que el tiempo de emersión no produce diferencias significativas en la concentración de proteínas, glucosa, lactato y amonio en hemolinfa de las langostas espinosas *Panulirus interruptus* y *P. inflatus*, mientras que la hipótesis alterna indica que si existen diferencias significativas.

4. Justificación

Entre los recursos pesqueros importantes para México se encuentra la langosta, cuya captura en términos de volumen y valor económico ha ido en aumento a través de los años. Baja California Sur es el estado que tiene la mayor producción de langosta particularmente de la roja, *P. interruptus*. Los precios fluctúan de una temporada a otra pero en general las mayores ganancias pueden obtenerse en la presentación viva (\$15.0-\$22.0 US/kg) (Vega *et al.*, 1996). El principal objetivo de capturar, mantener, y transportar langosta viva es exportarla en la mejor condición de manera económicamente viable. Durante este proceso las langostas estarán expuestas a una serie de factores estresantes. La entrega de langostas en buenas condiciones y con alta supervivencia requiere criterios para el reconocimiento del estrés y procedimientos para revertirlo.

A lo largo de la cadena productiva se requiere capacitar al personal involucrado para poder perfeccionar sus habilidades y que desarrollen las mejores técnicas de captura, transporte y manejo de las langostas. Esta tarea es compleja y requiere del trabajo de investigación de especialistas que puedan definir buenas prácticas diseñadas acorde a las virtudes y limitantes fisiológicas de la especie para que se pueda cumplir con las demandas en seguridad alimentaria y calidad de producto que el mercado de exportación requiere. En el presente trabajo de investigación se evalúa la supervivencia y la capacidad fisiológica de las langostas *Panulirus interruptus* y *Panulirus inflatus*, cuando son sometidas a 2 tiempos de transporte en vivo y durante su recuperación utilizando una serie de metabolitos indicadores de cambios asociados al transporte vivo. La información generada contribuirá en el uso, manejo y optimización del recurso langosta en B.C.S.

5. Objetivo General

Evaluar la capacidad y el desempeño fisiológico de las langostas espinosas *Panulirus interruptus* y *Panulirus inflatus*, cuando son sometidas a dos tiempos de transporte vivo (fuera del agua) y durante su recuperación (inmersión).

5.1 Objetivos Particulares

- Determinar la supervivencia de la langosta *Panulirus interruptus*, y de la langosta *Panulirus inflatus*, después de 24 y 48 horas de emersión y durante seis días de inmersión (recuperación).
- Determinar la concentración de proteínas, glucosa, lactato y amonio en hemolinfa de la langosta *Panulirus interruptus*, después de 24 y 48 horas de emersión y después de seis días de inmersión (recuperación).
- Determinar la concentración de proteínas, glucosa, lactato y amonio en hemolinfa de la langosta *Panulirus inflatus*, después de 24 y 48 horas de emersión y después de seis días de inmersión (recuperación).

6. Material y Métodos

6.1 Origen de las langostas

Se obtuvieron 75 langostas rojas, *Panulirus interruptus*, procedentes de la cooperativa Punta Abreojos, B.C.S, de talla comercial y peso promedio 669 ± 161 g y 75 langostas azules, *Panulirus inflatus*, de la comercializadora Mar y Peña, procedentes del campo pesquero El Conejo, B.C.S., de talla comercial y peso promedio 578 ± 104 g.

6.2 Técnica de transporte

Para los experimentos con langosta roja se utilizó la técnica para la exportación de langosta viva empleada por la cooperativa Punta Abreojos de acuerdo al siguiente procedimiento. Se colocaron en cajones de madera (100 x 80 x 20 cm) con orificios laterales, grupos de 30 langostas encontradas de frente sobre un costal de henequén húmedo. Las langostas se cubrieron con otro costal húmedo y se colocaron bolsas de hielo seco en gel (*blue ice*), además para poder conocer la temperatura y humedad relativa que se mantuvo en los cajones, se colocó un registrador electrónico (HOBO™) en la parte superior del cajón (Figura 3) Los cajones se transportaron hasta el laboratorio del CIBNOR, en una camioneta Pickup con caseta.



Figura 3. Cajones de madera utilizados para la simulación del transporte en vivo (tiempo de emersión) de la langosta *Panulirus interruptus*.

Para la langosta azul se utilizó la técnica para el transporte de langosta roja que emplean en las cooperativas de la zona sur en el campo pesquero “San Carlos” en López Mateos. Se colocaron en hieleras de poliuretano (cuatro hieleras), un grupo de 15 langostas sobre una “cama” de aserrín y se cubrieron con más aserrín. En la parte superior se colocó un

paquete de *blue ice* y un HOBO™. Las hieleras se taparon y sellaron con cinta canela y permanecieron en el laboratorio durante el tiempo de emersión (Figura 4).

Para las dos especies de langosta se simularon dos tiempos de transporte en vivo que equivalen a periodos de 24 y 48 horas de emersión.



Figura 4. Hielera utilizada para la simulación del transporte en vivo (tiempo de emersión) de la langosta *Panulirus inflatus*.

6.3 Obtención de las muestras de hemolinfa de referencia (pre-emersión)

En el campo pesquero de Punta Abreojos se tomaron al azar 15 langostas rojas en intermuda recién desembarcadas en la cooperativa. Estas langostas tenían aproximadamente 1 hora de haber sido sacadas de las recibas (contenedores de almacenamiento de langostas). En las recibas permanecieron durante dos días sin alimentarse. A este grupo se le tomaron muestras de hemolinfa de manera similar a lo que se describe posteriormente y se almacenaron en nitrógeno líquido para su traslado al CIBNOR. Para langosta azul se mantuvo un grupo de 15 langostas durante una semana en una tina con agua de mar y flujo continuo de agua, alimentándolas diario con trozos de calamar. La temperatura del agua se mantuvo a 20°C similar a la registrada en las recibas del campo pesquero “El Conejo”. Pasado este periodo se sifoneó el resto del alimento y heces y se dejaron a las langostas en inanición durante 2 días para posteriormente drenar por completo el agua y tomar las muestras de hemolinfa.

Después de obtener las muestras de hemolinfa, se registró el peso, se tomaron características morfológicas particulares de las langostas, se registró el sexo y se tomó una muestra del urópodo para determinar el estadio de muda.

6.4 Obtención de las muestras de hemolinfa durante emersión e inmersión

Después de 24 y 48 h de transporte, se abrieron los cajones y las hieleras y se quitó el costal o el aserrín que cubría a las langostas. Para determinar el efecto debido al tiempo de emersión en la concentración de los metabolitos seleccionados se separó al azar un grupo de 15 langostas. A este grupo se les tomaron 2 muestras de hemolinfa/langosta de la región del pericardio con ayuda de dos jeringas hipodérmica de 3 ml utilizando como anticoagulantes, en un caso 200 μ L de solución isotónica de crustáceos mezclada con oxalato de sodio al 5% (análisis de proteínas, glucosa, lactato) y en otro caso 2.5 ml de agua desionizada previamente enfriada (4°C) (análisis de amonio). Las muestras fueron centrifugadas, transvasadas a tubos de microcentrífuga y congeladas a -80°C hasta su posterior análisis.

El otro grupo de 15 langostas fueron marcadas con cinchos plásticos de color en las antenas y colocadas en una tina con agua de mar (1,500 L capacidad, 37 ups) y flujo continuo, donde permanecieron durante 6 días en recuperación sin alimentarse. A este grupo de langostas se le tomaron muestras de hemolinfa después de 1, 24, 48, 96 y 144 h de inmersión de manera similar pero en forma alternada, esto es, se subdividió en dos grupos de 7 langostas para evitar sangrar a la misma langosta durante las mediciones consecutivas.

En todos los casos, después de haber obtenido las muestras de hemolinfa y pasado las 144 horas de inmersión, se registró el peso, sexo y características morfológicas particulares de las langostas, y se tomó una muestra del urópodo para determinar el estadio de muda.

6.5 Registro de la temperatura y de la humedad relativa en hieleras y cajones durante el tiempo de emersión

El registrador electrónico fue programado para que cada 15 segundos almacenara un dato. La base de datos obtenidos se analizó con el programa Box Car ver. 3.6.

6.6 Determinación del estadio de muda

Debido a que no existen reportes del estadio de muda para *P. interruptus* y *P. inflatus* se utilizó el registro reportado por Glenn & McDonald (1983) para *Panulirus marginatus*. Esto se llevo a cabo colocando una porción del urópodo (previamente humedecido) en el portaobjetos para observar sus características de los diferentes estadios del ciclo de muda.

6.7 Análisis de metabolitos

La determinación de la concentración de proteínas, glucosa y lactato se realizó en el laboratorio de Bioquímica Fisiológica del CIBNOR de acuerdo a técnicas estandarizadas que se describen abajo. Para el análisis de la concentración de glucosa y de lactato las muestras fueron desproteinizadas con ácido perclórico (6%) ya que la proteína interfiere en las mediciones.

6.7.1 Proteínas

La concentración de proteínas se determinó por la técnica de Bradford (Bradford, 1976), con un kit comercial (BIO-RAD Catalog 500-0006). Dicha técnica está basada en grupos de amonio que reaccionan con el colorante azul cromassie, ácido fosfórico y metanol. El compuesto colorido formado por la reacción es directamente proporcional a la concentración de proteínas en la muestra y es estimada por la curva de calibración (Blanco, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.5, 1 y 2 mg/mL) de solución de albúmina (SIGMA Catalog P-0834).

6.7.2 Glucosa

Para determinar la concentración de glucosa se utilizó un kit comercial (Merk, Cat. No. 740393, método GOD-PAP), que consiste en la oxidación de la glucosa por la enzima glucosa oxidasa, con la liberación de peróxido de hidrógeno. Posteriormente reacciona con fenol y 4-amino fenazona en presencia de una peroxidasa, dando un color rojo violeta de antipirilquinonimina, siendo proporcional a la cantidad de glucosa presente en la muestra, determinada por la curva de calibración (Blanco, 1.5625, 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50 y 100 mg/dL).

6.7.3 Lactato

Para determinar la concentración de lactato, se utilizó un kit comercial (RANDOX Catalog LC2389, PAP). En esta técnica el ácido láctico es convertido a piruvato con formación de peróxido de hidrógeno por lactato oxidasa, el cual es oxidado por una peroxidasa formando un compuesto colorido, que es directamente proporcional a la concentración de lactato, determinada por la curva de calibración (Blanco, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10, 20 y 40 mg/dL).

6.7.4 Amonio

El amonio total ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$) se determinó utilizando una microtécnica de flujo-inyección-análisis (FIA) del gas de acuerdo a la técnica en un sistema estandarizado por Hunter & Uglow (1993). Dicha técnica consiste en inyectar la muestra de hemolinfa (100 μl) en un circuito en presencia de una base fuerte (NaOH) separada de una solución indicadora (azul de bromotimol) dentro del pH 6.5-7.5 por una membrana permeable y el amonio es transformado en su totalidad a NH_3 . El color resultante de dicho cambio es detectado en un espectrofotómetro y se relaciona con estándares de concentraciones conocidas de sulfato de amonio previamente inyectadas.

El contenido de amonio acumulado en la hemolinfa (μmol) durante la emersión se calculó en la base de un volumen total de hemolinfa equivalente al 30% del peso fresco de la langosta (Spaargaren, 1972).

6.8 Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos al análisis exploratorio para determinar el procedimiento estadístico a utilizar. A los datos se les aplicaron pruebas de homocedasticidad. Para determinar si existió diferencia en los metabolitos de las langostas por el efecto del tiempo de emersión se procedió a realizar un análisis de variancia (ANDEVA) de 1 vía con un nivel de significancia (α) de 0.05. En caso de diferencia significativa se realizó la comparación de medias mediante la prueba a posteriori de Tukey con un nivel de significancia (α) de 0.05. Para comparar los datos obtenidos durante la emersión con los datos de las langostas de referencia (previos a la emersión) se realizaron pruebas *t* de Student con un nivel de significancia (α) de 0.05.

7. Resultados

7.1 Efecto del tiempo de emersión en el desempeño fisiológico de la langosta *Panulirus interruptus*

7.1.1 Supervivencia de *Panulirus interruptus*

La supervivencia de la langosta *Panulirus interruptus* fue del 100% después de 24 h de emersión, mientras que después de 48 h de emersión la supervivencia disminuyó a 93%. Durante los seis días que se mantuvo en inmersión en ambos tratamientos (24 y 48 h de emersión) la supervivencia fue del 100%.

7.1.2 Temperatura y humedad relativa en el sistema de transporte en vivo utilizado en *Panulirus interruptus*

La variación en la temperatura y en la humedad relativa registrada en el cajón durante los dos tiempos de emersión en la langosta *P. interruptus* se presenta en las Figuras 5 y 6. En el tratamiento de 24 horas de emersión, la temperatura de inicio fue de 19.4°C y después de cuatro horas disminuyó a 14.9°C y se mantuvo por dos horas para posteriormente incrementarse paulatinamente hasta llegar a 17.5°C a las 17 horas de emersión y mantener pequeñas variaciones; la temperatura final fue de 16.8°C (Figura 5). La humedad relativa se incrementó de 69 a 88.4% durante la primera hora de emersión y se mantuvo en este nivel con pequeñas variaciones; la humedad relativa final fue de 97.4% (Figura 5).

