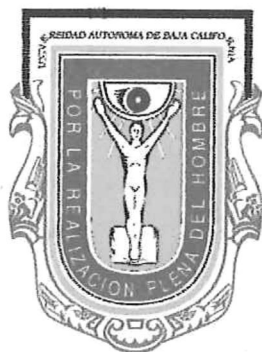


---

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**“ABATIMIENTO DEL OXÍGENO DISUELTO Y AMONIACO  
PRODUCIDO EN UN SISTEMA CERRADO DE  
MANTENIMIENTO DE *Panulirus interruptus* (Randall, 1840)”**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**OCEANOLOGO**  
**PRESENTA:**  
**NAYSIN/DE LA PAZ QUIÑONEZ**

**ENSENADA, B. C., 23 DE JUNIO DE 2005**

---

**“ABATIMIENTO DEL OXÍGENO DISUELTO Y AMONIACO  
PRODUCIDO EN UN SISTEMA CERRADO DE  
MANTENIMIENTO DE *Panulirus interruptus* (Randall, 1840).”**

**T E S I S  
QUE PRESENTA:**

**NAYSIN DE LA PAZ QUIÑONEZ**

**Aprobada por:**



**M. C. Antonio Silva Loera  
Presidente del Jurado**



**Dr. Eugenio Díaz Iglesias  
Sinodal Propietario**



**M. C. Sergio Raúl Canino Herrera  
Sinodal Propietario**

## RESUMEN

Los factores abióticos oxígeno disuelto presente y acumulación de amoníaco se utilizaron para medir la capacidad de carga en un sistema cerrado de mantenimiento de langostas vivas. Se suspendió la aireación al iniciar los experimentos y se midió la disminución de oxígeno disuelto cada 10 minutos. Los valores mínimos de oxígeno disuelto encontrados fueron de 0.4 ml O<sub>2</sub>/lt para la proporción 500 g/1 lt hasta 1.7 ml O<sub>2</sub> / lt en 500 g/10 lt. Los valores de oxígeno disuelto después de 120 minutos fueron de a 4.7 ml O<sub>2</sub>/lt. En los almacenes de empaque sería menos riesgoso utilizar las proporciones donde se mantenga una densidad baja de langostas, ya que estas condiciones proporcionan un tiempo mayor para que suceda el abatimiento de oxígeno. Sin embargo, en un sistema de mantenimiento, el propósito es manejar proporciones altas de langostas por unidad de volumen, por lo que utilizar 500 g/ 8 lt y 500 g/ 10 lt no serían recomendables por la infraestructura requerida. Como no se hizo ningún cambio de agua se mantuvo a los organismos con aireación hasta por 30 horas tomando muestras de agua cada 6 horas, el valor máximo de amoníaco fue en 500 g/1 lt (14.90 mg/lt). Se presentó un aumento del amoníaco en función de la proporción biomasa/volumen. La proporción de 500 g/4 lt fue en la que las langostas no se vieron enfrentadas a concentraciones altas en el medio externo, sino hasta las 24 horas. El tiempo los organismos son mantenidos en los sistemas de mantenimiento es de 4 a 6 horas por lo que se asegura que no se llegarían a los niveles tóxicos. Se realizó un experimento con la misma metodología pero en agua de mar a 33 ‰ resultando que los valores mínimos encontrados que se llevó a cabo un mayor abatimiento de oxígeno disuelto en el experimento a 33 ‰. En los resultados de la acumulación de amoníaco los valores del experimento a 33 ‰ fueron menores que los del experimento 1. Con los resultados presentados se infiere que utilizando una ligera condición hiposmótica, agua de mar a 33 ‰, se podrían minimizar los problemas de acumulación de amoníaco, proporcionando un mejor rendimiento del sistema de mantenimiento de langosta roja *Panulirus interruptus*.

## DEDICATORIA

*A mi mami María del Rosario Quiñonez Osorio, porque gracias a Dios sigues a mi lado con bien, por todo el esfuerzo que has hecho para que yo salga adelante, porque siempre tengo tu mano y tu corazón en los momentos difíciles y sobretodo porque eres mi mejor amiga, te chere mucho yo...!*

*A mis sobrinos Jenifer y Ian, por el sacrificio de haber estado lejos y no poder compartir tantos momentos junto a ustedes, hoy ese sacrificio puedo decir que ha valido la pena, los amo chamacos hermosos.*

*A mi hermano Luis Enrique porque con tus acciones me has enseñado que el amor lo puede todo y porque se que detrás de cada "suata" esta un "te quiero hermana" y a mi cuñadita consentida Wendy porque más que eso eres mi hermana y sobretodo una gran amiga, a los dos los quiero mucho.*

*A todas mis tías y primas porque me han apoyado y me quieren mucho, yo también las amo.*

*A mis seres queridos que desde el cielo me cuidan siempre... mi nana, mi tata y mi mami Chepi.*

*Pero sobre todo a María porque eres la fuerza que me mantiene viva, la luz que me inspira para seguir luchando hasta el final, te tengo siempre conmigo, te amo...*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi director de tesis M. C. Antonio Silva Loera por el apoyo y el tiempo invertido en la realización de este trabajo y sobretodo por la paciencia que me tuvo durante todo el proyecto, más en las correcciones del escrito, muchas gracias Profesor.

Al M. C. Francisco Ley Lou porque fue él quien me sugirió que participara en este proyecto y porque ha sido un buen profesor y amigo.

Al M. C. Raúl Canino Herrera por su apoyo en la realización del análisis e interpretación de las muestras.

Al Dr. Eugenio Díaz Iglesias por la colaboración en la realización de este trabajo.

También agradezco a Daniel Parlange Lamshing y a Mauricio Moreno Ávila por su participación en la elaboración de los experimentos, así como también en el mantenimiento de los organismos.

Un agradecimiento especial a Edgar Torres Irineo, (Edgarin) por haberme apoyado en los experimentos y en general en todo el proyecto, pero sobretodo muchas gracias por haber estado conmigo durante todo este tiempo en las buenas, en las malas y en las peores. Gracias por tu cariño y porque aparte de todo también eres un gran amigo.

Otro agradecimiento especial a todos mis amigos, desde Sandra, Ana Cecilia, Héctor y Gerardo, que estuvieron cerca de mí en primer semestre y que ahora están haciendo algo diferente, hasta Mariana, Yesika, Livia con todo y su bebé, Juan Carlos y Daniel, que aunque nuestra amistad empezó en las últimas de la carrera estuvieron conmigo en los momentos más difíciles y me brindaron su apoyo, saben que siempre cuentan conmigo, gracias palomilla...!

Otro más, uno muy especial para mi mejor amiga Luisa María porque a pesar de la distancia nos mantenemos juntas pésele a quien le pese, porque me ha apoyado en todo momento, te quiero mucho amiguita, eres muy importante para mí.

En general, quiero agradecer a todos mis compañeros de la generación LIX llamada "CHOROS" porque a pesar de todos somos buena onda...!

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

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	7
1.1.a. Objetivos Particulares	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1. Obtención y mantenimiento de organismos	8
2.2. Experimento previo:	
2.2.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	10
2.3. Experimento 1:	
2.3.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	11
2.4. Experimento 2:	
2.4.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	13
2.4.b. Acumulación de amoniaco en función del tiempo	13
2.5. Experimento 3:	
2.5.a. Acumulación de amoniaco en función del tiempo	14
2.6. Experimento 4:	
2.6.a. Evaluación del efecto del agua de mar diluida	15
2.7. Experimento 5:	
2.7.a. Abatimiento de oxígeno disuelto y acumulación de amoniaco en función del tiempo en agua de mar diluida (33‰):	
Condición Hiposmótica	16
2.8. Análisis Estadístico	16
3. RESULTADOS	18
3.1. Experimento previo:	
3.1.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	18

3.2. Experimento 1:	
3.2.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	20
3.3. Experimento 2:	
3.3.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	24
3.3.b. Acumulación de amoniaco en función del tiempo	29
3.4. Experimento 3:	
3.4.a. Acumulación de amoniaco en función del tiempo	31
3.5. Experimento 4:	
3.5.a. Evaluación del efecto del agua de mar diluida	37
3.6. Experimento 5:	
3.6.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo en condición ligeramente hiposmótica (33 ‰)	39
3.6.b. Acumulación de amoniaco en función del tiempo en condición ligeramente hiposmótica (33 ‰)	42
4. DISCUSIONES	48
4.1. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo	48
4.2. Acumulación de amoniaco en función del tiempo	54
4.3. Evaluación del efecto del agua de mar diluida	60
4.4. Condición Hiposmótica	62
5. CONCLUSIONES	67
6. RECOMENDACIONES	68
7. LITERATURA CITADA	69
8. ANEXO	73

## LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla I.	Biomasa total y promedio de langostas utilizadas en el experimento previo en cada recipiente experimental con la proporción de biomasa/volumen de 500 g/4 lt.	18
Tabla II.	Biomasa total y promedio de las langostas utilizadas en el experimento 1 en cada proporción experimental.	21
Tabla III.	Biomasa total y promedio utilizada en las diferentes proporciones del experimento 2 a 35 ‰.	24
Tabla IV.	Comparación de tres métodos de medición de la acumulación de amoníaco (mg NH <sub>3</sub> / lt) de la langosta roja <i>Panulirus interruptus</i> analizados en el experimento 3 a 35 ‰.	32
Tabla V.	Biomasa total y promedio de las langostas utilizadas en el experimento 5, en cada recipiente experimental.	39
Tabla VI.	Comparación de tres métodos de medición de la acumulación de amoníaco (mg NH <sub>3</sub> / lt) de la langosta roja <i>Panulirus interruptus</i> analizados en el experimento 5 a 33 ‰.	43

## LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Tanques de mantenimiento de langostas, con flujo continuo de aireación y agua de mar.	9
Figura 2.	Arreglo experimental de la distribución de la aireación en los recipientes.	11
Figura 3.	Recipientes experimentales con langostas separadas con mallas de plástico.	12
Figura 4.	Indicadores de amoniaco.	15
Figura 5.	Abatimiento promedio del oxígeno disuelto en función del tiempo en la proporción de biomasa/volumen de 500 g/4 lt de la Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento previo a 35 ‰). El flecha rojo indica el momento en que se aplicó aireación.	19
Figura 6.	Abatimiento del oxígeno disuelto en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de la Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 1 a 35 ‰). El flecha rojo indica el momento en que se aplicó aireación.	22
Figura 7.	Abatimiento del oxígeno disuelto en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de la Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 2 a 35 ‰). Las flechas rojas indican el momento en que se aplicó aireación.	26

Figura 8.	Valor de amoniaco acumulado en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 2 a 35 ‰).	30
Figura 9.	Comparación en la variación del pH, mediante potenciómetro (a) e indicadores de papel (b), en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen.	36
Figura 10.	Variación del peso promedio de langosta roja <i>Panulirus interruptus</i> en condiciones hiposmóticas distintas, en función del tiempo. El flecha roja indica el momento en que las langostas fueron regresadas a agua de mar a 35 ‰.	37
Figura 11.	Abatimiento del oxígeno disuelto en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de langosta roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 5 a 33 ‰). Las flechas rojas indican el momento en que se aplicó aireación.	40
Figura 12.	Valor promedio de pH en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen.	46