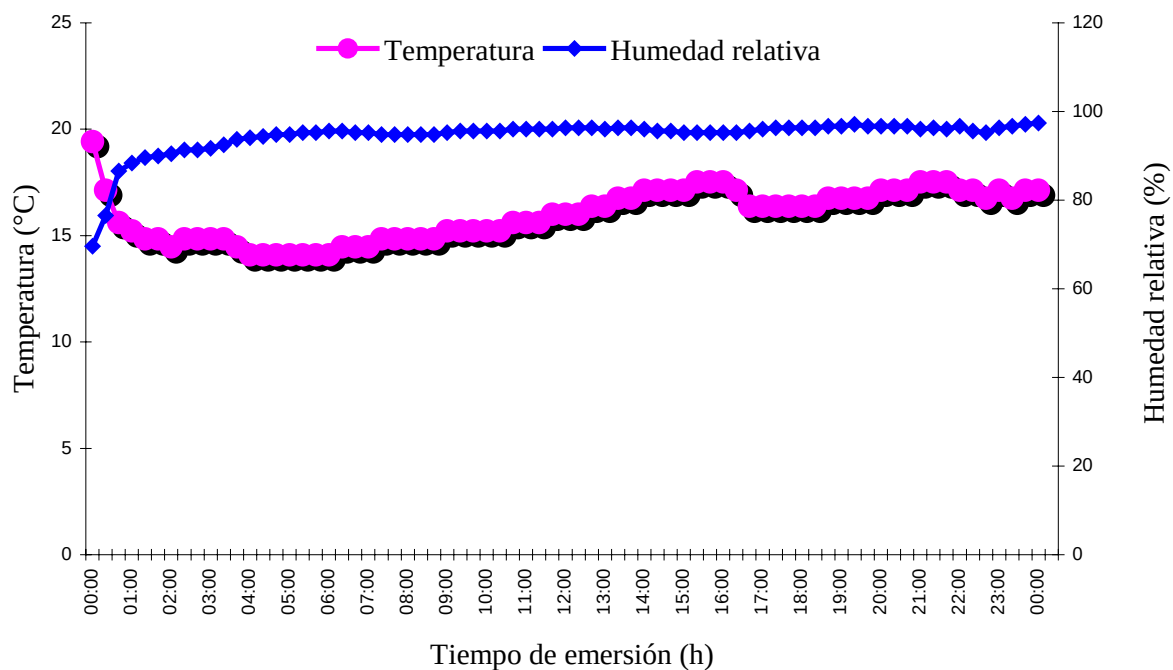


Figura 5. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 24 horas de transporte en vivo de langosta roja *Panulirus interruptus*.

En el tratamiento de 48 horas de emersión, la temperatura de inicio fue de 24.8°C y durante las primeras ocho horas disminuyó a 13.7°C y se mantuvo casi constante en las seis horas siguientes, llegando a la temperatura más baja a las 13 horas de emersión (13.32°C), para posteriormente incrementarse paulatinamente a 20.9°C (Figura 6). La humedad relativa se incrementó de 60 a 88% durante las primeras cuatro horas de emersión; la humedad relativa final fue de 93% (Figura 6).

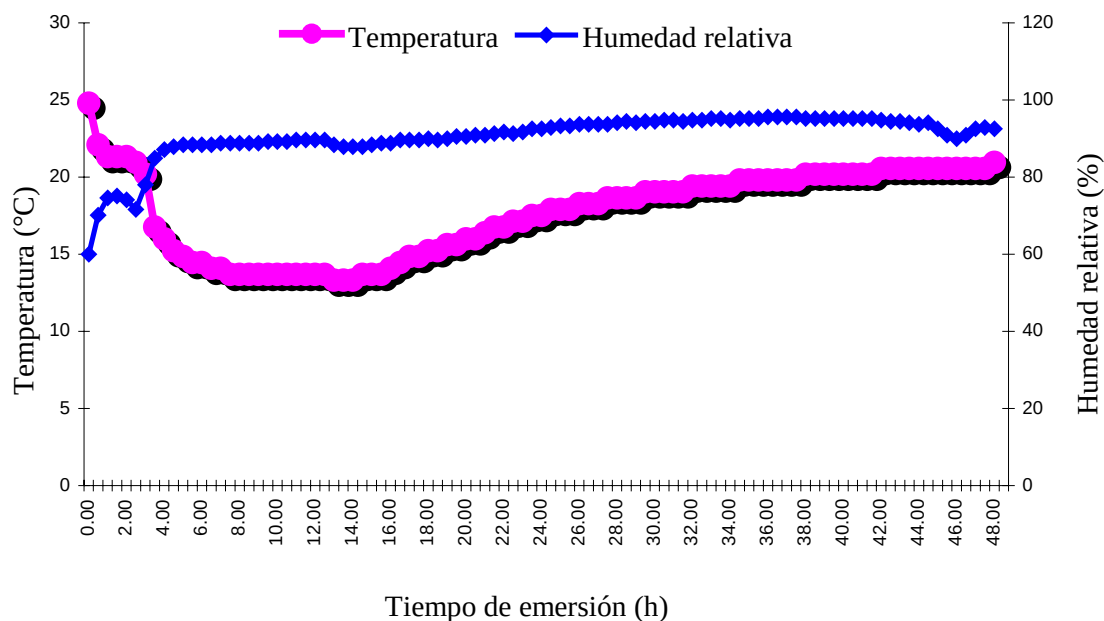


Figura 6. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 48 horas de transporte en vivo de langosta roja *Panulirus interruptus*.

7.1.3 Concentración de glucosa y lactato durante 24 y 48 horas de emersión

La concentración de glucosa y de lactato se incrementaron de manera significativa por efecto de la emersión ($P < 0.05$) (Figuras 7, 8), sin embargo no hubo diferencia significativa en las concentraciones de glucosa y de lactato a los diferentes tiempos de emersión ($P > 0.05$). La concentración promedio de glucosa durante emersión es de 0.407 ± 0.01 mg/mL y la concentración promedio de lactato durante emersión es de 0.255 ± 0.05 mg/mL.

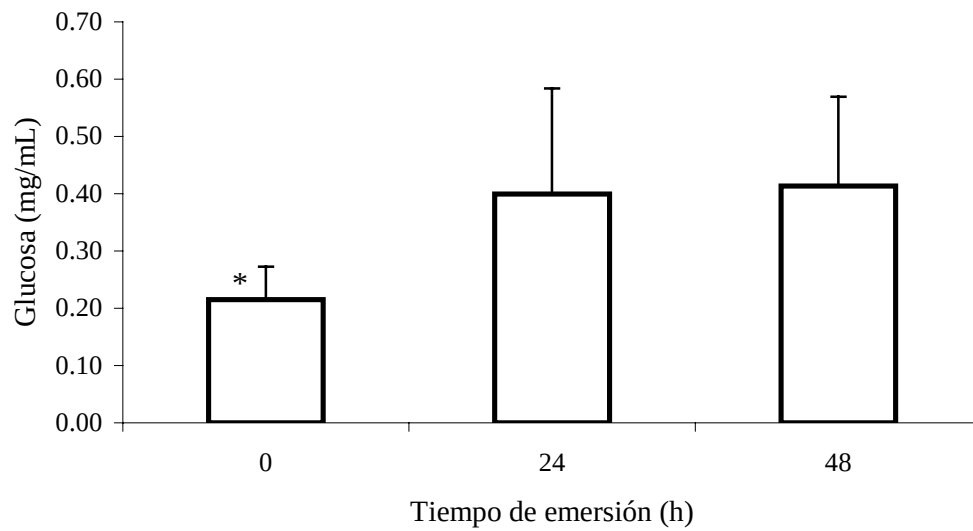


Figura 7. Concentración de glucosa (mg/mL) en hemolinfa de *Panulirus interruptus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. *Diferencia significativa ($P<0.05$).

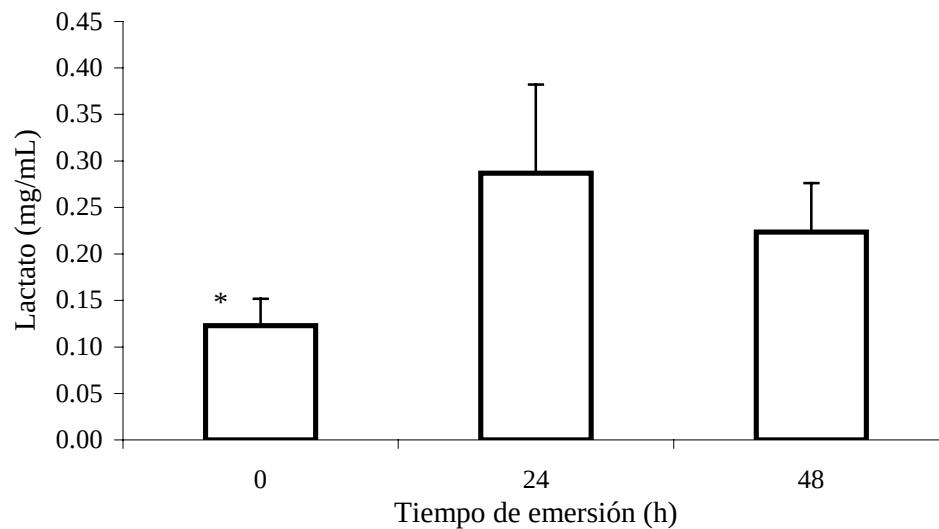


Figura 8. Concentración de lactato (mg/mL) en hemolinfa de *Panulirus interruptus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. *Diferencia significativa ($P<0.05$).

7.1.4 Concentración de proteínas durante 24 y 48 horas de emersión

La concentración de proteínas no se incrementó de manera significativa por efecto de la emersión ($P>0.05$) (Figura 9), ni varió entre los tiempos de emersión ($P>0.05$). La concentración promedio de proteína en *P. interruptus* durante emersión es de 103.1 ± 1.9 (mg/mL).

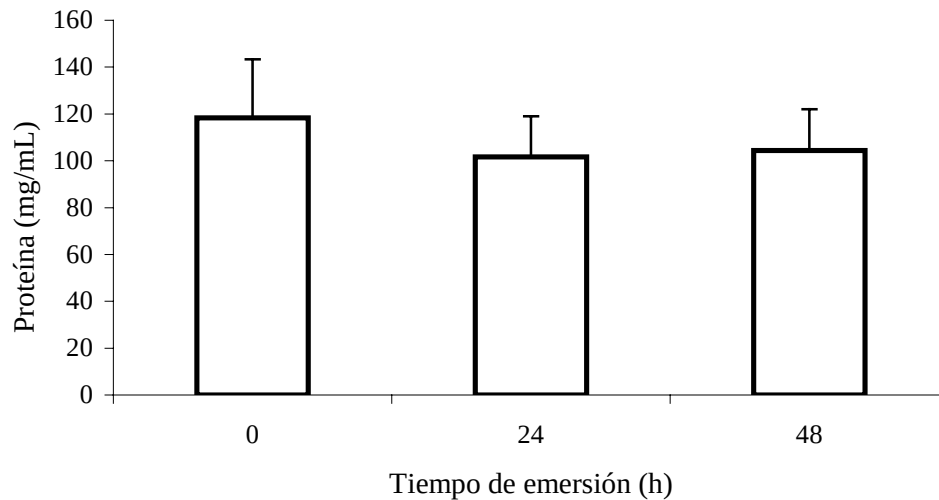


Figura 9. Concentración de proteínas (mg/mL) en hemolinfa de *Panulirus interruptus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión.

7.1.5 Concentración de amonio durante 24 y 48 horas de emersión

La concentración de amonio se incrementó de manera significativa por efecto de la emersión ($P<0.05$) (Figura 10) y se encontraron diferencias significativas en la concentración de amonio a los diferentes tiempos de emersión ($P<0.05$). La concentración de amonio a las 24 h de emersión es de 337.7 ± 126.4 ($\mu\text{mol/L}$) y a las 48 h de emersión es de 571.3 ± 131.5 ($\mu\text{mol/L}$). La concentración de amonio a las 24 y 48 horas de emersión incrementó 1.7 y 3.6 veces (respectivamente) con respecto al nivel de pre-emersión.