## ÍNDICE DE ANEXO

	Página
Tabla I	Análisis de varianza de una vía aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto, de la Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento previo). 73
Tabla II	Análisis de Varianza de dos vías aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 1). 73
Tabla III	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 2). 74
Tabla IV	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de amoniaco acumulado, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 2). 74
Tabla V	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de amoniaco acumulado, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 3). 75
Tabla VI	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de pH mediante potenciómetro, en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 3). 75
Tabla VII	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de pH mediante indicadores de papel, en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 3). 76
Tabla VIII	Análisis de varianza no paramétrico de dos vías aplicado a los pesos obtenidos del experimento de evaluación del efecto del agua de mar diluida (experimento 4). 76

Tabla IX	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto en función de biomasa / volumen y tiempo, de la Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 5).	77
Tabla X	Análisis de varianza paramétrico de dos vías aplicado a los resultados de amoníaco acumulado en función del tiempo (experimento 5).	77
Tabla XI	Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de pH mediante potenciómetro, en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen, de Langosta Roja <i>Panulirus interruptus</i> (experimento 5).	78

# 1. INTRODUCCIÓN

Existen cuatro familias de crustáceos decápodos llamados langostas. Las langostas con pinzas pertenecen a la Familia Nephropidae, estas incluyen a la langosta americana *Homarus americanus* y a la especie europea *Homarus gammarus*, entre otras menos conocidas. Las otras tres familias no presentan pinzas. Las langostas de la Familia Panuliridae o "langostas espinosas", son llamadas de esta manera por las múltiples espinas que presentan en el cefalotórax y en los segmentos basales de la segunda antena (Cobb y Phillips, 1980). En este trabajo se utilizó la langosta *Panulirus interruptus* la cual se encuentra en el rango geográfico desde San Luis Obispo, California, E.U.A., hasta Isla Santa Margarita, B. C. S., México. Sin embargo, recientemente se han encontrado ejemplares escasos más al sur, entre Arroyo el Conejo y Todos Santos, B. C. S., México. Estos crustáceos en estas latitudes por lo regular habitan en fondos rocosos y rocoso-arenosos, desde aguas someras hasta los 150 m de profundidad, en aguas frías subtropicales de la corriente de California (Vega *et al.*, 1995).

El interés por conocer el funcionamiento y comportamiento de las langostas se ha venido incrementando durante los últimos 20 años. Esto debido a la importancia del conocimiento de su biología y fisiología dentro de los planes de manejo de su pesquería así como también en los sistemas de cultivo, además de la necesidad fundamental de entender el comportamiento de los organismos para explicar su evolución y ecología (Cobb y Phillips, 1980).

De manera general, como su sucede en todos los organismos, las langostas se ven seriamente afectadas si se encuentran en condiciones de cautiverio desfavorables que no les permitan llevar a cabo sus necesidades metabólicas básicas, tales como la respiración, excreción, entre otros. La totalidad de sus funciones se encuentran relacionados la concentración de oxígeno disuelto en el agua ya que si disminuye por debajo del nivel crítico el animal no puede obtener suficiente oxígeno (Botler *et al.*, 1978; Wheaton, 1978). Por otra parte, el consumo de oxígeno de los organismos se ve influenciado por la temperatura del agua, la densidad de organismos, el tamaño del organismo y el tipo de alimento que se le proporcione, entre otros varios factores (intrínsecos y extrínsecos) (Cockcroft y Wooldridge, 1985).

Debido a la importancia de estos factores es necesario tener un claro entendimiento de su influencia en organismos en cautiverio (Crear y Forteath, 2001). Este conocimiento puede llevarnos a desarrollar un mejor manejo del recurso. Sin embargo, se requiere de este tipo de información para optimizar su aprovechamiento, esto debido a que la langosta es un recurso explotado comercialmente en la región de Baja California y es exportada viva a mercados extranjeros principalmente hacia Oriente (Casas y Ponce, 2002). Este proceso inicia cuando las langostas son capturadas en los campos pesqueros y son trasladadas hacia las empacadoras en donde son mantenidas por unas horas y luego son transportadas hacia los distintos destinos del mercado. Las langostas son organismos que se pueden mantener relativamente fácil en cautiverio. Es de suma importancia que en los estanques en los que se mantienen en las zonas de empaque se mantenga una calidad buena del agua, ya que esto aseguraría una mejor condición de salud de las langostas (Beard y McGregor, 1991). La

concentración de oxígeno disuelto en un sistema acuático es siempre un factor crítico, ya que el oxígeno en el agua corresponde solamente a 1/30 de la abundancia que tiene en el aire. Además, el oxígeno puede caer a concentraciones muy bajas en muchos hábitats debido a cambios biológicos o químicos (Crear y Forteach, 2000). Por lo tanto, es esencial que en un sistema de almacenamiento de langostas o de cualquier organismo exista un suministro suficiente de aireación y flujo continuo de agua para proveer una concentración de oxígeno, ya que concentraciones bajas, incluso por periodos cortos, pueden causar estrés en la mayoría de los organismos acuáticos (Hundley *et al.* 1997; Harvie, 1993). También es importante mantener una densidad adecuada en el espacio en el que se encuentren porque de esto también se ve influenciada la capacidad de carga del sistema. Entonces si se tienen buenas condiciones y una densidad adecuada, el sistema se verá optimizado (Crear y Forteach, 2000).

A pesar que los niveles de oxígeno son un factor limitante de la densidad de un grupo de langostas, existe poca información sobre el nivel mínimo y el óptimo. Sin embargo, un nivel de 4 ppm es considerado como mínimo, aún cuando las langostas son tolerantes a niveles bajos tanto como 2 ppm. Entre los distintos efectos que tiene mantener las langostas en niveles bajos de oxígeno esta el incremento en la frecuencia cardiaca, ya que las langostas que se mantienen en niveles altos de oxígeno muestran un nivel de latidos del corazón irregular y ocasionalmente se detiene por varios minutos, de acuerdo a como baja el oxígeno la frecuencia de latido cardíaco se incrementa (Bayer *et al.*, 1998). Por otra parte, entre otras de las características de las langostas, esta que son organismos osmoconformadores y por lo tanto toleran muy poco los cambios de

salinidad, debido a esto no es frecuente encontrar langostas en charcas de mareas que alcanzan salinidades mayores a 40 ppm, por lo tanto no sería conveniente mantenerlas en aguas hipersalinas ni en aguas de muy baja salinidad. Sin embargo, debido a su osmoconformidad, las langostas soportan reducciones de salinidad pero a una razón de variación lenta (Dall, 1970).

Dentro de los demás factores que influyen en el mantenimiento del stock de langostas se encuentra la concentración de amoníaco presente en el agua, el cual a su vez se encuentra influenciado con el pH, ya que al incrementarse este último puede aumentar la toxicidad del primero (Campbell 1991). El amoníaco es un producto de desechos metabólicos y es excretado por las branquias por difusión o por intercambio iónico llevado a cabo por la glándula verde en los crustáceos. La cantidad y la tasa de producción de amoníaco están influenciadas por el tipo de alimento que se le proporcione al organismo, si éste se encuentra en el proceso de muda, su nivel de actividad, la salinidad y temperatura del medio, entre otros (Regnault, 1987). Al igual que en el caso de los niveles de oxígeno, es importante la comprensión de la influencia del amoníaco para controlar y predecir los niveles que puede llegar a alcanzar cuando se mantienen organismos en cautiverio, ya que en este caso el amoníaco puede acumularse y afectar la calidad del lote de organismos, en comparación con el medio marino en donde dichas circunstancias raramente llegan a ser un problema de tipo tóxico para los organismos (Schmith y Uglow, 1997; Hunter y Uglow, 1993a).

Existe una estrecha interacción entre todos estos factores que se ven influenciados a su vez con la densidad de organismos que se encuentren en el

mismo espacio, esto cuando nos referimos a especies en cautiverio. La capacidad de carga de un sistema consiste en mantener número máximo de animales en un volumen en que se puede sustentar organismos sanos y al mismo tiempo mantener su productividad en un determinado período. Dentro de la capacidad de carga de un sistema acuático intervienen las concentraciones de oxígeno disuelto del agua, ya que dependiendo de los niveles de oxígeno que se operen se derivan las condiciones de los organismos. Existe una relación directa de la concentración de oxígeno disuelto con el metabolismo del animal, mientras se mantengan niveles adecuados de oxígeno disuelto, mayores a los mencionados por Bayer *et al.* (1998), el metabolismo de los organismos no se verá alterado. De la misma manera los niveles de amoníaco pueden llegar a ser tóxicos para los organismos o bien pueden ser niveles letales (Schmitt y Uglow, 1997).

Dentro de la acuicultura se manejan sistemas que en muchos de los casos exceden la capacidad de carga normal con respecto a la encontrada en el medio natural. Lo cual induce a un estrés fisiológico y posteriormente a la muerte de los organismos con sus consecuentes pérdidas de producción. Por lo tanto, para la acuicultura es muy importante tener bien identificados los factores que intervienen dentro del sistema y que causan estrés, de manera de implementar técnicas para minimizar o eliminar dichos factores y tener un manejo apropiado para obtener producciones más eficientes (Rawson *et al.*, 2001; Hall y de la Vega, 2004).

El volumen de agua en el que se mantiene un cierto número de organismos, representa el mayor factor sobre la calidad del sistema, donde la densidad de organismos mantenida en un volumen de agua puede ser

inadecuada, tal que, las tasas metabólicas, como el consumo de oxígeno y el nivel de amoníaco presente debido a las excreciones de los organismos, sean una limitante para ellos mismos. O bien, en el caso contrario, la densidad puede ser la adecuada, tal que, los factores mencionados no sean una limitante en la calidad del sistema y por consiguiente los organismos se encuentren en condiciones más favorables para lograr un buen mantenimiento (Crear y Forteach, 2000).

La interacción entre el aumento de amoníaco y disminución de la cantidad de oxígeno reduce la capacidad de resistencia de los organismos y limitan la densidad en el almacenamiento (capacidad de carga); de igual manera la concentración de oxígeno y de amoníaco son función de la biomasa en un volumen de agua y del tiempo. Tal esperamos que sucediera en la langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) en condiciones de manejo en laboratorio.

## 1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo es valorar el punto en el cual el abatimiento de oxígeno disuelto y la acumulación de amoníaco puedan ser niveles inadecuados para el mantenimiento óptimo de un sistema sin recirculación de agua.

### 1.1.a. Objetivos Particulares

A) Determinar la capacidad de carga (biomasa/volumen) en un sistema cerrado en términos del oxígeno consumido en función del tiempo.

B) Determinar la capacidad de carga (biomasa/volumen) en un sistema cerrado en términos de la acumulación de amoníaco en función del tiempo.

C) Determinar el efecto de la disminución de la salinidad a 33 ‰ sobre la capacidad de carga del sistema cerrado.

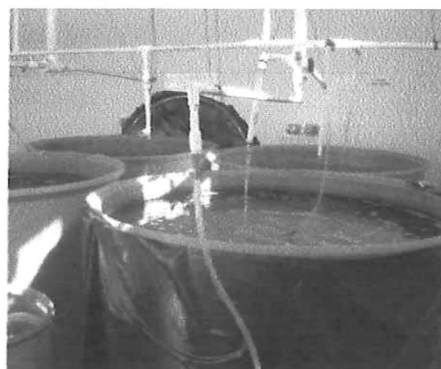
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Obtención y mantenimiento de organismos.

Se utilizaron 56 langostas (33 hembras y 23 machos) de la especie *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) traídas de campos pesqueros de la zona II de la península de Baja California. Para la identificación de los organismos se les colocó una cinta de plástico sobre la segunda espina del segundo artejo antenal, la cual llevaba una etiqueta pequeña de plástico numerada, además cada cinta de plástico era de diferente color, esto para identificar las langostas en referencia a los distintos tanques de mantenimiento en donde se colocaron. Antes de realizar los experimentos se le midió su longitud la cual fue en promedio  $25.5 \text{ cm} \pm 1.7 \text{ cm}$ . Se obtuvo su peso, el cual en promedio fue de  $553.1 \text{ g} \pm 90.8 \text{ g}$ . Estos datos quedaron registrados de acuerdo al número de langosta.

Se mantuvieron en el laboratorio de acuicultura de la Facultad de Ciencias Marinas en cuatro tanques de 600 litros cada uno, colocando 12 langostas por tanques, con una temperatura en el intervalo de  $14.5\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Los tanques tenían flujo continuo de aire y agua de mar pasada por filtro rápido de arena.

Se les alimentó una vez al día a saciedad con calamar fresco congelado y mejillón vivo. Las langostas se mantuvieron en estas condiciones durante dos meses previos a la realización de los experimentos.



**Fig. 1.** Tanques de mantenimiento de langostas, con flujo continuo de aireación y agua de mar.

Los factores abióticos utilizados para medir la capacidad de carga en el sistema de mantenimiento de langosta viva fueron analizados en dos experimentos seguidos y en dos salinidades diferentes. En los experimentos a salinidad de 35 ‰ se realizaron dos experimentos diferidos por una semana, mientras que en el experimento a salinidad de 33 ‰ se realizó por duplicado. Es importante mencionar que en ninguno de los experimentos realizados se utilizaron animales que ya hubieran sido sometidos a estrés experimental previo de manera que los animales fueron utilizados en cada experimento una vez solamente.

## 2.2. Experimento previo

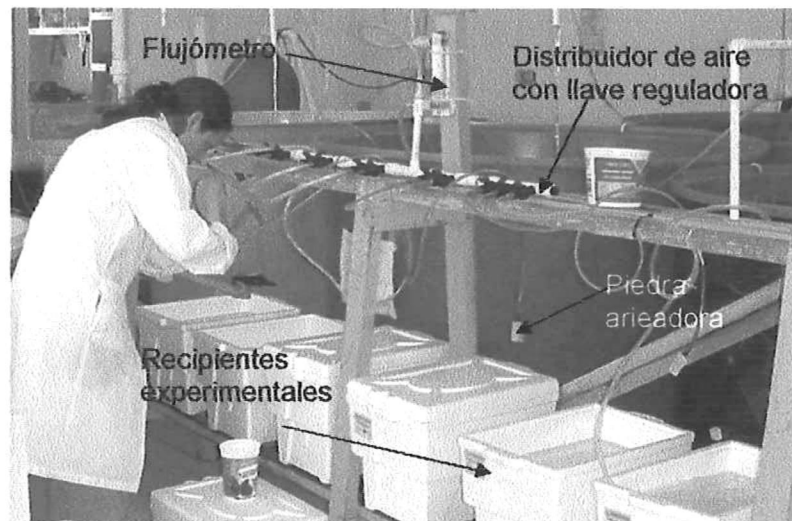
### 2.2.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo.

Se realizó un experimento preliminar a una temperatura de 17 °C en el cual se midió el abatimiento de oxígeno disuelto para analizar el comportamiento de las langostas sobre el abatimiento de oxígeno.

En este experimento se utilizó la proporción de biomasa/volumen 500 g/4 lt por triplicado.

Se emplearon tres recipientes con capacidad de 20 litros, en donde se colocaron tres langostas en cada uno.

Se estuvo aplicando aireación antes de iniciar el experimento a razón de 0.19 pies cúbicos por minuto (Figura 2). Para regular la cantidad de aire se tenía un flujómetro de aire, a partir del cual mediante un distribuidor se repartía el aire a todas las tinas. Una vez que se inició el experimento se suspendió la aireación y se midió la disminución de oxígeno disuelto mediante el electrodo marca YSI cada 10 minutos. Una vez que las mediciones llegaron a valores cercanos a 1 ml O<sub>2</sub> / lt se reinició la aireación y se siguieron tomando las lecturas de oxígeno disuelto hasta alcanzar los valores iniciales.



**Fig. 2.** Arreglo experimental de la distribución de la aireación en los recipientes.

### 2.3. Experimento 1

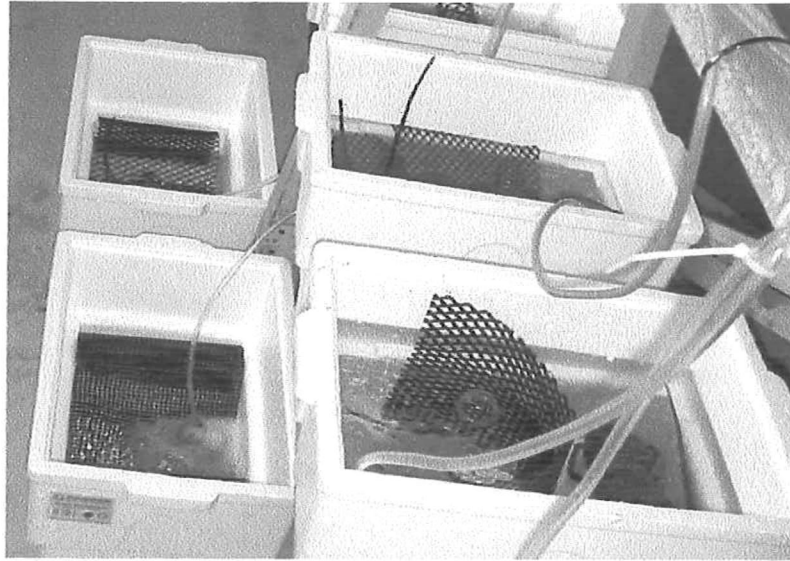
#### 2.3.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo.

Para la evaluación de la capacidad de carga de un volumen de agua se varió la proporción biomasa (g): volumen (l) bajo las siguientes proporciones: 500g/1l; 500g/2l; 500g/4l y 500g/8l.

Se utilizaron 4 recipientes experimentales de unicel con capacidad de 20 litros cada uno, en los cuales se colocaron las langostas en agua a temperatura de 17 °C.

Se procuró minimizar el estrés por manipuleo colocando inmediatamente a los organismos desde las finas de mantenimiento a los recipientes experimentales. Dentro de los recipientes, las langostas se mantuvieron separadas por medio de mallas de plástico (Figura 3). Una vez colocadas las mallas de plástico se aplicó aireación durante 10 minutos y posterior a este tiempo se detuvo el suministro de

aire para empezar a medir el abatimiento de oxígeno disuelto. El oxígeno presente se midió cada 15 minutos.



**Fig. 3.** Recipientes experimentales con langostas separadas con mallas de plástico.

Las lecturas de oxígeno se realizaron hasta el momento en que el oxígeno disuelto en el recipiente fue menor o igual al 30% del valor inicial, ya que pasado este valor los organismos se ven sometidos a un estrés adicional debido a la disminución de oxígeno presente. Una vez alcanzado este punto en las mediciones, se aplicó aireación a razón de 0.19 PCM en cada tina. Una vez restaurada la concentración de oxígeno, de nueva cuenta se midió la cantidad de oxígeno cada 15 minutos, hasta alcanzar los niveles iniciales de oxígeno disuelto.

## 2.4. Experimento 2

### 2.4.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo.

En este experimento, se utilizaron las proporciones experimentales: 500 g/1 lt, 500 g/2 lt, 500 g/4 lt, 500 g/8 lt y 500 g/10 lt, en esta ocasión se manejaron tres langostas en las primeras tres proporciones y dos langostas en las últimas dos densidades, cada recipiente tenía diferente volumen de acuerdo a la proporción experimental antes mencionada, la temperatura del agua se registró a 17 °C. Este experimento se realizó variando la concentración inicial de oxígeno disuelto de los recipientes experimentales. Las primeras dos densidades (500 g/1 lt y 500 g/2 lt) se iniciaron en concentraciones de 2 ml O<sub>2</sub> / lt, la proporción de 500 g/4 lt se inició en 3 ml O<sub>2</sub> / lt, y en esta ocasión se utilizó la proporción de 500 g/10 lt en la cual se iniciaron las mediciones en concentraciones mayores a 4 ml O<sub>2</sub>/lt.

El procedimiento de medición fue el mismo utilizado en el experimento anterior y en todos los experimentos.

### 2.4.b. Acumulación de amoníaco en función del tiempo.

Durante los experimentos no se hizo ningún cambio de agua (sistema cerrado), se mantuvieron los organismos en los recipientes experimentales con aireación hasta por 30 horas. Se tomaron muestras de agua en botellas de plástico de 60 ml lavadas previamente con ácido clorhídrico al 10% y enjuagadas con agua destilada. Los muestreos se realizaron cada 6 horas de cada condición

experimental. Las botellas fueron etiquetadas de acuerdo a la condición experimental correspondiente y de acuerdo a la hora del muestreo.

Para determinar la cantidad de amoníaco se utilizó el método de azul de indofenol (Koroleff, 1983, citado en Grasshoff, 1983), realizando el análisis por triplicado, y mediante la curva de calibración siguiente se transformaron las absorbancias leídas a micro moles por litro de amoníaco:

$$\text{NH}_4 (\mu\text{M}) = 59.41 \times \text{Absorbancia} + 1.67$$

Para la transformación de los resultados a miligramos de amonio por litro a partes por millón, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{ppM (mg/l)} = [\text{Peso molecular del NH}_3 \times (\text{moles/litro})] / 1000$$

## 2.5. Experimento 3

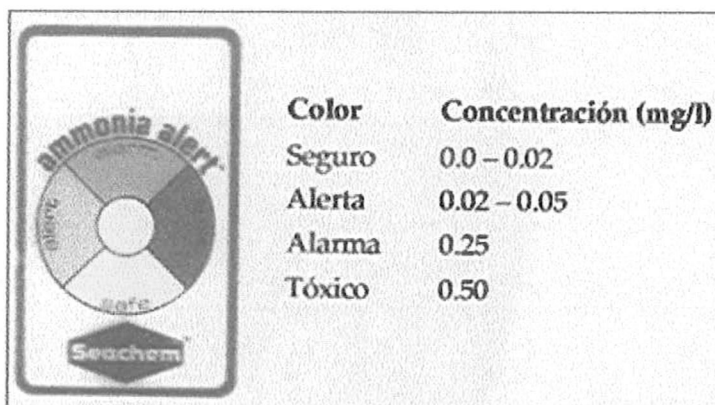
### 2.5.a. Acumulación de amoníaco en función del tiempo.

En este experimento no fue necesario medir la variación de oxígeno en función de la biomasa y del tiempo, la temperatura se registró de 18 °C.

Se realizaron mediciones de amoníaco analizadas por el método del azul de indofenol de la misma manera que en el experimento anterior.

También se utilizó un kit colorimétrico comercial (LaMotte®), a una muestra de agua de mar, se le agregaban los reactivos del kit y la muestra coloreada se comparaba con un lector colorimétrico graduado de referencia. Además se tomaron como referencia, indicadores de amoníaco para acuarios,

los cuales tienen diferentes colores que indican el nivel de amoníaco presente en el medio, cada color tiene su intervalo de concentración de amoníaco como se muestra en la Figura 4.