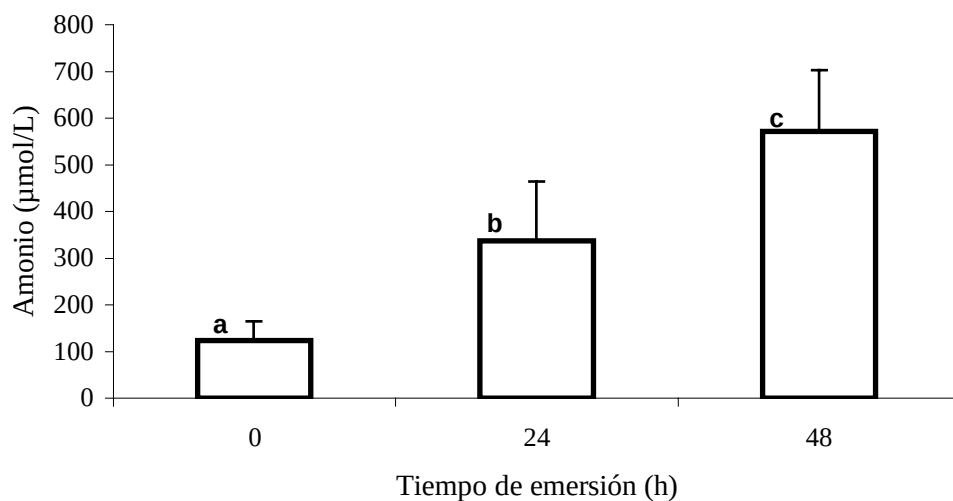


Figura 10. Concentración de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en hemolinfa de *Panulirus interruptus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. Letras diferentes en la columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

La acumulación de amonio (μmol) en hemolinfa de *P. interruptus* se presenta en la Tabla 1. La acumulación de amonio a 24 h de emersión fue de 64.5 ± 3.8 (μmol) y de 105.1 ± 6.0 (μmol) para el tratamiento de 48 h de emersión. Estos valores son considerablemente menores (16 y 13%) a los valores estimados considerando una producción continua de amonio a la tasa rutinaria de excreción durante 24 y 48 h de emersión (Tabla 1).

Tabla 1. Acumulación de amonio (μmol) en hemolinfa de *Panulirus interruptus* en comparación a las estimaciones basadas en una producción continua a la tasa de excreción rutinaria.

	Emersión	
	(h)	
	24	48
Tasa excreción amonio rutinaria a 20°C ($\mu\text{mol/g/h}$)	0.026 $\pm$ 0.02*	0.026 $\pm$ 0.02*
Excreción de amonio rutinario esperado (μmol)	397.5 $\pm$ 48.3	765.0 $\pm$ 146.4
Amonio durante emersión ($\mu\text{mol/L}$)	337.7 $\pm$ 126.4	571.3 $\pm$ 131.5
Peso promedio langostas (g)	637 $\pm$ 100.7	613 $\pm$ 152.5
Volumen de hemolinfa (mL)	191.1 $\pm$ 30.2	183.9 $\pm$ 45.8
Acumulación de amonio en hemolinfa (μmol)	64.5 $\pm$ 3.8	105.1 $\pm$ 6.0
Acumulación de amonio como % de lo esperado	16.2 $\pm$ 7.9	13.7 $\pm$ 4.1

* valores reportados por Ramírez (2002)

7.2 Efecto del tiempo de inmersión en el desempeño fisiológico de la langosta *Panulirus interruptus*

7.2.1 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa durante inmersión después de 24 horas de emersión.

La concentración de glucosa, de lactato y de amonio durante la inmersión son significativamente más altas durante la primera hora de inmersión (Tabla 2). En la primera hora de inmersión la concentración de lactato es de 0.176 (mg/mL) y disminuyó (86%) después de 24 h para mantenerse en promedio en 0.027 (mg/mL) durante los 5 días posteriores. En la primera hora de inmersión la concentración de amonio es de 196.3 ($\mu\text{mol/L}$) y disminuyó (68%) después de 24 h para mantenerse en promedio en 43 ($\mu\text{mol/L}$) durante los 5 días posteriores. La concentración de proteínas no varió durante la inmersión de manera significativa ($P > 0.05$). La concentración de proteínas en promedio es de 108.3 (mg/mL) (Tabla 2).

Tabla 2. Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta *Panulirus interruptus* durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 24 horas de emersión.

Metabolito	Tiempo de inmersión (h)				
	1	24	48	96	144
Glucosa (mg/mL)	0.148 ±0.04a	0.095 ±0.03b	0.136 ±0.02ab	0.135 ±0.03ab	0.127 ±0.03ab
Lactato (mg/mL)	0.176 ±0.05a	0.024 ±0.01b	0.031 ±0.02b	0.028 ±0.01b	0.025 ±0.01b
Proteínas (mg/mL)	105.7 ±15.2a	115.5 ±22.2a	114.4 ±20.5a	99.7 ±16.4a	106.0 ±10.2a
Amonio (μmol/L)	196.3 ±80.3a	62.6 ±15.2b	38.4 ±15.4b	38.4 ±19.4b	30.8 ±12.0b

Letras iguales en la fila indican que no hay diferencia significativa ($P>0.05$).

7.2.2 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa durante inmersión después de 48 horas de emersión.

La concentración de glucosa, de lactato y de amonio durante la inmersión son significativamente más altas durante la primera hora de inmersión (Tabla 3). En la primera hora de inmersión la concentración de lactato es de 0.185 (mg/mL) y disminuyó (86%) después de 24 h para mantenerse en promedio en 0.025 (mg/mL) durante los 5 días posteriores. En la primera hora de inmersión la concentración de amonio es de 103.7 (μmol/L) y disminuyó (39%) después de 24 h para mantenerse en promedio en 44 (μmol/L) durante los 5 días posteriores. La concentración de proteínas no varió durante la inmersión de manera significativa ($P>0.05$). La concentración de proteína en promedio es de 100.8 (mg/mL) (Tabla 3).

Tabla 3. Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta *Panulirus interruptus* durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 48 horas de emersión.

Metabolito	Tiempo de inmersión (h)				
	1	24	48	96	144
Glucosa (mg/mL)	0.138 ±0.09a	0.031 ±0.01b	0.060 ±0.02b	0.079 ±0.02ab	0.082 ±0.02ab
Lactato (mg/mL)	0.185 ±0.11a	0.022 ±0.01b	0.024 ±0.01b	0.028 ±0.02b	0.026 ±0.01b
Proteínas (mg/mL)	106.8 ±7.8a	110.8 ±10.5a	96.8 ±11.5ac	85.8 ±17.2bc	103.9 ±16.5ac
Amonio (μmol/L)	103.7 ±8.5a	63.2 ±17.0b	40.1 ±26.0b	35.4 ±16.8b	37.5 ±17.1b

Letras iguales en la fila indican que no hay diferencia significativa ($P>0.05$).

7.3 Tiempo de emersión en la langosta *Panulirus inflatus*

7.3.1 Supervivencia de *Panulirus inflatus*

La supervivencia de la langosta *Panulirus inflatus* fue del 100% después de 24 h de emersión, mientras que después de 48 h de emersión la supervivencia disminuyó a 86%. Durante los seis días que se mantuvo en inmersión en ambos tratamientos (24 y 48 h de emersión) la supervivencia fue del 92%. Una langosta murió durante la primera hora de inmersión en el tratamiento de 24 h de emersión mientras que en el tratamiento de 48 h de emersión una langosta murió a las 48 h de inmersión.

7.3.2 Temperatura y humedad relativa en el sistema de transporte en vivo utilizado en *Panulirus inflatus*

La variación en la temperatura y en la humedad relativa registrada en el cajón durante los dos tiempos de emersión en la langosta *P. inflatus* se presenta en las Figuras 11 y 12. En el tratamiento de 24 horas de emersión, la temperatura de inicio fue de 19.7°C y fue disminuyendo paulatinamente hasta llegar a 14.3°C a las 24 horas de emersión (Figura 11). La humedad relativa se incrementó de 64 a 85% durante las primeras 7 horas de emersión y se mantuvo en este nivel con pequeñas variaciones.

En el tratamiento de 48 horas de emersión, la temperatura de inicio fue de 23.2°C y fue disminuyendo paulatinamente durante las primeras 20 horas de emersión hasta llegar a 15.2°C y se mantuvo constante para incrementarse a 16.7°C a las 48 horas de emersión (Figura 12). La humedad relativa se incrementó de 46 a 91% durante las primeras 15 horas de emersión y se mantuvo en este nivel con pequeñas variaciones.

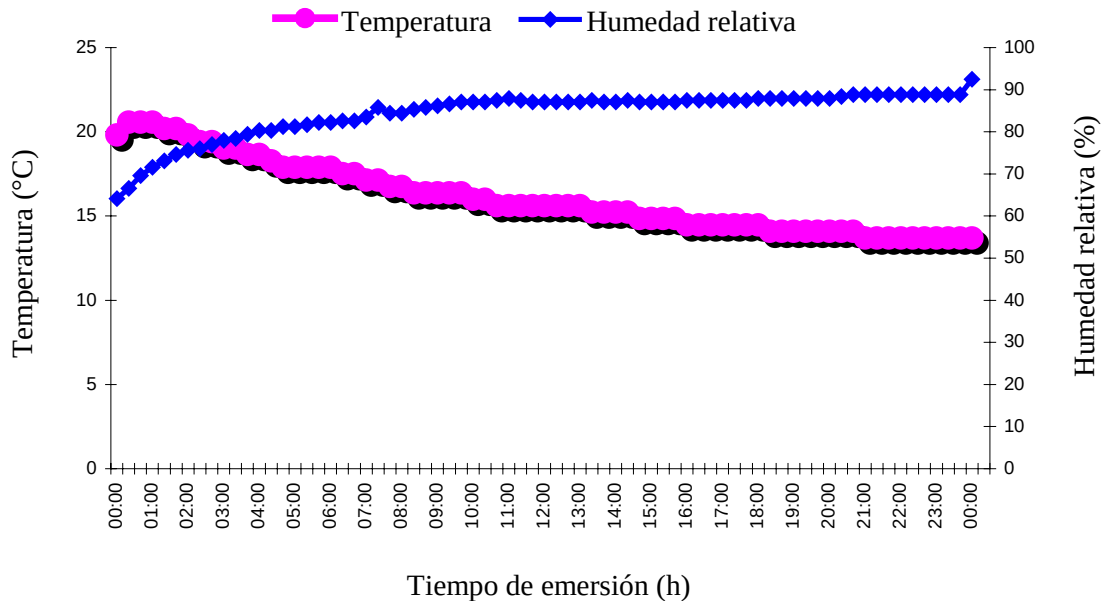


Figura 11. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 24 horas de transporte en vivo de langosta azul, *Panulirus inflatus*.

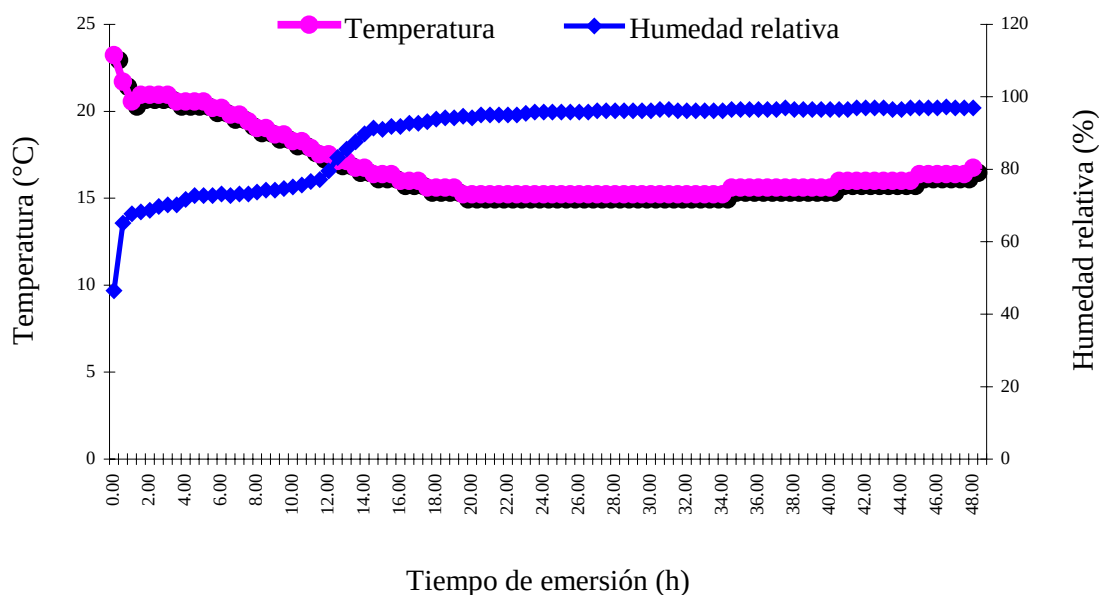


Figura 12. Variación en la temperatura (°C) y en la humedad relativa (%) al interior del cajón de madera a 48 horas de transporte en vivo de langosta azul, *Panulirus inflatus*.

7.3.3 Concentración de glucosa y lactato en hemolinfa durante 24 y 48 horas de emersión

En *P. inflatus* la concentración de glucosa se incrementó de manera significativa consecuencia de la emersión y varió entre los tiempos de emersión ($P < 0.05$). A las 24 y 48 horas de emersión la concentración de glucosa incrementó 2.8 y 4.9 veces (respectivamente) comparado con el nivel de pre-emersión (Figura 13). La concentración de lactato se incrementó de manera significativa por efecto de la emersión ($P < 0.05$), sin embargo no hubo diferencia significativa en la concentración de lactato a los diferentes tiempos de emersión ($P > 0.05$) (Figura 14). La concentración promedio de lactato durante emersión es de 0.34 ± 0.02 mg/mL.

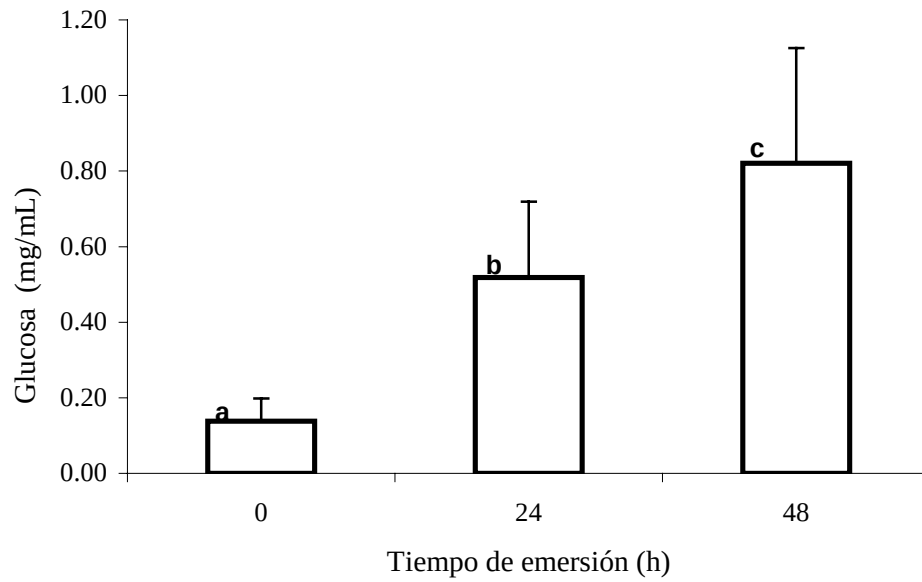


Figura 13. Concentración de glucosa (mg/mL) en hemolinfa de *Panulirus inflatus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. Letras diferentes en las columnas indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

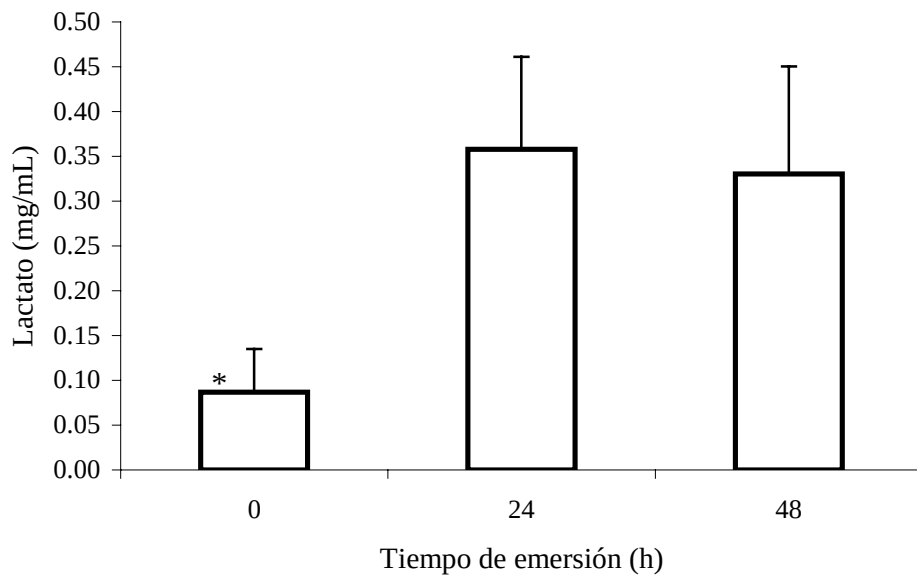


Figura 14. Concentración de lactato (mg/mL) en hemolinfa de *Panulirus inflatus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. * indica diferencia significativa ($P < 0.05$).

7.3.4 Concentración de proteínas durante 24 y 48 horas de emersión

La concentración de proteínas se incrementó de manera significativa durante la emersión ($P<0.05$), sin embargo no varió entre los tiempos de emersión ($P>0.05$) (Figura 15). La concentración promedio de proteínas en *P. inflatus* durante emersión es de 164.2 ± 2.2 (mg/mL).

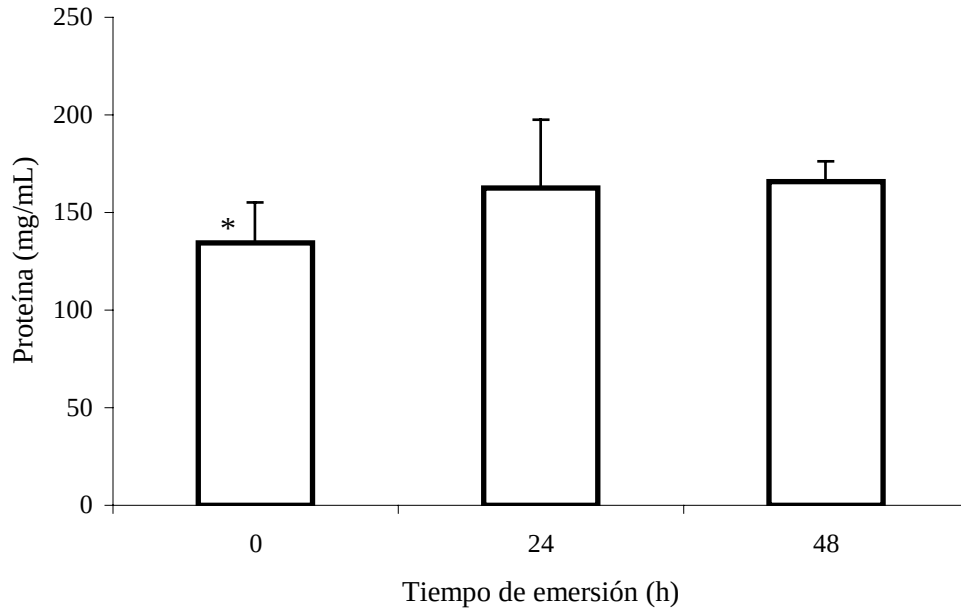


Figura 15. Concentración de proteínas (mg/mL) en hemolinfa de *Panulirus inflatus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. * indica diferencia significativa ($P<0.05$).

7.3.5 Concentración de amonio en hemolinfa durante 24 y 48 horas de emersión

La concentración de amonio se incrementó de manera significativa por efecto de la emersión ($P<0.05$) y se encontraron diferencias significativas en la concentración de amonio a los diferentes tiempos de emersión ($P<0.05$) (Figura 16). La concentración de amonio a las 24 h de emersión es de 149.2 ± 61.6 ($\mu\text{mol/L}$) y a las 48 h de emersión es de 434.6 ± 125.3 ($\mu\text{mol/L}$). La concentración de amonio a las 24 y 48 horas de emersión incrementó 0.65 y 3.8 veces (respectivamente) con respecto al nivel de pre-emersión.

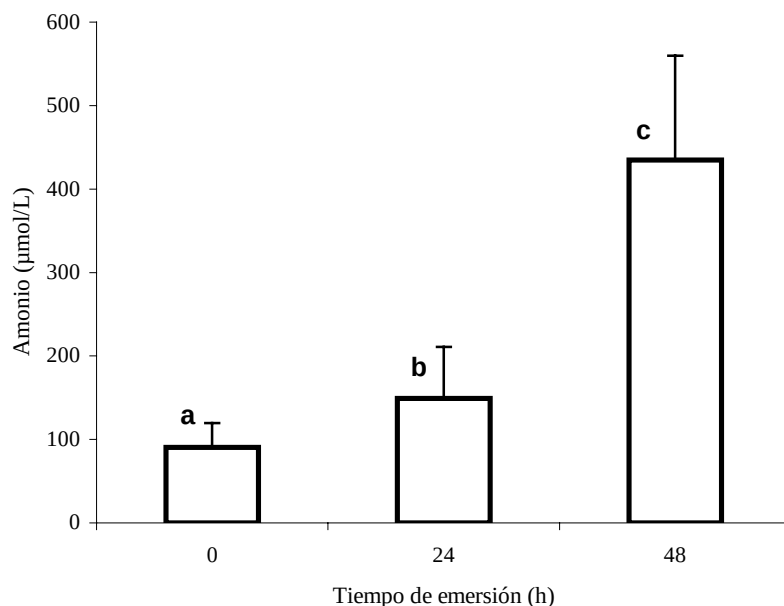


Figura 16. Concentración de amonio ($\mu\text{mol/L}$) en hemolinfa de *Panulirus inflatus* durante la pre-emersión y después de 24 y 48 horas de emersión. Letras diferentes en la columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

La acumulación de amonio (μmol) en hemolinfa de *P. inflatus* se presenta en la Tabla 6. Dicho cálculo fue basado en el supuesto de que el amonio total es acumulado en hemolinfa durante emersión, por lo que el incremento puede ser calculado como la proporción que se esperarías obtener basado en una producción continua a la tasa de excreción rutinaria (tasa de excreción de amonio de langostas en inanición con mínima actividad motora en intermuda). El contenido de amonio en hemolinfa se calculó en la base de un volumen de hemolinfa del 30% del peso fresco de la langosta (Spaargaren, 1972).

En *P. inflatus* la acumulación de amonio durante emersión fue de 27.1 ± 2.0 (μmol) para el tratamiento de 24 h de emersión y de 78.5 ± 4.7 (μmol) para el tratamiento de 48 h de emersión. Estos valores son considerablemente menores (18%) a los valores estimados considerando una producción continua de amonio a la tasa rutinaria de excreción durante 24 y 48 h de emersión (Tabla 4).

Tabla 4. Acumulación de amonio (μmol) en hemolinfa de *Panulirus inflatus* en comparación a las estimaciones basadas en una producción continua a la tasa de excreción rutinaria.

	Emersión (h)	
	24	48
Tasa excreción rutinaria a 20°C ($\mu\text{mol/g/h}$)	0.026 $\pm$ 0.02*	0.026 $\pm$ 0.02*
Excreción de amonio rutinario esperado (μmol)	397.5 $\pm$ 48.3	765.0 $\pm$ 146.4
Amonio durante emersión ($\mu\text{mol/L}$)	149.2 $\pm$ 61.6	434.6 $\pm$ 125.3
Peso promedio langostas (g)	605 $\pm$ 106.8	602 $\pm$ 125.0
Volumen de hemolinfa (mL)	181.5 $\pm$ 32.0	180.6 $\pm$ 37.5
Acumulación de amonio en hemolinfa (μmol)	27.1 $\pm$ 2.0	78.5 $\pm$ 4.7
Acumulación de amonio como % de lo esperado	18.1	18.1

* valores reportados por Ramírez 2002.

7.4 Efecto del tiempo de inmersión en el desempeño fisiológico de la langosta *Panulirus inflatus*

7.4.1 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa durante inmersión después de 24 horas de emersión.

La concentración de glucosa y de lactato durante la inmersión son significativamente más altas durante la primera hora de inmersión (Tabla 5). En la primera hora de inmersión la concentración de lactato es de 0.367 (mg/mL) y disminuyó (87%) después de 48 h para mantenerse en promedio en 0.057 (mg/mL) durante los 5 días posteriores. En la primera hora de inmersión la concentración de amonio es de 73.2 ($\mu\text{mol/L}$) y se mantuvo en promedio en 54 ($\mu\text{mol/L}$) durante los 6 días de inmersión. La concentración de proteínas no varió durante la inmersión de manera significativa ($P > 0.05$). La concentración de proteínas en promedio es de 169.3 (mg/mL) (Tabla 5).

Tabla 5. Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta *Panulirus inflatus* durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 24 horas de emersión.

Metabolito	Tiempo de inmersión (h)			
	1	48	96	144
Glucosa (mg/mL)	0.381 ±0.09a	0.101 ±0.02b	0.196 ±0.06c	0.131 ±0.04bc
Lactato (mg/mL)	0.365 ±0.10a	0.047 ±0.01b	0.053 ±0.01b	0.072 ±0.03b
Proteínas (mg/mL)	168.1 ±18.7a	166.0 ±19.6a	169.8 ±14.9 ^a	173.2 ±20.8a
Amonio (μmol/L)	73.2 ±25.4a	52.7 ±17.6a	44.2 ±15.0a	66.0 ±30.0a

Letras iguales en la fila indican que no hay diferencia significativa ($P>0.05$).

7.4.2 Concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio durante inmersión después de 48 horas de emersión.

La concentración de glucosa, lactato y amonio durante la inmersión son significativamente más altas durante la primera hora de inmersión (Tabla 6). En la primera hora de inmersión la concentración de lactato es de 0.38 (mg/mL) y disminuyó (83%) después de 48 h para mantenerse en promedio en 0.066 (mg/mL) durante los 5 días posteriores. En la primera hora de inmersión la concentración de amonio es de 170 (μmol/L) y se mantuvo en promedio en 56.7 (μmol/L) durante los 5 días posteriores. La concentración de proteínas no varió durante la inmersión de manera significativa ($P>0.05$). La concentración de proteínas en promedio es de 178 (mg/mL) (Tabla 6).

Tabla 6. Media y desviación estándar de la concentración de glucosa, lactato, proteínas y amonio en hemolinfa de la langosta *Panulirus inflatus* durante 6 días de inmersión (recuperación), después de haber sido sometida a 48 horas de emersión.