**Fig. 4.** Indicadores de amoníaco para acuarios.

Además, se midió el pH mediante un potenciómetro con el fin de conocer las fluctuaciones de pH para posteriormente establecer una posible influencia o correlación con el amoníaco presente. Por otra parte se tomaron como referencia indicadores de pH de papel (EM-Reagentes pH 5-10). Estas mediciones se realizaron en los mismos tiempos en que fueron tomadas las muestras para las mediciones de amoníaco.

## 2.6. Experimento 4

### 2.6.a. Evaluación del efecto del agua de mar diluida.

Se realizó un experimento previo de variación de peso para evaluar su capacidad de control osmótica en salinidades distintas a la típica marina, esto en

función del tiempo para determinar cual salinidad es la mínima en la que se ven menos afectados los organismos. Se tomó el peso inicial de cada organismo, se colocaron langostas en salinidades de 33, 30, 27 y 24 ppm. Posteriormente se midió el peso de todos los organismos cada 15 minutos durante una hora y media. Después de haber pasado el tiempo, las langostas se colocaron de nuevo en agua de mar y se pesaron cada 15 minutos durante una hora.

## 2.7. Experimento 5

2.7.a. Abatimiento de oxígeno disuelto y acumulación de amoníaco en función del tiempo en agua de mar diluida (33 ‰): Condición Hiposmótica

A partir de la salinidad menor en donde las langostas se vieron menos afectadas y presentaron mejor recuperación en el experimento anterior se aplicó la metodología descrita en el experimento 3, para valorar el efecto de una salinidad de 33 ‰ sobre la capacidad de carga de un sistema para manejo de langosta roja *Panulirus interruptus* en función del abatimiento de oxígeno disuelto y producción de amoníaco, en este experimento se registró una temperatura de 18 °C.

## 2.8. Análisis Estadístico

Se analizaron los resultados de oxígeno disuelto haciendo una comparación entre las distintas proporciones experimentales manejadas y entre el tiempo.

En el experimento previo se utilizó un análisis de varianza de una vía ya que solamente se manejó una misma proporción experimental y se realizó una comparación entre las tres réplicas realizadas.

En los experimentos 1, 2 y 5 se utilizó un análisis de varianza de dos vías, ya que en estos casos se utilizaron distintas proporciones experimentales, donde se analizó el efecto entre las proporciones y entre el tiempo.

Los resultados de acumulación de amoníaco de los experimentos 2, 3 y 5 se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza de dos vías comparando el efecto entre las proporciones manejadas y entre los tiempos de medición.

A los experimentos 1, 2 y 3 no se les realizó el análisis a nivel de interacción entre los tratamientos debido a que no se tuvieron réplicas para comparar. En el caso del experimento 5 si se tuvo réplica por lo que en el análisis de varianza se pudo evaluar la interacción entre los tratamientos.

En el experimento de la evaluación del efecto del agua de mar diluida a 33 ‰ se aplicó un análisis de varianza no paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis donde se comparó el efecto entre las distintas salinidades utilizadas y entre el tiempo de experimentación.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Experimento Preliminar

##### 3.1.a. Abatimiento de oxígeno disuelto presente en función del tiempo.

En este experimento se utilizó la proporción de 500 g/4 lt por triplicado. Se colocaron tres langostas en cada recipiente, cuyo peso promedio fue de 569.8 g (Tabla I), se calculó el peso promedio en cada recipiente para conocer la biomasa promedio utilizada en este experimento.

**Tabla I.** Biomasa total y promedio de langostas utilizadas en el experimento previo en cada recipiente experimental con la proporción de biomasa/volumen de 500 g/4 lt.

	CAJA 1	CAJA 2	CAJA 3
Biomasa total / volumen	1743 : 4 lt	1611 : 4lt	1774 : 4 lt
Biomasa promedio (g)	581	537	592
Desviación Estándar	± 56	± 44	± 42

La Figura 5 representa los valores de oxígeno disuelto en los recipientes del experimento previo donde las langostas agotaron la concentración de

oxígeno a los 60 minutos de mantenerlas sin aireación. El valor más bajo de concentración de oxígeno fue de 1.1 ml O<sub>2</sub>/lt.

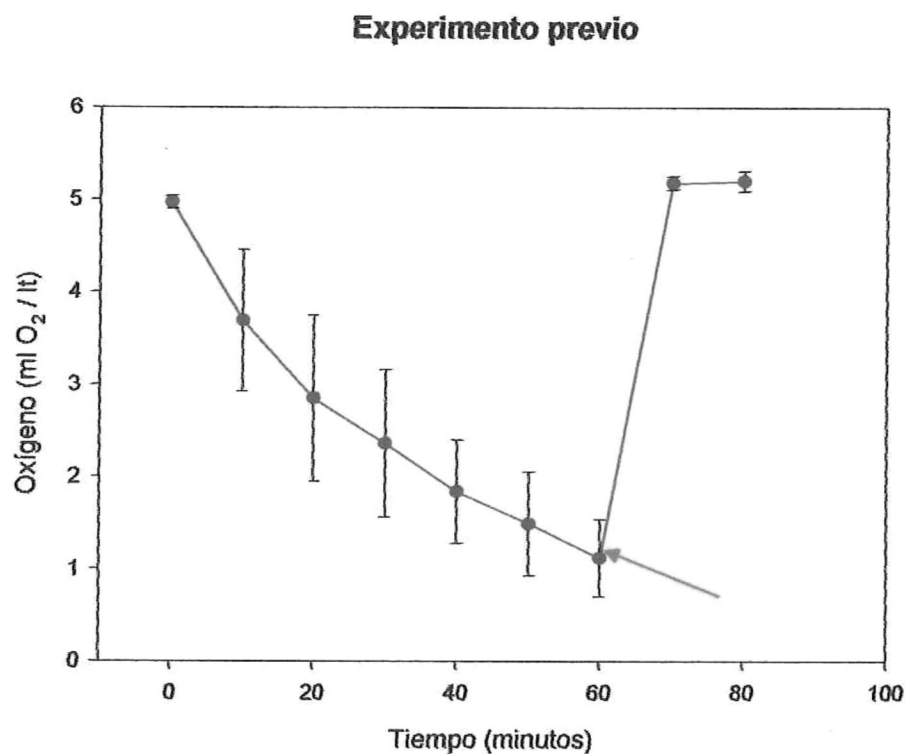


Fig. 5. Abatimiento promedio del oxígeno disuelto en función del tiempo en la proporción de biomasa/volumen de 500 g/4 lt de la Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento previo a 35 ppm). Las barras verticales indican la desviación estándar. La flecha roja indica el momento en que se aplicó aireación.

Las mediciones de los 10 a los 50 minutos reflejan las variaciones que se presentaron en las tinas, sin embargo en todas las ocasiones los valores de oxígeno disuelto disminuyeron.

Es importante notar que a los 10 minutos de haber reiniciado la aireación se obtuvieron concentraciones similares en los tres recipientes, mayores a 5 ml O<sub>2</sub>/lt ( $\pm 0.07$ ) y se mantuvieron constantes alrededor de los 5 ml O<sub>2</sub>/lt.

A los datos de la figura 5 se les aplicó un análisis de varianza de una vía, (Anexo: Tabla I) resultando que la diferencia en los valores de las medias entre los tratamientos, en este caso la concentración de oxígeno disuelto en los recipientes experimentales, fue suficientemente grande como para excluir la posibilidad de que sea debido a variabilidad de muestreo. Por lo tanto, los valores obtenidos de concentración de oxígeno en este experimento fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

### 3.2. Experimento 1

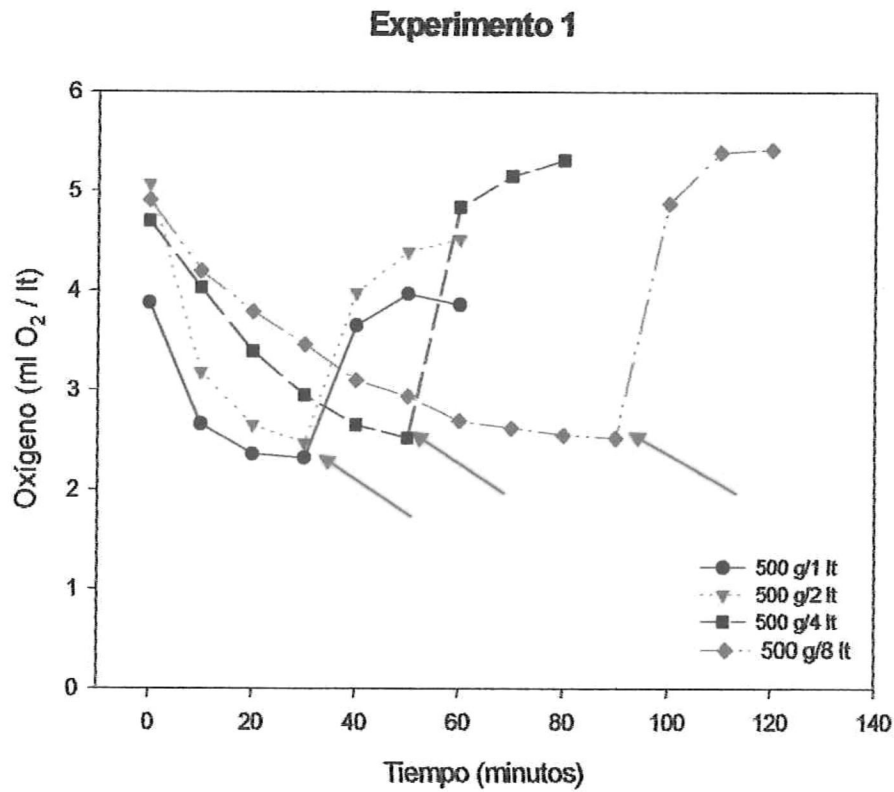
#### 3.2.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo.

En este experimento se manejaron cuatro densidades: 500 g/1 lt, 500 g/2 lt, 500 g/4 lt y 500 g/8 lt, en las cuales se utilizaron tres langostas en cada recipiente experimental. Se pesaron los organismos para conocer la biomasa total utilizada, estos valores se muestran en la tabla II.

**Tabla II.** Biomasa total y promedio de las langostas utilizadas en el experimento 1 en cada proporción experimental.

	DENSIDAD PROPUESTA			
	500 g/1 lt	500 g/2 lt	500 g/4 lt	500 g/8 lt
Biomasa total / volumen	2019 : 3 lt	1775 : 6 lt	1538 : 12 lt	1750 : 24 lt
Biomasa promedio (g)	673	592	511	583
Desviación Estándar	± 67	± 35	± 35	± 22

A partir de las concentraciones de oxígeno en función del tiempo es notable que el abatimiento del oxígeno disuelto se logró dentro de los primeros minutos, particularmente en las proporciones de 500 g/1lt y 500 g/2 lt, el oxígeno disminuyó más rápidamente por las langostas en los primero 10 minutos (Figura 6).



**Fig. 6.** Abatimiento del oxígeno disuelto en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de la Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 1 a 35 ppm). Las flechas rojas indican el momento en que se aplicó aireación.