Metabolito	Tiempo de inmersión (h)			
	1	48	96	144
Glucosa (mg/mL)	1.303 ±0.33a	0.144 ±0.08b	0.128 ±0.07c	0.267 ±0.09bc
Lactato (mg/mL)	0.384 ±0.05a	0.070 ±0.02b	0.060 ±0.01b	0.069 ±0.02b
Proteínas (mg/mL)	178.4 ±15.6 ^a	184.7 ±9.5a	184.2 ±10.2a	164.4 ±30.6a
Amonio (μmol/L)	169.7 ±65.2a	64.8 ±14.1b	58.7 ±11.8b	46.6 ±15.6b
Letras iguales en la fila indican que no hay diferencia significativa ($P>0.05$)				

8. Discusión

8.1 Supervivencia

La langosta roja *Panulirus interruptus*, y la langosta azul *Panulirus inflatus* presentaron 100% de supervivencia después de haber sido sometidas a 24 h de emersión. Ambas especies toleran por lo menos 24 h de emersión, ésto coincide con los resultados obtenidos por Ortiz (2002) y Ramírez (2002). Sifuentes (2002) concluye que *P. interruptus* tiene la capacidad de soportar periodos de emersión de hasta 24 h sin daños irreversibles en las branquias. La supervivencia obtenida durante la inmersión en *P. interruptus* en ambos tratamientos puede sugerir que esta especie posee la capacidad fisiológica para recuperarse del estrés ocasionado por la emersión. Aparentemente ésto no sucede en *P. inflatus* ya que la mortalidad se incrementó a 48 h de emersión y en ambos tratamientos durante la inmersión murió una langosta.

Los organismos intermareales presentan adaptaciones que les permiten moverse libremente dentro y fuera del agua por algunas horas. Sin embargo, existen especies que son sometidas a emersión de manera involuntaria durante su comercialización en vivo. Cuando la langosta *Hommarus americanus* se manipula a temperaturas bajas (5-10°C), la supervivencia se incrementa y ésta disminuye cuando es sometida a temperaturas altas (20-30°C) (McLeese, 1965). Similares respuestas reportan Huang & Chen (2001) en la langosta *Panulirus japonicus* donde a baja temperaturas (5 y 10°C) obtienen 100% de supervivencia a 24 h de emersión y ésta disminuye a 60% a 25°C. Durante el transporte en vivo de la jaiba *Callinectes sapidus* la supervivencia después de 24 h de emersión a 4°C es del 96% (DeFur *et al.*, 1988). Durand *et al.* (2000) indican que las hembras del cangrejo *Mai squinado* toleran mejor la emersión que los machos en términos de supervivencia pero señalan que aún después de que los niveles de los metabolitos en sangre previamente alterados regresan a los niveles pre-emersión durante la recuperación existe mortalidad. Esto puede estar asociado a daños irreversibles en alguno de los sistemas biológicos esenciales del animal y puede ser un factor importante en términos de los rendimientos obtenidos durante la comercialización en vivo ya que el proceso no solamente involucra su transporte si no su posterior exhibición en el punto de venta.

8.2 Cambios en los metabolitos de la hemolinfa durante la emersión

8.2.1 Proteínas

La concentración de proteínas no varió de manera significativa durante la emersión en la langosta roja y se mantiene en un nivel promedio de 103 mg/mL. En la langosta azul las proteínas aumentaron significativamente (22%) en relación al valor pre-emersión aunque se mantuvieron en promedio en 164 mg/mL durante la emersión. Huang & Chen (2001) reportan incrementos en la concentración de proteínas por efecto de la emersión que son dependientes de la temperatura de manera directa en la langosta *Panulirus japonicus*. Jussila *et al.* (2001) utilizando el tiempo de coagulación como indicador de estrés encuentra que la concentración de proteínas en la langosta *Panulirus cygnus* disminuye a mayor estrés mientras que el tiempo de coagulación aumenta. Recientemente Pascual *et al.* (2003) concluyen que los niveles de proteína en la hemolinfa de camarones son afectados por el estado nutricional y no por la manipulación.

El hecho de que las proteínas se incrementaran de manera significativa en la langosta azul por efecto de la emersión pudiera estar relacionado al estrés por pérdida de miembros que sufrieron este grupo de langostas (Anexo 1). En la lista se observa que un macho perdió los 10 pereiópodos (regenerados hasta la muda), otros 3 machos perdieron 5 pereiópodos y una hembra perdió 6 pereiópodos, las demás langostas presentaron pérdida de una o las dos antenas o de uno a tres pereiópodos. En general el grupo de 48 h de emersión se tuvo que trabajar con mayor cuidado ya que la pérdida de miembros podría darse justo al momento de tomar a la langosta para la muestra de hemolinfa. Hay que señalar que la langosta azul posee pereiópodos y antenas más largos y anchos que la langosta roja por lo que se dificulta su manejo y consecuentemente el estrés por manipuleo se puede incrementar. La pérdida de miembros va acompañada de una rápida coagulación y un incremento *in situ* de los hemocitos a diferencia de lo reportado por Jussila *et al.* (2001).

8.2.2 Lactato

En los crustáceos se ha reportado que el lactato es el principal producto final del metabolismo anaerobio (Bridges & Brand, 1979; Gade, 1983). La concentración de lactato en la hemolinfa de *P. interruptus* y de *P. inflatus* se incrementó de manera

significativa por efecto de la emersión aunque éste se mantiene en 0.26 mg/ml en langosta roja y en 0.34 mg/mL en langosta azul durante el tiempo de emersión. Esto contrasta con lo reportado para una serie de crustáceos por el efecto de emersión (Taylor & Whiteley, 1989; Spicer *et al.*, 1990; Scmitt & Uglow, 1997b; Huang & Chen, 2001) y coincide con lo reportado por Morris & Oliver (1999b) para la langosta *Jasus edwardsii* con shock térmico y para *P. interruptus* (Ortiz, 2003).

Vermeer (1987) reporta que después de dos horas de emersión, los niveles de lactato en la hemolinfa de la langosta *P. argus* aumentan mas de 11 veces y señala que el mayor cambio se presenta en los primeros 30 minutos de emersión y que a partir de los 90 minutos el lactato permanece casi sin cambio. Ortiz (1996) menciona que en *P. interruptus* la mayor acumulación de lactato se da en las primeras 24 horas. En la langosta *Nephrops norvegicus* durante las 12 primeras horas de emersión se incrementa significativamente el lactato y en las 12 horas siguientes permanece sin cambio significativo (Spicer *et al.*, 1990).

A la fecha existe gran controversia sobre el destino del lactato durante y después de estrés por hipoxia o por manipuleo. Head & Baldwin (1986) sugieren tres posibles destinos para el lactato:

- 1) su oxidación en el músculo
- 2) que sea removido del tejido muscular para oxidación en otro sitio
- 3) que sea excretado al medioambiente

Recientemente Jackson *et al.* (2001) sugieren el “secuestramiento” del lactato por el exosqueleto como lo reportan para *Austropotamobius pallipes*. Existen evidencias que el lactato producido en los tejidos puede ser llevado a la hemolinfa después de varias horas como en el caso del langostino *Machrobrachium rosenbergii* (Spotts, 1983).

En *P. interruptus* el lactato después de 24 h de emersión aumentó 2.3 veces y después de 48 h de emersión incrementó 1.8 veces con respecto al nivel de pre-emersión. Patiño (2002) reporta la concentración de lactato en *P. interruptus* durante normoxia (0.02 ± 0.10) e hipoxia progresiva (0.29 ± 0.08). En el presente trabajo, el lactato circulante en la hemolinfa de *P. interruptus* después de 1 hora de emersión (valor pre-emersión) es 5.2 veces el nivel durante normoxia y es aproximadamente el 42% del nivel registrado durante hipoxia progresiva. La concentración de lactato en *P. interruptus* después de ser

expuesto a 24 y 48 h de emersión aumenta en 13 ordenes de magnitud con respecto al nivel de normoxia. Esto coincide con lo reportado por Henry *et al.* (1994) que menciona que cuando los crustáceos están en descanso su concentración de lactato en hemolinfa es de 1 mmol/L y llega a aumentar hasta 24 veces en orden de magnitud cuando son ejercitados. Los niveles de lactato encontrados durante la emersión en ambas especies evidencian la incapacidad de las langostas para mantener un adecuado suplemento de oxígeno durante la emersión.

Paterson *et al.* (1999a) concluyen que la langosta *P. cygnus* durante simulaciones de transporte vivo con concentraciones de lactato por arriba de 14 mmol/L morían invariablemente, y que la mayoría de las sobrevivientes tenían concentraciones por debajo de los 4 mmol/L. En este trabajo no se encontraron niveles superiores a 4 mmol/L, lo que indica que ambas especies de langosta pueden tolerar periodos de emersión de por lo menos 48 h sin afectar de manera significativa su supervivencia.

Las concentraciones de lactato durante la emersión que presentaron las langostas *P. interruptus* y *P. inflatus* son menores a la mayoría de los valores reportados para diferentes especies de langostas y para algunos crustáceos bajo diversas condiciones experimentales (Anexo 2).

8.2.3 Glucosa

En crustáceos se ha demostrado que la glucosa varía en función de varios factores como el estrés, el manipuleo físico de los animales, el estadio de muda, la temperatura y el control hormonal (Chang & O'Connor, 1983). En *P. interruptus* la concentración de glucosa se incrementó de manera significativa durante la emersión. Este incremento fue aproximadamente del 85% a 24 y 48 h de emersión. La langosta roja en inanición y normoxia a 20°C tiene una concentración de glucosa de 0.12 mg/mL Patiño (2002). Si consideramos este nivel de glucosa como el basal en el presente trabajo la glucosa de *P. interruptus* aumentó al doble durante la pre-emersión y a más del triple durante los dos tiempos de emersión. En contraste, en *P. inflatus* si hubo un efecto significativo en la concentración de glucosa a los diferentes tiempos de emersión siendo más alta a 48 h de emersión. Diversos autores han asociado esta hiperglicemia a una condición de estrés por

manipuleo, por emersión o por hipoxia ambiental en una serie de crustáceos (Paterson *et al.*, 1997; Paterson & Spanoghe, 1997; Schmitt & Uglow, 1997b; Morris & Oliver, 1999; Durand *et al.*, 2000; Bergmann *et al.*, 2001; Racotta *et al.*, 2002; Ortiz, 2003). Durand *et al.* (2000) señalan que la hiperglicemia que se presenta en el cangrejo *Maia squinado* no es afectada por el sexo, la condición previa a la emersión, o la duración del periodo de emersión. Taylor & Spicer (1987) indican que algunas especies de camarones pueden detectar condiciones de hipoxia y movilizar la glucosa antes de que las rutas anaerobias operen y sugieren que este mecanismo es una estrategia para prepararse a las condiciones de anoxia.

Los resultados de glucosa encontrados en *P. interruptus* concuerdan con los resultados reportados por Ortiz (2003), además plantea que la hiperglicemia registrada en hemolinfa de *P. interruptus* puede ser disminuía con un tratamiento postcaptura de shock térmico. Por tal motivo la hiperglicemia registrada en *P. interruptus* puede estar asociada a un factor estresante (emersión) mas que una estrategia metabólica como la propuesta por Taylor & Spicer (1987). Otros autores (Webster, 1996; Racotta & Palacios, 1998; Hall & Van Ham, 1998; Durand *et al.*, 2000; Ortiz, 2003) sugieren su uso como buen indicador de estrés. En este trabajo se considera que la glucosa es un buen indicador de estrés asociado a la emersión.

Meennakshi & Scheer (1961) en su estudio del metabolismo de glucosa en cangrejos sugieren 3 tipos de reacciones para la G6P:

- 1) el glucógeno puede ser sintetizado por la G6P y almacenado en músculo y hepatopáncreas
- 2) la G6P continua la glicólisis hacia piruvato y posterior generación de ATP
- 3) que la G6P sea convertida a un mucopolisacárido ácido en cutícula y/o hepatopáncreas

Los estudios futuros deberán incorporar glucosa radioactiva para poder establecer con precisión la ruta de la glucosa durante estrés por emersión en langostas.

8.2.4 Amonio

Las langostas son animales amoniotélicos y liberan el amonio por simple difusión. El amonio se encuentra disuelto en la hemolinfa en solución como NH_3 y NH_4^+ , la

proporción de éstos depende del pH y de la temperatura (Wright, 1993). Las branquias son el principal sitio de excreción de amonio aunque en la glándula antenal también se puede tener en menor proporción excreción (Evans & Cameeron, 1986). En crustáceos submareales que son comercializados vivos el aumento en la concentración de amonio en la hemolinfa está directamente relacionada con el periodo de emersión. Este incremento se debe principalmente a la limitación en la excreción de amonio que sufren las branquias cuando son expuestas al aire (DeFur *et al.*, 1988).

En el presente trabajo se encontró un efecto directo en la concentración del amonio total en la hemolinfa durante emersión en las dos especies de langosta y diferencias significativas con relación a los niveles de pre-emersión. La langosta azul acumula menor cantidad de amonio en la hemolinfa durante 24 h de emersión, pero en ambas especies el incremento en el amonio total a 48 h de emersión es superior al triple.

Regnault (1992) y Durand & Regnault (1998) sugieren que el animal es capaz de reducir las tasas del metabolismo de nitrógeno, almacenar, excretar o convertir el amonio a otras sustancias menos tóxicas durante condiciones de estrés por emersión. Las posibles rutas de desintoxicación y almacenaje de amonio que sugieren incluyen:

- 1) depresión de la tasa metabólica y por ende menor tasa de producción de amonio
- 2) almacenaje de amonio como NH_4^+ en la orina y rápida liberación durante re-inmersión
- 3) almacenaje de amonio en el agua branquial
- 4) excreción de amonio como NH_3 produciendo “burbujas”, “espuma” en la región de la boca
- 5) cambio en las rutas bioquímicas del metabolismo de nitrógeno y por ende acumulación de otros productos nitrogenados (urea, trimetilamina, glutamina, aminoácidos)
- 6) almacenaje de amonio en las membranas branquiales, intestino, y caparazón

Recientemente Weibrauch *et al.* (2002) sugieren un modelo hipotético de movimiento trans-epitelial del amonio que incluye transporte activo en la membrana basolateral, secuestro en vesículas acidificadas, transporte de las vesículas via microtúbulos y exocitosis en la membrana apical (Anexo 3).

Ortiz (2003) concluye que el amonio en la hemolinfa de *P. interruptus* puede ser utilizado como un indicador asociado a estrés por emersión ya que está relacionado con la incapacidad que tiene la langosta para excretarlo durante la emersión y no está afectado por el sexo o el tratamiento post-captura que se le dé a la langosta. Los resultados de este trabajo coinciden con lo reportado por Ortiz (2003).

El amonio acumulado como % de lo esperado en ambas especies fue cercano al 20% lo que indica que tanto *P. interruptus* como *P. inflatus* poseen mecanismos de desintoxicación y probable almacenaje de amonio como lo sugieren estos autores. Ortiz (2003), reporta que no existe un efecto significativo por el sexo o por un tratamiento post-captura de shock térmico en la concentración de amonio en hemolinfa de *P. interruptus* expuesta a 24 y 48 h de emersión y reporta niveles de trimetilamina entre 0.016 a 0.023 $\mu\text{mol/l}$ a 24 y 48 h de emersión que no son afectados por el tiempo de emersión, sexo, o tratamiento post-captura. En el presente trabajo no se determinó la tasa de excreción de amonio durante emersión, ni la cantidad de agua branquial y su contenido en amonio, ni se valoró la formación de otros compuestos nitrogenados. Sin embargo no se observa una disminución en la acumulación amonio a lo largo de los periodos de emersión lo que indica que probablemente no se formen otros compuestos nitrogenados como estrategia de desintoxicación por amonio, como puede ser urea, urato o ácido úrico. Éste último proviene de la reacción catalizada por la enzima xantina oxidasa que no se encuentra presente en la hemolinfa de *P. interruptus* (Ortiz, 2002). Por otro lado se tiene evidencia de “espumeo” en la parte de la boca y durante las 2 primeras horas de emersión se escuchó eliminación de líquido (Anexo 4, ver datos de humedad relativa Figuras 5, 6, 11 y 12). Al analizar dicha espuma se encontraron niveles elevados de amonio ($> 1 \text{ mmol/L}$). Los valores de amonio encontrados en ambas especies son similares a los reportados (0.11-1.16 mmol/L) por otros autores para una serie de crustáceos decápodos sometidos a emersión (Schmitt & Uglow, 1997b; Chen & Chen, 1998; Durand & Regnault, 1998; Durand *et al.*, 2000; Ramírez, 2002; Ortiz, 2003; Anexo 5).

8.3 Cambios en los metabolitos de la hemolinfa durante la inmersión

Durante la inmersión la concentración de glucosa y de lactato disminuye de manera significativa después de la primera hora de inmersión en ambas especies de langosta. Esto

coincide con lo reportado para algunas especies de crustáceos expuestas a diferentes periodos de emersión (Schmitt & Uglow, 1997a; Taylor & Waldron, 1997; Durand & Regnault, 1998; Durand *et al.*, 2000; Bergman, *et al.*, 2001; Huang & Chen, 2001). La concentración de glucosa en la hemolinfa del cangrejo *M. squinado* expuesto a 12, 18 y 36 h de emersión regresa a sus valores pre-emersión después de 24 h de inmersión, mientras que en el cangrejo *Licocarcinus depurator* los niveles se reestablecen a las 4 h de inmersión (Bergmann *et al.* 2001). Crear & Fortheath (2001) reportan que el tiempo de recuperación es mayor a altas temperaturas en la langosta *P. cygnus* a la que le toma de 5 a 8 h recuperarse del estrés por emersión. Crear & Fortheath (2001) sugieren un periodo de recuperación de por lo menos 8 h cuando la langosta es expuesta a cualquier agente estresor (manejo, emersión) en agua cuya concentración de oxígeno sea superior al 70% saturación. Crear & Fortheath (2001) reportan que el consumo de oxígeno durante la re-inmersión puede incrementarse un 250% con respecto a los valores pre-emersión y que el tiempo de recuperación disminuye cuando la concentración de oxígeno es inferior al 50% de la saturación del agua.

Se ha demostrado que una serie de crustáceos excretan grandes cantidades de amonio en el agua durante la re-inmersión y que la tasa metabólica del nitrógeno disminuye durante la emersión (Danford *et al.*, 2002). En una situación de estrés por emersión el animal puede almacenar, excretar o convertir el amonio a sustancias menos tóxicas. Durand *et al.* (2000) reportan mortalidades inexplicables en el cangrejo *M. squinado* después de 24 h de re-inmersión cuando el exceso de amonio acumulado y los metabolitos de la sangre regresaron a los niveles previos a la emersión. Los mecanismos adaptativos y estrategias metabólicas que pueden operar durante una condición estresante como la emersión permanecen aún oscuros por lo que se requiere mayor investigación para poder entender a mayor detalle el desempeño fisiológico de las langostas roja y azul.

9. Conclusiones

La supervivencia de las langostas *Panulirus interruptus* y *Panulirus inflatus* a 24 h de emersión fue del 100% y ésta disminuyó a 93% y 86% respectivamente a 48 h de emersión. Durante la recuperación solamente se registró mortalidad en la langosta azul.

Durante la emersión los niveles de glucosa, lactato y amonio en la hemolinfa de las langostas *Panulirus interruptus* y *Panulirus inflatus* se incrementan de manera significativa en relación con los valores de referencia (pre-emersión, langostas recién desembarcadas).

En la langosta roja no hubo efecto significativo por el tiempo de emersión en la concentración de proteínas, glucosa y lactato mientras que en la langosta azul no hubo efecto significativo por el tiempo de emersión en la concentración de proteínas y lactato. En langosta azul las proteínas se incrementan significativamente en relación a los valores pre-emersión.

En ambas especies hubo un incremento significativo en la concentración de amonio a los diferentes tiempos de emersión siendo máximo a 48 h de emersión.

En langosta azul la glucosa se incrementó de manera significativa a los diferentes tiempos de emersión siendo mayor a 48 h de emersión.

En *P. interruptus* el amonio se acumuló en hemolinfa entre 64 y 105 μmol a 24 y 48 h de emersión. En *P. inflatus* el amonio se acumuló entre 27 y 78 μmol a 24 y 48 h de emersión.

Durante la recuperación la glucosa y el lactato permanecen elevados durante la primera h de inmersión y disminuyen significativamente a las 24 h de inmersión en ambas especies.

En la langosta roja el amonio disminuye significativamente a las 24 h de inmersión pero en langosta azul se mantiene en 64 $\mu\text{mol/L}$ durante los 6 días de recuperación.

La concentración de lactato, glucosa y amonio en la hemolinfa son buenos indicadores del estrés \asociados a emersión en las langostas *P. interruptus* y *P. inflatus*.

Panulirus interruptus y *Panulirus inflatus* tienen la capacidad de soportar periodos de 24 h de emersión sin afectar su supervivencia y poseen mecanismos adaptativos y capacidades fisiológicas que les permiten soportar largos periodos de emersión.

10. Recomendaciones

Se recomienda en un futuro investigar el tiempo máximo de transporte en vivo que permita una supervivencia adecuada desde el punto de vista económico.

Se recomienda estudios que incorporen a mayor detalle el metabolismo energético y del nitrógeno durante emersión y posterior recuperación.

Se recomienda investigar tratamientos post captura y tipos de empaques que permitan incrementar los tiempos de traslado y la supervivencia de ambas especies

Se recomienda investigar la calidad de agua durante la recuperación y el efecto debido a la pérdida de miembros durante el manejo previo al transporte

Se recomienda el uso de glucosa, lactato y amonio como buenos indicadores de estrés asociados a la emersión.

11. Bibliografía

- Airries, C & BR McMahon 1996. Short-term emersion affects cardiac function and regional haemolymph distribution in the crab *Cancer magister* *Journal of Experimental Biology* **199**: 569-578.
- Anónimo, 1995. Guía FAO para la identificación de las especies para los fines de la pesca, “Pacífico Centro-Oriental”. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) (Ed.) Roma, Italia, Vol 1. 402-407 pp.
- Anónimo, 1998. Anuario Estadístico de Pesca 1997. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (Ed.), B.C., México. 239 p.
- Anónimo, 2001. Anuario Estadístico de Pesca 2001. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (CONAPESCA) (Ed.), B.C., México. 256 p.
- Anónimo, 2002. Anuario Estadístico de Pesca 2002. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (CONAPESCA) (Ed.), B.C., México. 205 p.
- Ayala, MY & H Chávez. 1985. Nota sobre la colecta de larvas y juveniles de langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall) en la Costa Occidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas, Méx.* **11(2)**: 93-100.
- Bergmann, M; AC Taylor & PG Moore. 2001. Physiological stress in decapods crustaceans *Munida rugosa* and *Liocarcinus depurator*) discarded in the Clyde *Nephrops* fishery. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **193**: 21-39.
- Bradford, MM. 1976. A refined method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* **72**: 248-253 pp.
- Bridges, CR & AR Brand. 1979. The effect of hypoxia on oxygen consumption and blood lactate level of some marine crustacea *Comp. Biochem. Physiol.* **65A**: 399-409.
- Briones-Fourzan, P & E Lozano-Álvarez. 2000. The Spiny lobster fisheries in México. En: Spiny Lobsters Fisheries and culture. (ed. Phillips BF & J Kittaka). Fishing News Books. Gran Bretaña. 677 p.
- Castañeda, V. 2005. Caracterización del hábitat de juveniles de la langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1839) en dos sitios ubicados en su zona de mayor abundancia en Baja California Sur, México. Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S. México. 435p.
- Chang, ES & JD Oconnor. 1983. Metabolism and transport of carbohydrate and lipids. In: DE Bliss (Ed) *Biology of Crustacea*. Vol. 5. Academic Press, New York, 263-266p.
- Chen, JC & JS Chen. 1998. Acid-base balance, ammonia and lactate levels in the haemolymph of *Penaeus japonicus* during aerial exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology*. **121**: 257-262.

- Crear BJ & NR Fortheath, 2001. Flow-rate requirements for captive western rock lobsters (*Panulirus cygnus*): effects of body weight, temperature, activity, emersion, daily rhythm, feeding and oxygen tension on oxygen consumption. *Mar. Freshwater Res.* 52: 763-771
- Díaz-Arredondo, MA & SA Guzmán del Proo. 1995. Hábitos alimenticios de la langosta roja (*Panulirus interruptus* Randall, 1840) en Bahía Tortugas Baja California Sur. *Ciencias Marinas*. 21(4): 439-462
- Danford, AR; Lagerman & RF Uglow. 2002. Effects of emersion and elevated haemolymph ammonia on haemocyanin-oxygen affinity of *Cancer pagurus*. *Marine Biology*. 14:1019-1027.
- DeFur, PL; A Pease; A Siebelink & Elfres. 1988. Respiratory responses of blue crabs, *Callinectes sapidus*, to emersion. *Comp. Biochem. Physiol.* 89A (1): 97-101.
- Durand, F & M Regnault. 1998. Nitrogen metabolism of two portunids crabs, *Carcinus maenas* and *Necora puber*, during prolonged air exposure and subsequent recovery: a comparative study. *Journal of Experimental Biology* 201: 2515-2528.
- Durand, F; N Devillers; FH Lallier & M Regnault. 2000. Nitrogen excretion and changes in blood components during emersion of the subtidal spider crab *Maia squinado* (L). *Comparative Biochemistry and Physiology*. 127: 259-271
- Evans DH & JN Cameron. 1986. Gill ammonia transport. *J. Exp. Zool.* 234: 17-23.
- Furusho, S; Y Umezaki; K Isida & A Honda. 1988. Changes in the concentration of ATP- related compounds and lactic acid in muscle of live prawn *Penaeus japonicus* during storage in sawdust. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 54 (7): 1209-1212.
- Gade, G. 1983. Energy metabolism of arthropods and mollusks during environmental and functional anaerobiosis. *The Journal of Experimental Zoology*. 228: 415-429.
- Glenn, L & C McDonald. 1983. Molt stage determination in the Hawaiian spiny lobster *Panulirus marginatus*. *Journal of Crustacean Biology*. 3(2): 208-216.
- González, JG & AL Lelevier. 1990. Análisis de 10 temporadas de pesca de langosta roja *Panulirus interruptus* en Baja California. Instituto Nacional de la Pesca, CRIP Ensenada, B.C. 97-106.
- Gracia, A. 1979. Fecundidad en la langosta *Panulirus inflatus* (Bouvier 1895) (CRUSTACEA: DECAPODA: PALINURIDAE). Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 56p.
- Grecia, A & CB Kensler. 1980. Las langostas de México: su biología y pesquería. Centro de Ciencias del mar y Limnología. *Universidad Nacional Autónoma de México*. 7 (2): 111-128.
- Guzmán, S. 1992. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos Bentónicos de Baja California. SEPESCA-Instituto Politécnico Nacional (Ed.), México, D.F. 202-220.
- Guzmán, SA & J Pineda. 1990. Análisis poblacional de la pesquería de langosta roja (*Panulirus interruptus*) de 1971-1975 en la Bocana-Abrejos, B.C.S, México In: Guzmán del Próo SA