En 500 g/1 lt se tuvieron valores iniciales de 3.9 ml O<sub>2</sub> / lt y a los 10 minutos fue de 2.7 ml O<sub>2</sub> / lt. En la proporción de 500 g/2 lt se tuvo un valor inicial de 5.1 ml O<sub>2</sub> / lt y a los 10 minutos fue de 3.1 ml O<sub>2</sub> / lt. En contraste con las densidades de 500 g/4 lt y 500 g/8 lt se midieron concentraciones iniciales mayores a 4.7 y 4.9 ml O<sub>2</sub> / lt respectivamente. En los primeros 10 minutos se tuvieron concentraciones de 4 ml O<sub>2</sub> / lt en ambas. De lo anterior es importante diferenciar como en las primeras dos densidades el abatimiento de oxígeno se alcanzó relativamente más rápido en comparación con las últimas densidades de 500 g/4 lt y 500 g/8 lt.

Por otra parte, en la misma gráfica 6, los valores mínimos de concentración de oxígeno disuelto a que se llegó fueron mayores a 2 ml O<sub>2</sub> / lt, independientemente de la proporción biomasa/volumen utilizada y del tiempo.

En todos los experimentos se aplicó aireación a una razón de 0.19 CFM por cada recipiente experimental de acuerdo a como iba abatiéndose la concentración de oxígeno disuelto en las tinas experimentales. Fue necesario aplicar aireación a las densidades 500 g/1 lt y 500 g/2 lt a los 30 minutos de experimentación, seguido de la densidad de 500 g/4 lt en la cual a los 50 minutos se inició la aireación; por último la proporción de 500 g/8 lt se mantuvo sin aireación hasta los 90 minutos del experimento.

Después de haber aplicado aireación durante los siguientes 10 minutos las concentraciones de oxígeno se incrementaron rápidamente. Cabe mencionar que en las densidades 500 g/1 lt, 500 g/2 lt y 500 g/8 lt los valores de oxígeno disuelto después de la aireación alcanzaron las concentraciones de los valores

iniciales. En la densidad de 500 g/2 lt no se alcanzan los valores iniciales, sin embargo la tendencia de los valores medidos fue ascendente.

Los resultados de las concentraciones de oxígeno disuelto obtenidos en el experimento 1 se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza de una vía, donde las diferencias en los valores de las medias de los dos tratamientos fueron mayores de lo esperado, por lo tanto existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los valores de concentración de oxígeno de las langostas utilizadas en este experimento, (Tabla II en Anexo).

### 3.3. Experimento 2

#### 3.3.a. Abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo.

Se utilizaron todas las proporciones experimentales propuestas: 500 g/1 lt, 500 g/2 lt, 500 g/4 lt, 500 g/8 lt y 500 g/10 lt. Se obtuvo el peso total en cada recipiente experimental y se calculó la biomasa promedio utilizada, de tal manera como se muestran en la Tabla III.

**Tabla III.** Biomasa total y promedio utilizada en las diferentes proporciones del experimento 2 realizado a 35 ppm.

	DENSIDAD PROPUESTA				
	500 g/1 lt	500 g/2 lt	500 g/4 lt	500 g/8 lt	500 g/10 lt
Biomasa total / volumen	1853 : 3 lt	1600 : 6 lt	1735 : 12 lt	1136 : 16 lt	1089 : 20 lt
Biomasa promedio (g)	618	534	578	568	545
Desviación Estándar	± 14	± 10	± 76	± 93	± 24

El experimento 2 se realizó variando la concentración inicial de oxígeno disuelto de los recipientes experimentales (Figura 7), donde en las primeras dos concentraciones a los 15 minutos se tuvieron valores que fueron de 0.6 y 0.7 ml  $O_2$  / lt. Debido a que en estas dos proporciones experimentales los valores de oxígeno disuelto bajaron drásticamente. A los 30 minutos del experimento se les aplicó aireación a ambas, (0.19 CFM). Los valores mínimos de concentración de oxígeno disuelto encontrados fueron de 0.4 y 0.5 ml  $O_2$  / lt, a los 30 minutos, respectivamente.

### Experimento 2

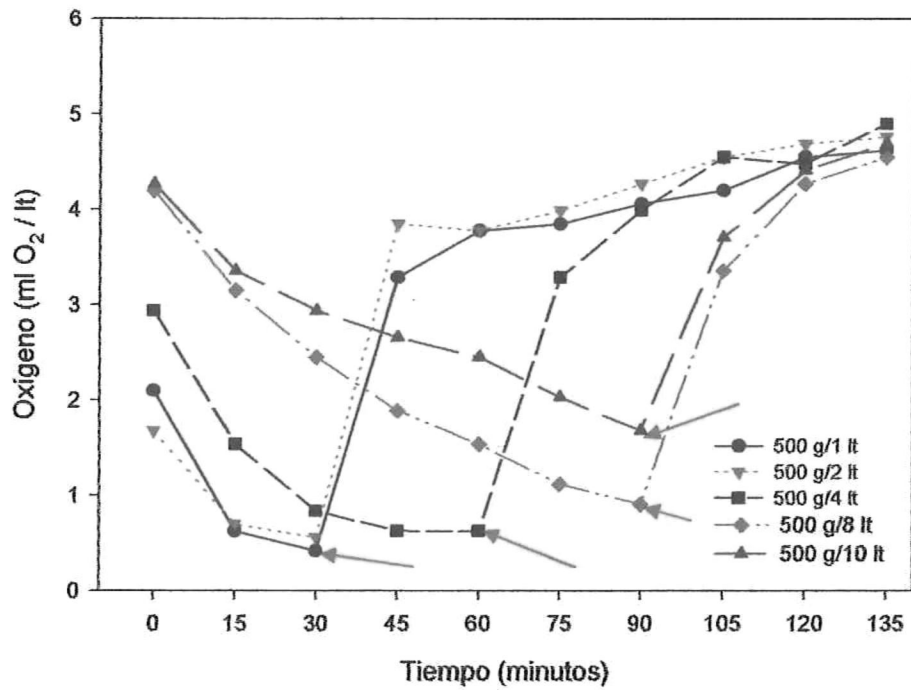


Fig. 7. Abatimiento del oxígeno disuelto en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de la Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 2 a 35 ppm). Las flechas rojas indican el momento en que se aplicó aireación.

En la densidad de 500 g/4 lt durante los primeros 15 minutos suspendida la aireación se tuvo una disminución grande en el oxígeno disuelto, de 2.9 (valor inicial) a 1.5 ml O<sub>2</sub> / lt, a los 30 minutos la variación fue de 1.5 a 0.8 ml O<sub>2</sub>/lt. A partir de este tiempo el abatimiento de oxígeno a los 45 minutos llegó a 0.6 ml O<sub>2</sub>/lt, que correspondió a la concentración mínima registrada. Este nivel de oxígeno disuelto se mantuvo durante los siguientes 15 minutos.

Los valores obtenidos de oxígeno disuelto en las densidades de 500 g/8 lt y 500 g/10 lt, durante los primeros 15 minutos fueron de 3.2 y 3.4 ml O<sub>2</sub> / lt, estos valores indican un bajo abatimiento de oxígeno durante los primeros minutos. En la Figura 7 se distingue el abatimiento de oxígeno en estas dos proporciones, éste se llevó a cabo de manera más lenta en comparación con las densidades anteriores. Es importante notar que los valores mínimos de concentración de oxígeno disuelto se alcanzaron hasta los 90 minutos, no obstante esto valores fueron mayores a los encontrados en las proporciones anteriores.

En la proporción de 500 g/8 lt se tuvieron valores mínimos de 0.9 ml O<sub>2</sub>/lt, en esta ocasión también se marcó una variación en la concentración de oxígeno disuelto menor durante los últimos 15 minutos antes de aplicar aireación en comparación con las variaciones encontradas durante los tiempos previos.

En la densidad de 500 g/10 lt se registraron valores mayores a 1, el valor mínimo fue de 1.7 ml O<sub>2</sub>/lt.

En conjunto los valores mínimos de oxígeno disuelto encontrados fueron de 0.4 ml O<sub>2</sub> / lt para la proporción 500 g/1 lt, 0.5 ml O<sub>2</sub> / lt para 500 g/2 lt, 0.6 ml O<sub>2</sub> / lt en la densidad de 500 g/4 lt, 0.9 en 500 g/8 lt y por último el valor mínimo obtenido en la proporción de 500 g/10 lt fue de 1.7 ml O<sub>2</sub> / lt. Esto muestra una

tendencia ascendente de los valores mínimos de oxígeno disuelto encontrados en los recipientes experimentales en función de la proporción que se utilizó.

En este experimento 2 se suministró aireación de acuerdo a como se iba abatiendo la concentración de oxígeno disuelto en los recipientes experimentales. En la figura 7 a los 15 minutos de haber iniciado la aireación en todas los recipientes, los valores de oxígeno disuelto se elevaron hasta más de 3 ml O<sub>2</sub>/lt, después de estos primeros 15 minutos, la concentración de oxígeno se estabilizó hasta llegar a una concentración de 4.7 ml O<sub>2</sub>/lt.

Finalmente en la gráfica 7, en todas las proporciones después de 120 minutos se aumentó la concentración de oxígenos disuelto a 4.7 ml O<sub>2</sub>/ lt.

Las concentraciones de oxígeno disuelto registradas en el experimento 2 se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza de una vía donde se probó que las diferencias en los valores de las medias de los dos tratamientos son mayores de lo esperado, lo que indica una diferencia significativa ( $P < 0.05$  y  $P < 0.001$ ) entre los valores de concentración de oxígeno disuelto (Tabla III en Anexo).

Al comparar los dos experimentos realizados en agua a 35 ppm (Figuras 6 y 7) se distingue que el abatimiento de la concentración de oxígeno disuelto es similar en ambos casos.

La cantidad de oxígeno disuelto inicial fue mayor en el experimento 1 que en el segundo. Sin embargo, en las dos gráficas es notable que existió un abatimiento de oxígeno disuelto rápido dentro de los primeros 30 minutos, independientemente de la proporción biomasa/volumen que se haya manejado y de las concentraciones iniciales que se encuentren en el sistema.

Es importante notar en el primer experimento que los valores mínimos alcanzados fueron mayores a 2 ml O<sub>2</sub>/lt y que en el segundo experimento los valores mínimos fueron inclusive menor a 1 ml O<sub>2</sub> / lt, por lo que las langostas en los primeros minutos consumieron el oxígeno disuelto a la misma razón en ambos experimentos.

En todas las mediciones después de haber aplicado aireación se llegó a valores de 4 a 5 ml O<sub>2</sub> / lt. Estos valores fueron alcanzados más rápidamente en las proporciones de 500 g/8 lt y 500 g/10 lt.

### 3.3.b. Acumulación de amoniaco en función del tiempo.

Una vez alcanzados los valores de saturación de oxígeno en los recipientes, los organismos se mantuvieron por 30 horas con aireación y sin cambio de agua. Se determinó el amoniaco por el método azul de indofenol.

Los resultados de la acumulación de amoniaco de las muestras tomadas cada 6 horas en el experimento 1 a 35 ppm se muestran en la Figura 8 donde la primera proporción (500 g/1lt) fue la que presentó concentraciones mayores de amoniaco desde las primeras 6 horas, alcanzando como valor máximo una concentración de 16.51 mg NH<sub>3</sub>/lt a las 24 horas de experimentación. Posterior a este tiempo, a las 30 horas, en esta misma proporción, la concentración de amoniaco fue menor (14.70 mg NH<sub>3</sub>/lt).

## Experimento 2

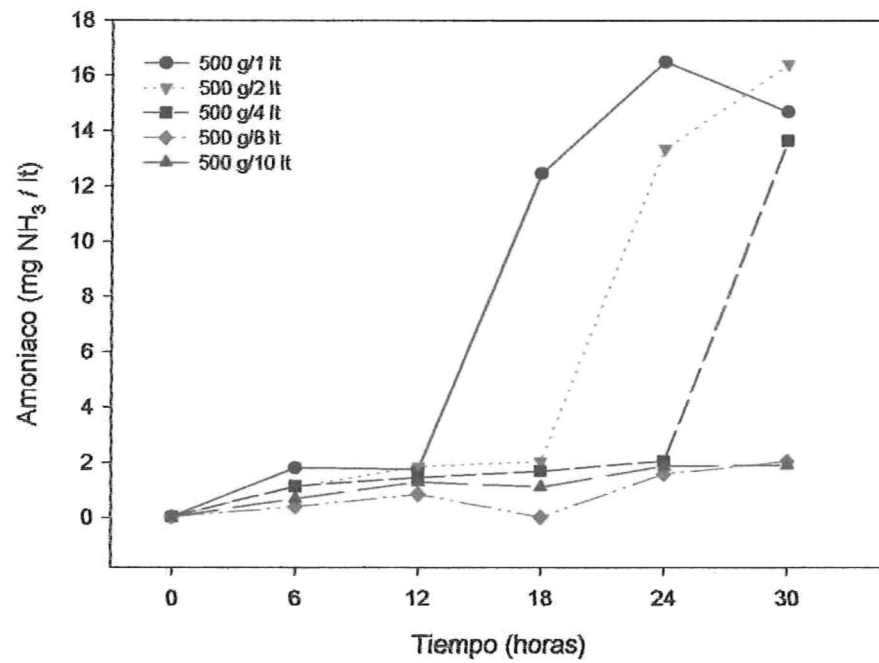


Fig. 8. Valor de amoniaco acumulado en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de *Panulirus interruptus* (experimento 2 a 35 ppm).

En la proporción de 500 g/2 lt ocurrió un aumento a las 24 horas y alcanzó valores máximos de 16.42 mg NH<sub>3</sub>/lt a las 30 horas.

En la siguiente proporción se observó el mismo aumento que en las anteriores pero desfasado en el tiempo, hasta las 30 horas alcanzó sus valores máximos, los cuales fueron de 13.66 mg NH<sub>3</sub>/lt.

En las últimas dos proporciones experimentales (500 g/8 lt y 500 g/10 lt) se obtuvieron valores menores a los 2 mg NH<sub>3</sub>/lt hasta en las 30 horas.

Se realizó un análisis de varianza de dos vías para verificar si existió un efecto de la proporción de biomasa/volumen que se utilizó y del tiempo sobre la acumulación de amoniaco de exposición de las langostas a estas condiciones. La diferencia en los valores de las medias de los tratamientos son mayores de lo esperado, por lo tanto existe diferencia significativa ( $P = 0.05$ ) entre los valores de acumulación de amoniaco (Tabla IV en Anexo).

### **3.4. Experimento 3**

#### **3.4.a. Acumulación de amoniaco en función del tiempo**

El propósito de las lecturas de amoniaco mediante métodos distintos al de azul de indofenol, fue comparar la precisión de los métodos, la confiabilidad, la facilidad y rapidez de operación y en la obtención de resultados (Tabla IV), experimento a 35 ppm.

La acumulación de amoníaco fue mayor en la primera proporción, de 14.90 mg NH<sub>3</sub>/lt.

En la segunda condición experimental (500 g/4 lt) los valores máximos de amoníaco fueron de 9.81 mg NH<sub>3</sub>/lt, y fueron aumentando gradualmente, en comparación con la proporción anterior.

En la condición de 500 g/8 lt se perdió la muestra de las 30 horas, sin embargo, la concentración esperada tendría un comportamiento similar a las demás condiciones siendo mayor que en la medición anterior.

Finalmente, en la proporción de 500 g/10 lt, resultó una ligera variación en las concentraciones de amoníaco, particularmente en las 12 y 18 horas, pero en general se presentó una tendencia igual que en las otras proporciones experimentales, un aumento en la concentración de amoníaco en función del tiempo.

A partir de los resultados obtenidos del método de azul de indofenol se presentó un aumento de la concentración de amoníaco en función de la proporción biomasa/volumen, con valores mayores en las primeras proporciones en comparación con las proporciones menos densas.

A los datos obtenidos del experimento 3 por el método azul de indofenol, se les aplicó análisis de varianza resultando que la diferencia entre los valores de las medias de los tratamientos es mayor a la esperada, por lo que existió influencia significativa ( $P < 0.001$ ) (Tabla V en Anexo).

Asimismo se midió la presencia de amoníaco mediante un kit colorimétrico (LaMotte<sup>®</sup>) para conocer la eficiencia y ventajas de uso entre los

métodos para determinar el amoníaco de manera práctica en los laboratorios de empaque de langostas.

Los resultados valorados con el kit colorimétrico son presentados en la Tabla IV. Dado que el kit colorimétrico tiene una graduación máxima de 8 ppm de amoníaco, los valores que sobrepasaron el color al máximo proporcionado se consideraron como valores mayores de 8 ppm.

En la proporción de 500 g/2 lt se obtuvieron concentraciones mayores a los 8 ppm desde las primeras 6 horas de experimentación, posterior a estas lecturas se tuvieron valores mucho mayores a la concentración máxima que puede determinar el kit colorimétrico. En la tabla se evidencia que las concentraciones aumentaron con respecto al tiempo y a la proporción de biomasa y volumen.

Dado que los valores de escala del kit colorimétrico (LaMotte®) no son suficientemente finos no se consideró necesario valorar su significancia estadísticamente. Aunque es evidente que al menos en uno de los tratamientos, los valores resultaron distintos.

Los resultados de los indicadores de amoníaco para acuario mostrados en la misma tabla IV, se distingue el mismo patrón que en los métodos anteriores, el amoníaco producido aumenta en función de la proporción de biomasa/volumen utilizada y del tiempo. Sin embargo, en este caso se aprecia que la concentración de amoníaco en la densidad primera de 500 g/2 lt aumenta desde las primeras 6 horas y luego a las 18 horas llega a un punto máximo de 0.5 mg/l, en donde se mantiene hasta el final del experimento a las 30 horas.

En cambio, las densidades de 500 g/4 lt y 500 g/8 lt tienen un aumento hasta las 18 horas de 0.25 y 1.5 mg/l, respectivamente; y por último la densidad menor de 500 g/10 lt solamente alcanza concentraciones de 0.15 mg/l a las 24 horas y de 0.28 mg/l a las 30 horas. Es importante mencionar que el valor más alto de desviación estándar fue de 0.14.

En comparación con los otros métodos de medición, los valores obtenidos mediante los indicadores de acuario son menores en todos los casos.

De manera conjunta a la hora a la toma de muestras de agua para la valoración de amoníaco acumulado, se midió el pH mediante un potenciómetro (Figura 9a). Las fluctuaciones en las primeras 6 horas son similares en todas las densidades, de 8 a 7.5, pero a partir de las 6 horas las variaciones son muy distintas, sin embargo es importante mencionar que a las 24 horas de nuevo el pH de todas las densidades es de 7.5 y se mantuvo constante hasta las 30 horas. Las barras verticales en la figura 9a indican la desviación estándar de los datos.

Los resultados de pH obtenidos mediante el potenciómetro se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías no paramétrico (Anexo: Tabla VI), obteniendo que la diferencia entre las medias de los tratamientos fue mayor que la esperada, por lo que existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las proporciones utilizadas y también en los resultados de pH en función del tiempo ( $P < 0.001$ ).

Además se tomaron como referencia mediciones de pH mediante indicadores de papel, estos datos son presentados en la Figura 9b. Las oscilaciones en las lecturas de pH son similares en las primeras 12 horas y después se tienen diferentes variaciones, se tuvieron valores en el intervalo de 7 a 7.5.

Se analizó estadísticamente los resultados de pH obtenidos por los indicadores de papel, aplicando un análisis de varianza de dos vías (Anexo: Tabla VII), obteniendo que la diferencia entre las medias de las proporciones utilizadas no fue suficientemente grande para excluir que la diferencia sea debido a variabilidad de muestreo, por lo que no existió diferencia significativa entre las proporciones utilizadas ( $P > 0.05$ ). Mientras que la diferencia en las medias de los valores en el tiempo si fue mucho mayor a la esperada, por lo que existió diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) entre los valores de pH a través del tiempo.

### Experimento 3

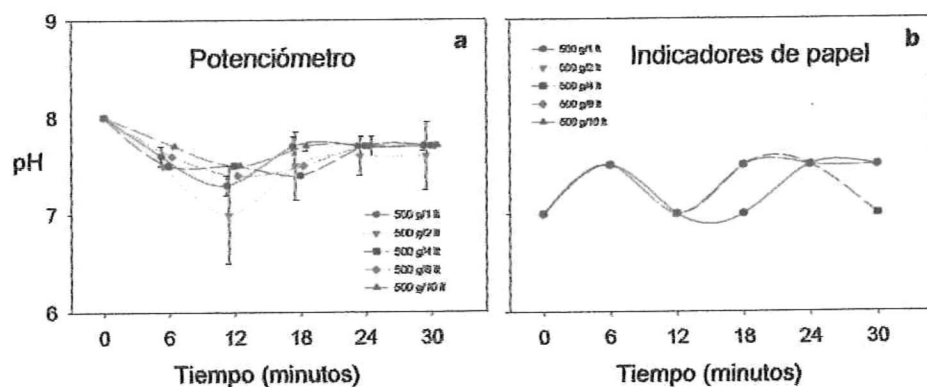
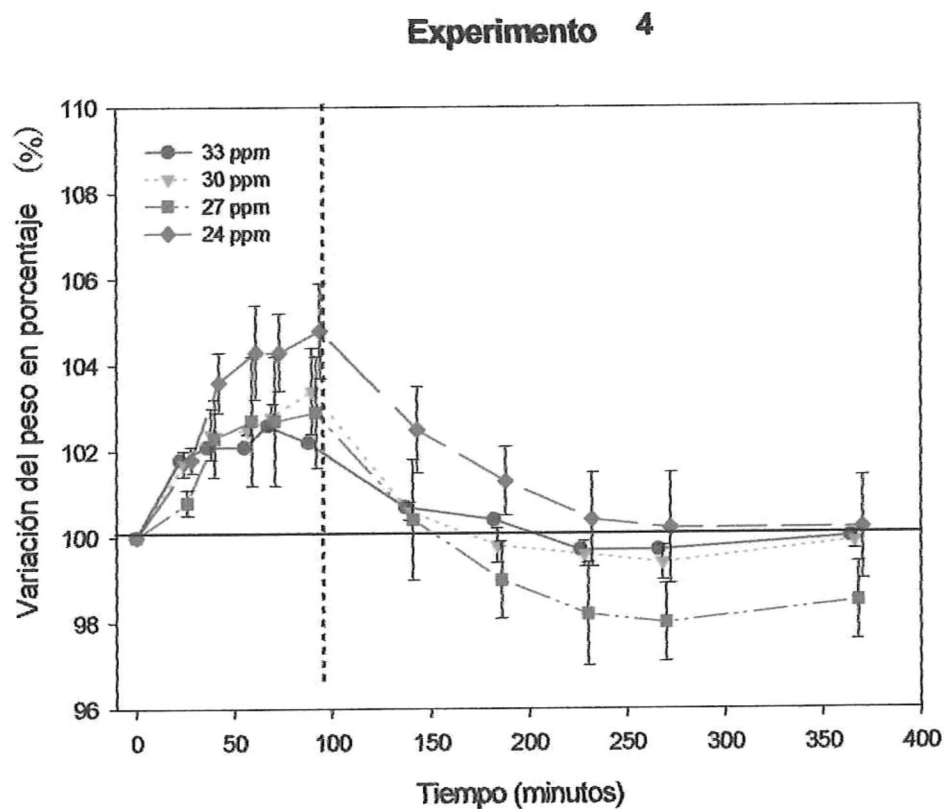


Fig. 9. Comparación en la variación del pH, mediante potenciómetro (a) e indicadores de papel (b), en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen.