- ed. Memorias del Taller México-Australia sobre Reclutamiento de Recursos Bentónicos de Baja California, México, SEPESCA-IPN. 167-177.
- Hagerman, H & RF Uglow. 1986. Effects of hipoxia on the respiratory and circulatory regulation of *Nephrops norvegicus*. *Marine Biology*. **87**: 273-278.
- Hall, MR & EH Van Ham. 1998. The effects of different types of stress on blood glucose in the giant tiger prawn *Penaeus monodon*. *Journal of Acuaculture of the World Society*. **29** (3): 290-299.
- Head, G & J Baldwin. 1986. Energy metabolism and fate of lactate during recovery from exercise in the Australian freshwater clayfish *Cherax destructor*. *Aust. J. Fresh. Mar. Res.* **37** (5): 641-646.
- Hernandez-Lopez, J; T Gollas-Galvan; S Gomez-Jimenez; G Portillo-Clark & F Vargas-Albores. 2003. In the spiny lobster (*Panulirus interruptus*) the prophenoloxidase is located in plasma not in haemocytes. *Fish and Shellfish immunology*. **14**: 105-114.
- Henry, RP; CE Booth; FH Lallier & PJ Walsh. 1994. Post-exercise lactate production and metabolism in three species of aquatic and terrestrial decapod crustaceans. *Journal of Experimental Biology*. **186**: 215-234.
- Huang, CY & JC Chen. 2001. Effects of emersion on the haemolymph metabolites of the Japanese lobster, *Panulirus japonicus* (Decapoda: Palinuridea). *Crustaceana*. **74** (10): 1041-1058.
- Hunter, DA & RF Uglow. 1993. A technique for the measurement of total ammonia in small volumes of seawater and hemolymph. *Ophelia*. **37** (1): 31-40.
- Jackson, DC; T Wang; P Koldkjaer & EW Taylor. 2001. Lactate sequestration in the caparace of the crayfish *Austropotamobius pallipes* during exposure in air. *Journal of Experimental Biology*. **204**: 941-946.
- Johnson, I & RF Uglow. 1985. Some effects of aerial exposure on the respiratory physiology and blood chemistry of *Carcinus maenas* and *Liocarcinus pube*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **94**: 151-165.
- Jussila, J; J Jago; E Tsvetnenko; B Dunstan & LH Evans. 1997. Total and differential Haemocyte counts in western rock lobsters (*Panulirus Cygnus* George) under post-harvest stress. *Marine and Freshwater research*. **48**: 863-867.
- Jussila, J, S Mc Bride, J Jago & LH Evans. 2001. Hemolymph clotting time as an indicator of stress in western rock lobster (*Panulirus Cygnus* George). *Aquaculture*. **199**: 185-193.
- Kuramoto, T. 1994. Spiking induced by cooling in the myocardium of the lobster *Panulirus japonicus*. *Journal of Experimental Biology*. **197**: 413-419.
- Laxminarayana, A & MN Kutty. 1982. Oxygen consumption, ammonia excretion and random activity in *Panaeus semisulcatus*, *Macrobrachium malcolmsonni* and *Paratelphusa hidrodromus* with reference to ambient oxygen. *On Coastal Aquaculture*. **12**: 12-18.

- Lignot, JH; C Spanings-Pierrot & G Charmantier. 2000. Osmoregulatory capacity as a tool in monitoring the physiological condition and the effect of stress in crustaceans. *Aquaculture*. **191**: 209-245.
- Luquet, CM; CO Cervino; M Ansaldo & VC Pereyra. 1998. Physiological response to emersion in the amphibious crab *Chasmagnathus granulata* Dana (Decapoda Grapsidae): Biochemical and ventilatory adaptations. *Comparative Biochemistry Physiology*. **121**: 385-393.
- McLeese, DW. 1965. Survival of lobster, *Hommarus americanus*, out of water. *Fish. Res. Bd. Canada*. **22** (2): 385-394.
- Meennakshi, VR & BT Scheer. 1961. Metabolism of glucose in the crabs *Cancer magister* and *Hemigrapsus nudus*. *Comp. Biochem. Physiol.* **3**: 30-41.
- Morris, S. 2001. Neuroendocrine regulation of osmoregulation and the evolution of air-breathing in decapod crustaceans. *Journal of Experimental Biology*. **204**: 979-989.
- Morris, S & 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*. **122**: 309-321.
- Morris, S & S Oliver. 1999. Circulatory, respiratory and metabolic response to emersion and low temperature of *Jasus edwardsii*. Simulation studies of commercial shipping methods. *Comparative Biochemistry and Physiology*. **122**: 299-308.
- Muñoz-Gracia, IR; R Pérez-González; LM Flores-Campaña & MI Borrego. 2003. Distribución y abundancia de filosomas de *Panulirus* (Decapoda: Palinuridae) en el sureste del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*. **48**: 159-167.
- Nielsen, A & L Hagerman. 1998. Effect of short-term hypoxia on metabolism and haemocyanin oxygen transport in the prawns *Palaemon adspersus* and *Palaemonetes varians*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **167** (0): 177-183.
- Ocampo, L; D Patiño-Gutierrez & C Ramirez-Aburto. 2003. Effect of temperature on hemolymph lactate and glucose concentrations in spiny lobster *Panulirus interruptus* during progressive hypoxia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **296**: 71-77.
- Ortiz, D. 1996. Adaptaciones fisiológicas de la langosta roja *Panulirus interruptus* para sobrevivir fuera del agua en relación con el tiempo y temperatura de exposición aérea. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Méx. 51 p.
- Ortiz, R. 2003. Tratamiento y postcaptura y desempeño de la langosta roja *Panulirus interruptus* durante emersión. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, México, 68 p.
- Ortiz, R. 2002. Efecto del tiempo de emersión y de la temperatura de aclimatación en las adaptaciones fisiológicas del sistema inmune de *Panulirus interruptus*: Simulación de condiciones de transporte vivo. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de B.C.S. (UABCS), La Paz, México. 62 p.

- Pascual, C; G Gaxiola & C Rosas. 2003. Blood metabolites and Hemocyanin of the white shrimp *Litopenaeus vanammei*. The effect of culture conditions and a comparison with other crustacean species. *Marine Biology*. **142**: 735-745.
- Paterson, BD; GW Davidson & PT Spanoghe. 1999. Identifying stress when western rock lobsters are stored out of water: The average an individual blood lactate concentration. Proc. International Symposium on lobster health management, Adelaide Curtin University. 35-41 pp.
- Paterson, BD; SG Grauf & RA Smith. 1997. Haemolymph chemistry of tropical rock lobsters (*Panulirus ornatus*) brought onto a mother ship from a catching dinghy in Torres Strait. *Marine and Freshwater research*. **48**: 835-838.
- Paterson, BD & PT Spanoghe. 1997. Stress indicators in marine decapod crustaceans, with particular reference to the grading of western rock lobsters (*Panulirus Cygnus*) during commercial handling. *Marine and freshwater research*. **48**: 829-834.
- Patino, DG. 2002. Desempeño de la langosta roja, *Panulirus interruptus* Randall, 1840, durante hipoxia progresiva. Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. 33 p.
- Pérez-Enríquez, R; A Vega; S Ávila & JL Sandoval. 2001. Population genetics of red spiny lobster (*Panulirus interruptus*) along the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine and Freshwater Research*. **52**: 1541-1549.
- Pérez-González, R; I Muñoz; LM Valadez & MI Borrego. 2002. The current status of the fishery for spiny lobsters *Panulirus inflatus* and *P. gracilis* (Decapoda: Palinuridae) along the Mexican Pacific coast. *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans*. **1**: 327-347.
- Pérez-González, R; LM Flores-Campaña; A Nuñez-Pasten & AA Ortega-Salas. 1992. Algunos aspectos de la reproducción en *Panulirus inflatus* (Bouvier) y *P. gracilis* Streets (Decapoda: Palinuridae) en el sureste del Golfo de California, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. **7(1)**: 25-33.
- Phillips, FB; SJ Cobb & J Kittaka. 1994. Spiny Lobster Management. Fishing New Books (Ed.), Gran Bretaña. 514-535 pp.
- Phillips, FB & J Kittaka. 2000. Spiny Lobster Management. Fishing New Books (Ed.), Gran Bretaña. 250- 271 pp
- Pineda, J; CA Díaz de León & OF Uribe. 1989.Extracto de: fecundidad en la langosta roja (*Panulirus interruptus* Randall) en Baja California. In: *Mem. Simp. Recursos Pesqueros Masivos de México*. Vol. Especial Abulón/Langosta II.Subsec. de Pesca, Inst. Nal. De Pesca, Sept 29-30. 135-137.
- Racotta IS & R Hernández-Herrera. 2000. Metabolic responses of the white shrimp, *Panaeus vannamei*, to ambient ammonia. *Comparative Biochemistry and Physiology*. **A 125**: 437-443.
- Racotta, IS; E Palacios & L. Méndez. 2002. Metabolic response to short and long term exposure to hypoxia in white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Marine and Freshwater Behavior and Physiology*. **35(4)**: 269-275.

- Racotta, IS & E. Palacios. 1998. Hemolymph metabolic variables in response to experimental manipulation stress and serotonin injection in *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*. **29** (3): 351-356.
- Ramírez, MC. 2002. Metabolismo respiratorio y excreción de amonio de la langosta *Panulirus interruptus* Randall, 1840. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana. 32 p.
- Regnault, M. 1992. Effect of air exposure on nitrogen metabolism in the crab *Cancer pagurus*. *J. Exp. Zool.* **264**: 372-380.
- Regnault, M. 1987. Nitrogen excretion in marine and freshwater crustacea. *Biological Review*. **62**: 1-24.
- Samet, M; K Nakamura & T Nagayama. 1996. Tolerance and respiration of the prawn (*Penaeus japonicus*) under cold air conditions. *Aquaculture*. **143**: 205-214.
- Schmitt, ASC & AE Santos. 1993. Behavior and haemolymphatic ionic composition of the intertidal crab *Chasmagnathus granulata* Dana, 1851 (Crustacea Decapoda) during emersion. *Comparative Biochemistry and Physiology* **106A**(2): 337-342.
- Schmitt, ASC & RF Uglow. 1997a. Effects of ambient ammonia levels on blood ammonia, ammonia excretion and heart and scaphognatite rates of *Nephrops norvegicus*. *Marine Biology*. **127**: 411-418.
- Schmitt, ASC & RF Uglow. 1997b. Haemolymph constituent levels and ammonia efflux rates of *Nephrops norvegicus* during emersion. *Marine Biology*. **127**: 403-410.
- Sifuentes, I. 2002. Morfología de branquias y hepatopaneas de la langosta roja *Panulirus interruptus* expuesta a emersión. Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México, 44 p.
- Singholka, S. 1982. Simple cool truck for aquaculture transport. In: M. B. New (Ed.), Giant prawn farming, developments in aquaculture and fisheries sciences. Vol. 10. 35-39 pp.
- Soto, SA & MT Viana. 2003. Efecto del carragenano sulfatado en la respuesta celular de la langosta *Panulirus interruptus*. *Ciencias Marinas*. **29**(2): 155-168.
- Spaargaren, DH. 1972. Determination of the extracellular volume of the shrimp *Crangon crangon* (L). *Comp. Biochem. Physiol.* **53A**: 843-848.
- Spanoghe, PT. 1996. An investigation of the physiological and biochemical responses elicited by *Panulirus cygnus* to harvesting, holding and live transport. Ph d Thesis. Curtin University. Australia. 378 p.
- Spicer, JI; AD Hill; AC Taylor & RHC Strang. 1990. Effect of aerial exposure on concentrations of selected metabolites in blood of the Norwegian lobster *Nephrops norvegicus* (Crustacea: Nephropidae). *Marine Biology*. **105**: 129-135.
- Spotts, D. 1983. Intensive shrimp culture in japan. *Sea fronties*. **29**(5): 272-277.