### 3.5. Experimento 4

#### 3.5.a. Evaluación del efecto del agua de mar diluida.

El efecto medido del experimento realizado en agua de mar diluida fue la variación del peso de las langostas, expresado en porcentaje con respecto al peso inicial (Figura 10).



**Fig. 10.** Variación del peso promedio de langosta roja *Panulirus interruptus* en condiciones hiposmóticas distintas, en función del tiempo. Las barras verticales indican la desviación estándar. La línea vertical indica el momento en que las langostas fueron regresadas a agua de mar a 35 ppm.

La salinidad de 33 ppm es la que tuvo menor influencia sobre la capacidad osmótica de las langostas haciendo que su peso variara menos que en las otras salinidades aumentando solamente 2.5 % de su peso normal. Al ser regresada al agua de mar a salinidad de 35 ppm, esta langosta perdió el agua que acumuló en su cuerpo en los primeros 45 minutos y recuperó rápidamente su peso inicial.

Las langostas colocadas en el recipiente con agua de mar a 30 ppm tuvieron un comportamiento similar a la anterior, solamente que en este caso resultó un aumento en su peso del 3.5 %. De igual manera, después de que enfrentó a la condición hiposmótica perdió peso y bajó a menos del 1% de su peso inicial. Sin embargo, estadísticamente los resultados de estas dos langostas fueron diferentes ( $P = 0.05$ ).

En 27 ppm los organismos aumentaron su peso en proporciones similares al de las langostas en las condiciones anteriores (3 % de su peso). Sobresale cuando son regresadas al agua con salinidad de 35 ppm y que empiezan a perder peso hasta en un 2 % que es la cantidad mayor en comparación con los demás organismos. En la gráfica se muestra que después de los 270 minutos en agua de mar a 35 ppm los animales apenas comienzan a recuperar peso.

Las langostas que se tenían en 24 ppm fueron las que aumentaron más su peso hasta un 5 %. Estas langostas al haber sido regresadas al agua de mar natural (35 ppm) fueron las que disminuyeron menos en su peso, de tal manera que durante los 370 minutos del experimento no lograron recuperar su peso inicial. De haber prolongado el tiempo de medición el peso de estos organismos hubiéramos encontrado que regresan a su peso inicial.

A las variaciones de los pesos se les aplicó un análisis de varianza no paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis, donde se obtuvo que las diferencias entre los valores de las medias de los tratamientos es mayor de la esperada, por lo que existe diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) dentro de los niveles analizados (Tabla VIII en Anexo).

### 3.6. Experimento 5

3.6.a. Abatimiento de oxígeno disuelto presente en función de del tiempo en condición ligeramente hiposmótica.

Se aplicó la metodología del experimento 1 con agua de mar a 33 ppm. Es importante mencionar que en este experimento se eliminó la primera densidad experimental (500 g/1 lt). Este experimento se realizó por duplicado.

Primeramente, se obtuvieron los pesos de las langostas para conocer la biomasa total y la biomasa promedio que se utilizó en cada recipiente experimental en el volumen correspondiente (Tabla V).

**Tabla V.** Biomasa total y promedio de las langostas utilizadas en el experimento 5, en cada recipiente experimental.

	DENSIDAD PROPUESTA							
	500/2 lt		500/4 lt		500/8 lt		500/10 lt	
Biomasa total (g)	1654	1654	1657	1746	1135	1342	1075	1034
Biomasa promedio/volumen	551		567		619		527	
Desviación Estándar	± 0.05		± 14.9		± 51.58		± 10.29	

Los datos de oxígeno disuelto del experimento 5 son presentados en la Figura 11. En la gráfica se muestra el abatimiento del oxígeno disuelto, el cual es más rápido cuando se maneja una densidad más alta de organismos.

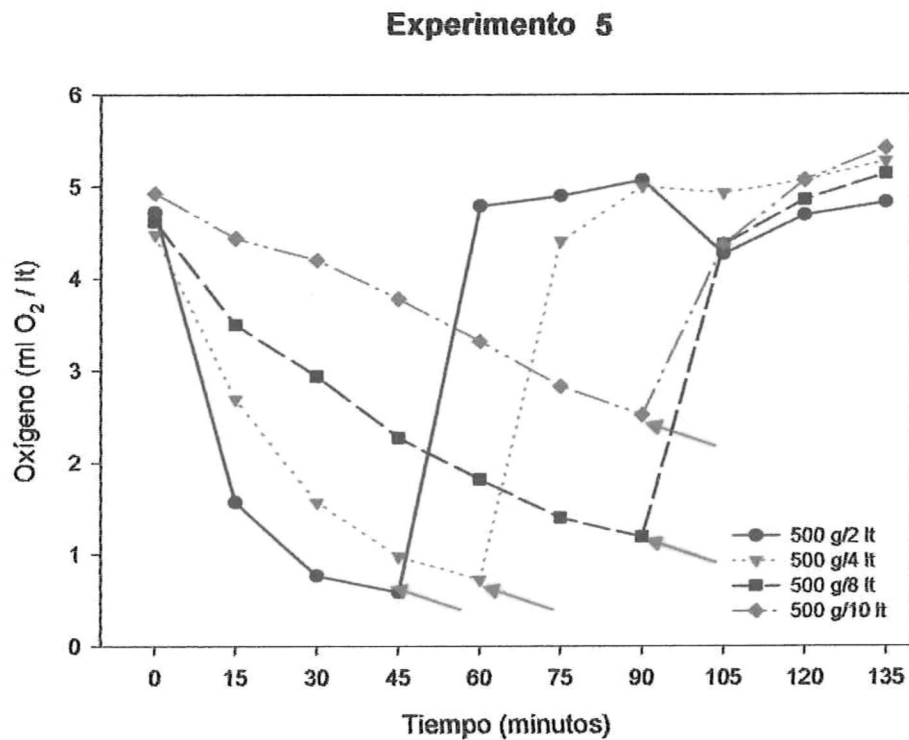


Fig. 11. Abatimiento del oxígeno disuelto en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen de langosta roja *Panulirus interruptus* (experimento 5 a 33 ppm). Las flechas rojas indican el momento en que se aplicó aireación.

En la primera proporción de 500g/2 lt el abatimiento del oxígeno se llevó a cabo durante los primeros 15 minutos. El descenso en la concentración de oxígeno durante estos primeros 15 minutos fue grande, de 4.7 a 1.6 ml O<sub>2</sub>/lt, sin embargo, después de este tiempo la disminución fue menor y se registró el mismo comportamiento que al llegar a niveles menores a 1 ml O<sub>2</sub>/lt, la reducción en la concentración de oxígeno disuelto en el agua fueron mínimas al igual que en los experimentos anteriores.

En la siguiente proporción (500 g/4 lt) se obtuvo una tendencia similar en el abatimiento del oxígeno disuelto, solamente que durante los primeros minutos la disminución en la concentración de oxígeno fue menor, de 4.7 a 2.7 ml O<sub>2</sub>/lt.

A diferencia de las densidades de 500 g/2 lt y 500 g/4 lt, en las últimas dos proporciones (500 g/8 lt y 500 g/10 lt) el abatimiento de oxígeno fue más lento que en las primeras densidades porque no se alcanzaron niveles menores a 1 ml O<sub>2</sub>/lt durante los 90 minutos de experimentación.

En la misma figura 11 se grafica la rapidez con la que los valores de oxígeno disuelto se recuperaron después del momento en que se aplicó aireación y como todos llegaron a los niveles de saturación a los 135 minutos.

A las proporciones de 500 g/8 lt y 500 g/10 lt se les aplicó aireación hasta los 90 minutos y que en el caso de la condición de 500 g/8 lt si se pasó del 30% de oxígeno disuelto en el agua.

Se aplicó un análisis de varianza de dos vías (Tabla IX en Anexo) para analizar los resultados de oxígeno disuelto del experimento 5, donde resultó que la diferencia en los valores de las medias de los distintos niveles evaluados fue

mayor que la esperada, por lo que existió diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) entre las densidades manejadas; además en el tiempo transcurrido, la diferencia de las medias fue suficientemente grande para excluir la posibilidad de que sea debida a variabilidad aleatoria, resultando también una diferencia significativa ( $P < 0.001$ ).

### 3.6.b. Acumulación de amoníaco en función del tiempo en condición ligeramente hiposmótica (33 ppm)

Los resultados de acumulación de amoníaco del experimento a salinidad reducida (33 ppm) se muestran en la Tabla VI, se compararon los resultados analizados con el método azul de indofenol, los obtenidos con el kit colorimétrico comercial (LaMotte®) y de los indicadores de amoníaco para acuarios.

**Tabla VI.** Comparación de tres métodos de medición de la acumulación de amoníaco ( $\text{mg NH}_3 / \text{lt}$ ) de la langosta roja *Panulirus interruptus* analizados en el experimento 5 a 33 ppm.

Tiempo (horas)	M É T O D O											
	Azul De indofenol Densidad				Kit comercial Marca LaMotte® Densidad				Etiquetas Para acuarios Densidad			
	500 g/2 lt	500 g/4 lt	500 g/8 lt	500 g/10 lt	500 g/2 lt	500 g/4 lt	500 g/8 lt	500 g/10 lt	500 g/2 lt	500 g/4 lt	500 g/8 lt	500 g/10 lt
0	0.08	0.08	0.08	0.08	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05
6	1.51	1.48	1.05	0.57	2	2	1.0	0	0.05	0.05	0.05	0.05
12	1.43	2.44	1.61	0.84	6.5	5.8	2.5	0.5	0.18	0.05	0.05	0.05
18	1.48	7.13	2.04	0.96	>8	>8	3.3	1.3	0.50	0.28	0.15	0.05
24	7.54	8.58	2.06	1.17	>8	>8	4.5	1.8	0.50	0.50	0.18	0.05
30	8.20	9.65	13.04	1.28	>>8	>>8	7.0	1.8	0.50	0.50	0.25	0.05

En la tabla VI se presentan los resultados del método azul de indofenol, durante las primeras 12 horas se alcanzaron valores bajos de concentración de amoníaco, el valor máximo en esta hora fue de 2.5  $\text{mg NH}_3 / \text{lt}$  en la segunda proporción experimental, lo cual fue similar al experimento 2 a 35 ppm, donde los valores máximos en esa misma hora fueron de 2  $\text{mg NH}_3 / \text{lt}$ .