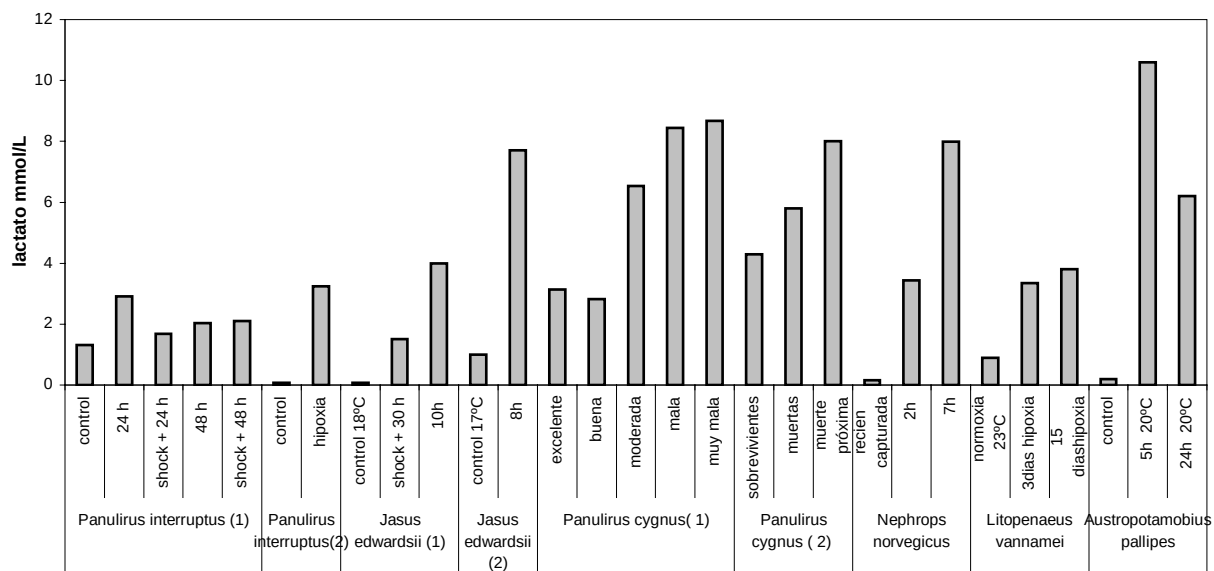
- Stillman, JH & GN Somero. 1996. Adaptation to temperature stress and aerial exposure in congeneric species of intertidal porcelain crabs (genus *Petrolisthes*): correlation of physiology, biochemistry and morphology with vertical distribution. *Journal of Experimental Biology*. **199**: 1845-1855.
- Tapia-Vázquez, OM & JJ Castro-González. 2000. Fecundidad y anatomía microscópica del ovario de la langosta roja *Panulirus interruptus* de Punta Eugenia, Baja California Sur, México. *Ciencia Pesquera* 14: 63-66.
- Taylor, AC & JI Spicer. 1987. Metabolic responses of the prawns *Palaemon elegans* and *P. serratus* (Crustacea: Decapoda) to acute hypoxia and anoxia. *Mar. Biol.* **95**: 521-530.
- Taylor, HH & FM Waldron. 1997. Respiratory responses to air-exposure in the southern rock lobster *Jasus edwardsii* (Hutton) (Decapoda: Palinuridae). *Marine and Freshwater Research*. **48**: 889-897.
- Taylor, EW & NM Whitely. 1989. Oxygen transport and acid-base balance in the haemolymph of the lobster, *Homarus gammarus* during aerial exposure and re- submersion. *J. Exp. Biol.* **144**: 417-436.
- Vargas-Romero, GM. 1999. Estudio comparativo de fecundidad de la langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) entre zonas oceánicas y costeras de la plataforma centro occidental de Baja California Sur durante 1992. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), La Paz, México. 47-67 pp.
- Vega, AV; GC Espinosa & CR Gómez. 1996. Pesquería de langosta *Panulirus* spp. En: Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, Casas, MV & GD Ponce, SEMARNAP, UABCS, Gobierno del estado de B.C.S., Instituto Nacional de Pesca, FAO, CIBNOR, CICIMAR (Ed.), B.C.S., México, 227-261 pp.
- Vermeer, GK. 1987. Effects of air exposure on desiccation rate, emolymph chemistry and escape behavior of the spiny lobster *Panulirus argus*. *Fishery bulletin*. **85**: 45-51 pp.
- Weinborn, JA. 1977. Estudio preliminar de la biología, ecología y semicultivo de los Palinúridos de Zihuatanejo, Gro., México. *Panulirus gracilis* Streets y *Panulirus inflatus* (Bouvier). An Centro Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. **4(1)**: 27-78.
- Weibrauch, A; R Behnke & L Turner. 2002. Epithelial glucose transport by lobster antennal gland. *The Journal of Experimental Biology*. **201**: 3385-3393.
- Webster, SG. 1996. Measurement of crustacean hyperglycaemic hormone levels in the edible crab *Cancer pagurus* during emersion stress. *Journal of Experimental Biology*. **199**: 1579-1585.
- Wilson, JA. 1989. Fundamentos de fisiología animal. Noriega (Ed.), México. 440-456 pp.
- Winget, RR. 1969. Oxygen consumption and respiratory energetics in the spiny lobster, *Panulirus interruptus* (Randall). *Biol. Bull.* **136**: 301-312.

Wright, PA. 1993. Nitrogen excretion: Three end products, many physiological roles. *Journal of Experimental Biology*. **198**: 273-281.

Anexo 1

Características de la langosta <i>Panulirus inflatus</i> después de ser sometida a 24 y 48 h de emersión										
Tratamiento		24 horas de emersión				48 horas de emersión				
Tiempo de		Pérdida de miembros				Pérdida de miembros				
Inmersión (h)	Peso	Sexo	Pleopódo	Antena	1/2 Antena	Peso	Sexo	Pleopódo	Antena	1/2 Antena
0	682	M	0	0	0	520	M	3	0	0
0	770	H	0	0	0	565	H	0	0	0
0	542	M	5	1	0	493	M	0	0	0
0	523	M	10	0	0	649	M	1	0	0
0	536	H	1	0	2	616	M	0	0	1
0	549	M	0	1	0	715	M	0	0	0
0	524	H	0	0	0	611	H	6	0	2
0	763	H	0	0	2	506	M	2	0	1
0	655	M	2	1	0	503	M	0	0	0
0	520	H	0	0	1	873	M	0	0	1
0	476	H	1	0	1	702	H	0	0	0
0	496	H	1	0	0	529	M	0	0	0
1	526	H	0	0	2	883	M	0	0	0
1	515	H	0	0	2	572	M	0	0	0
1	496	H	1	0	0	606	M	0	0	0
1	509	H	0	0	1	617	H	2	0	2
1	626	M	5	0	0	657	H	0	0	2
1	632	H	2	0	0	498	M	0	0	2
48	503	H	1	0	2	520	M	0	0	0
48	501	H	0	1	0	467	M	0	0	2
48	533	H	0	0	1	584	M	0	0	2
48	506	H	0	0	2	556	H	0	0	0
48	503	H	1	0	1	518	M	1	0	2
48	897	M	0	0	2	484	H	3	0	2
96	517	H	0	0	2	618	H	3	0	0
96	634	H	2	0	1	593	M	1	1	0
96	623	M	5	0	0	562	M	0	0	1
96	533	H	0	0	2	662	H	0	0	2
96	507	H	0	0	1	486	M	0	0	2
96	502	H	3	0	2	846	M	0	0	0
144	894	M	0	0	1	468	M	0	0	2
144	501	H	0	0	2	581	H	1	0	2
144	500	H	0	0	1	585	M	1	0	2
144	495	H	0	0	0	480	H	3	0	0
144	531	H	0	0	2	511	M	1	0	2
144	500	H	0	0	1	517	M	0	0	0

Anexo 2



Concentración de lactato (mmol/L) en hemolinfa de decápodos sometidos a diferentes tratamientos. Especificando especie, emersión (h) y/o temperatura (°C). *Panulirus interruptus* (1)(Ortiz, 2003); *Panulirus interruptus* (2) (Ocampo et al., 2003); *Jasus edwardsii* (1) (Morris y Oliver, 1999a); *Jasus edwardsii* (2) (Taylor y Waldron, 1997); *anulirus cygnus* (1) (Spanoghe y Bourne, 1999); *Panulirus cygnus* (2) (Paterson et al., 1999a); *Nephrops norvegicus* (Schmitt y Uglow, 1997b); *Litopenaeus vannamei* (Racotta et al., 2002); *Austropotamobius pallipes* (Jackson et al., 2001). Anexo tomado de Ortiz, (2003).

Anexo 3

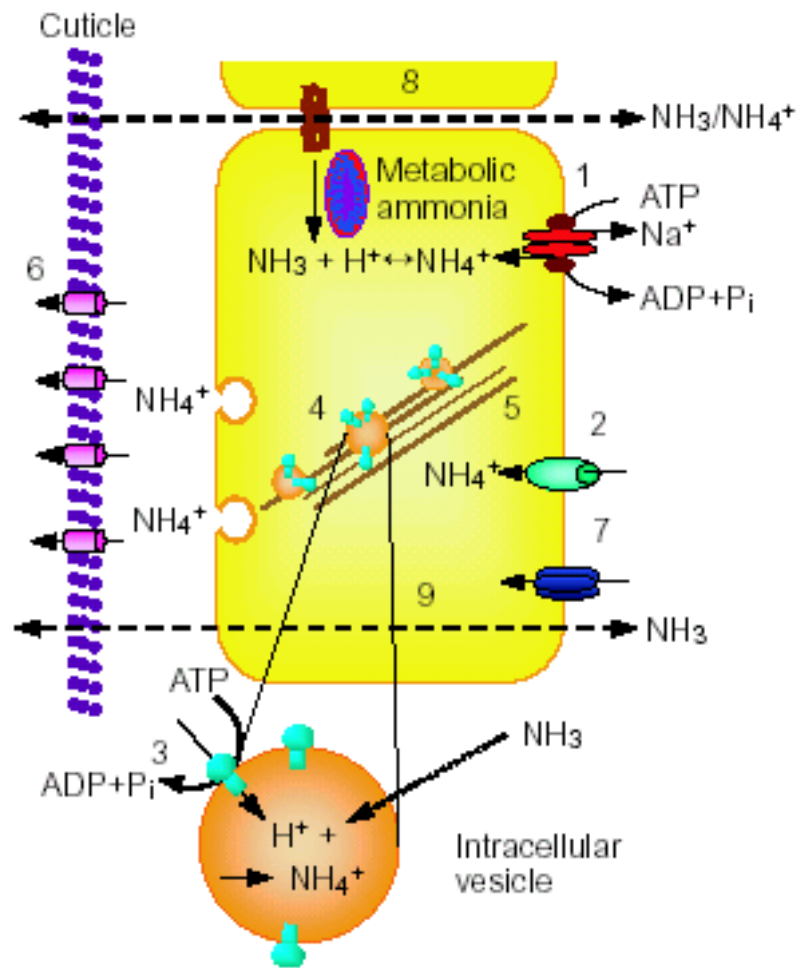


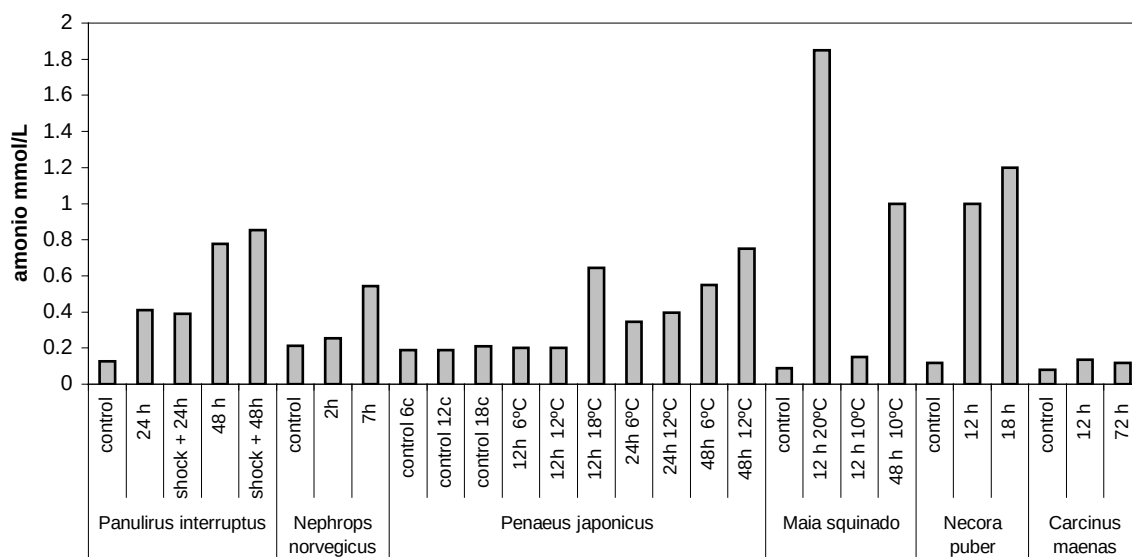
Fig. 8 Modelo hipotético de excreción activa de amonio en las branquias del cangrejo *Carcinus maenas*.

Anexo 4



Hembra de langosta roja *Panulirus interruptus* sacando espuma después de ser sometida a 24 horas de emersión.

Anexo 5



Concentración de amonio (mmol/L) en hemolinfa de especies de decápodos sometidos a diferentes tratamientos. Especificando a la especie, tiempo de emersión (h) y/o temperatura (°C) *Panulirus interruptus* (Ortiz, 2003); *Nephrops norvegicus* (Schmitt y Uglow, 1997b); *Penaeus japonicus* (Chen y Chen, 1998); *Maia squinado* (Durand et al., 2000); *Necora puber* y *Carcinus maenas* (Durand y Regnault, 1998). Anexo tomado de Ortiz, (2003).