Es importante resaltar de los resultados del método del azul de indofenol, que en la densidad de 500 g/ 4 lt se presentó un aumento en la concentración de amoníaco a las 18 horas acumulando 7.13  $\text{mg NH}_3 / \text{lt}$  (Tabla

VI), en este mismo tiempo la proporción de 500 g/2 lt alcanzó solamente una concentración de 1.5 mg  $\text{NH}_3$ /lt.

La densidad de 500 g/ 8 lt tuvo un aumento en la concentración de amoníaco alcanzando un total de 13 mg  $\text{NH}_3$  /lt a las 30 horas, siendo éste el valor máximo obtenido en este experimento.

Mediante un análisis de varianza de dos vías (Anexo: Tabla X) se evaluó el efecto de la proporción de biomasa/volumen y el tiempo sobre la acumulación de amoníaco de los resultados del método azul de indofenol. Los resultados del análisis indican que la diferencia en los valores de las medias de los tratamientos fue mayor que la esperada, por lo que existió un efecto significativo ( $P = 0.015$ ) de la proporción de biomasa que se mantenga en un volumen y del tiempo ( $P < 0.001$ ) sobre la acumulación de amoníaco en los recipientes en donde se tuvieron las langostas.

En las mediciones de la acumulación de amoníaco mediante el kit colorimétrico comercial (LaMotte®), se encontraron valores que sobrepasaron los valores que el kit puede valorar. Sin embargo en comparación con el experimento 3 a 35 ppm las concentraciones del experimento 5 fueron menores.

No se consideró necesario analizar estadísticamente los resultados del kit colorimétrico (LaMotte®) ya que los valores no fueron suficientemente finos. Sin embargo, es evidente que al menos uno de los tratamientos, como el tiempo de exposición a las condiciones manejadas, resultó distinto.

También se llevaron a cabo mediciones mediante indicadores de amoníaco para acuarios, en donde es notable que en la condición de 500 g/ 10 lt no hubo un cambio en las concentraciones de amoníaco (Tabla VI).

En las primeras 6 horas no se observó ningún cambio en la concentración de amoníaco en todas las proporciones.

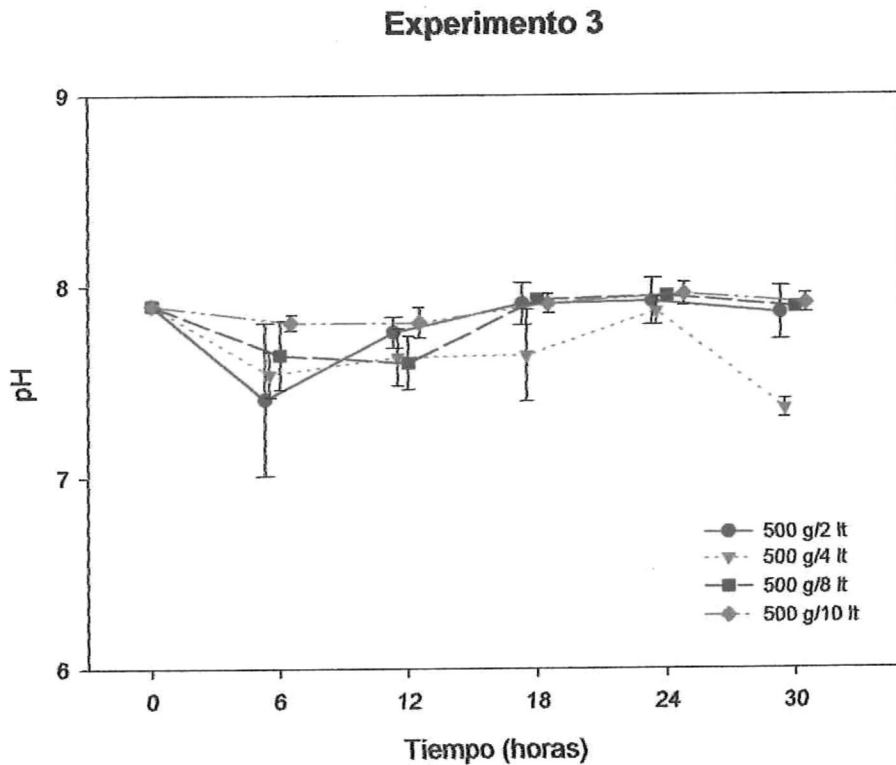
Es importante resaltar en que en la tabla VI los valores de la primera proporción (500 g/2lt) variaron de 0.2 a 0.5 mg/l en 6 horas, además la densidad siguiente también mostró cambios rápidos en la concentración de amoníaco, solamente que al llegar al límite de la concentración que marcan los indicadores no fue posible conocer que tanto había aumentado el amoníaco en los recipientes.

La condición de 500 g/ 8lt presentó un aumento en la concentración de amoníaco con respecto al tiempo y según éste método los valores no alcanzaron la concentración máxima que puede valorar. De igual manera se observó que en la última densidad la concentración analizada con estos indicadores no tuvo ningún cambio en función del tiempo.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos por los indicadores siempre fueron menores que los obtenidos con los otros dos métodos, no solamente en el aspecto de que los indicadores tienen un límite muy bajo de medición, sino que también resultaron concentraciones muy bajas como en el caso de la proporción de 500 g/10 lt, donde el indicador valoró una concentración que no sobrepasa los 0.5 ppm, cuando los resultados obtenidos por el método de azul de indofenol demostraron que hubo una acumulación mayor a los 0.5 ppm, ya que a partir de las 12 horas la concentración fue de 0.84 ppm hasta alcanzar los 1.28 ppm en las 30 horas.

Se midió el pH solamente con el potenciómetro (Figura 12). Las variaciones fueron menores con respecto a las encontradas en el experimento 3.

Se observaron dos únicas anomalías, dos disminuciones en los valores de pH a las 6 y a las 30 horas, para las proporciones de 500 g/2 lt y 500 g/4 lt. Fuera de éstas, las variaciones oscilaron entre valores de 7.5 y 8.



**Fig. 12.** Valor promedio de pH en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen. Las barras verticales en cada punto indican la desviación estándar de las mediciones.

Los resultados de pH de este experimento se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza de dos vías (Anexo: Tabla XI) de donde se obtuvo que la diferencia entre las medias de los tratamientos fue mayor a la esperada, por lo tanto existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las proporciones utilizadas y entre los tiempos medidos ( $P < 0.05$ ). En este caso la diferencia en las medias de la interacción entre los tratamientos no fue suficientemente grande para excluir que sea debido a la variabilidad de muestreo, por lo tanto no existió diferencia significativa ( $P > 0.05$ ).

## 4. DISCUSIONES

### 4.1. Abatimiento de oxígeno disuelto presente en función del tiempo.

El oxígeno disuelto determinado en el experimento previo, al suspender la aireación (Figura 5) describió un claro descenso en la concentración de oxígeno durante los primeros 60 minutos de experimentación, encontrando valores mínimos de 1.1 mg O<sub>2</sub> / lt. Este valor se encuentra por debajo de los valores que Bayer *et al.* (1998) mencionan como tolerantes para la sobrevivencia de las langostas, el cual es de 2 ppm. Por lo que el valor obtenido en este experimento a los 60 minutos sin aplicar aireación, se considera como crítico.

Las langostas presentaron además, una disminución en el consumo de oxígeno, el cual se describe con la disminución en las variaciones de oxígeno disuelto a través del tiempo. De acuerdo a esto, se espera que las langostas sometidas en estas condiciones hayan presentado una alteración en sus funciones biológicas debido a la baja disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua. Al respecto, Batterton y Cameron (1978) demostraron en estudios realizados en cangrejos, la existencia de ajustes en el sistema respiratorio mediante un incremento en el flujo de la ventilación para compensar niveles bajos de oxígeno presente en el agua.

Por otra parte, Ortiz Viveros (1996) obtuvo en sus experimentos que la langosta roja presentó una disminución en el consumo de oxígeno debido a cambios en la temperatura, en donde asumió una disminución en las funciones biológicas de la langosta *Panulirus interruptus*; estas alteraciones pueden

presentarse como una baja en la frecuencia de agitación del escafognatito y una disminución en la circulación sanguínea. Con esto se asume que las langostas analizadas en este experimento se enfrentaron también a algún tipo de alteraciones biológicas.

A su vez, el abatimiento del oxígeno disuelto dependió del tiempo en que se mantuvieron a los organismos en estas condiciones con una significancia del 95%. En el experimento preliminar donde solamente se manejó una sola proporción experimental se llegó a concentraciones críticas en valores cercanos a 1 mg O<sub>2</sub> / lt a los 60 minutos. Esto sugiere que de utilizarse esta proporción experimental en un sistema de mantenimiento sin aireación los organismos se enfrentarían a alteraciones fisiológicas en 60 minutos disminuyendo la probabilidad de sobrevivencia a la exposición aérea durante su transportación. Tomando en cuenta que las langostas utilizadas en las empacadoras son mantenidas en estas condiciones durante aproximadamente 6 horas, sería conveniente reestablecer la aireación, de esta manera no se verían enfrentados a concentraciones bajas de oxígeno disuelto en el agua del sistema y aseguraría un mejor mantenimiento de los organismos al no haber alteraciones en sus funciones fisiológicas.

En el experimento 1 realizado a 35 ‰ (Figura 6), donde se manejaron distintas proporciones se tuvo una disminución del oxígeno disuelto en función de las proporciones de biomasa/volumen utilizado con una significancia del 95 %, por lo que las variaciones en las densidades experimentadas tienen un efecto sobre el consumo de oxígeno de los organismos; mientras menor fue el volumen de agua utilizado, el abatimiento del oxígeno disuelto fue más rápido y

las langostas enfrentaron concentraciones bajas de oxígeno, en este caso también se asume que los organismos sufrieron alguna alteración como el aumento en el flujo de agua por las branquias o bien un aumento en la frecuencia cardiaca, para tratar de mantener un suministro de oxígeno mínimo para sus funciones metabólicas básicas (Bayer *et al.*, 1998).

Van Weel *et al.* (1954) estudiaron siete especies de cangrejos y reportan que la razón de consumo de oxígeno de los organismos era independiente de la concentración de oxígeno en el ambiente hasta que se alcanzaba un nivel crítico, en este punto el patrón de respiración se volvió dependiente del oxígeno presente en el medio; todas las especies analizadas mostraron un gran incremento en la demanda de oxígeno en concentraciones menores a 2.5 ml / lt. Esta respuesta fue interpretada por los autores como un intento de los organismos por asegurar una cantidad mínima de oxígeno para los procesos de oxidación cuando se encontraban en bajas concentraciones. Por lo anterior asumimos que en las langostas sucedió una respuesta similar para poder enfrentar las bajas cantidades de oxígeno disuelto.

En las primeras proporciones se utilizó un volumen menor de agua con el mismo número de langostas, esto explica porque se encontraron valores mínimos de concentración de oxígeno disuelto en los primeros 30 minutos, ya que en las siguientes proporciones se utilizó un mayor volumen y las concentraciones mínimas se encontraron a los 50 minutos (500 g/4 lt) y a los 90 minutos (500 g/8 lt). Por lo tanto, mientras mayor sea el volumen de agua en el sistema de mantenimiento, el abatimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto sucede más lentamente, debido a la relación que existe en el

intercambio que se da por difusión del oxígeno presente en el aire con el oxígeno disuelto en el agua, conociendo que la relación entre el oxígeno encontrado en el agua es 1/30 en comparación con el presente en el aire (Cameron y Mágnun, 1983). Por lo tanto, en volúmenes pequeños como los utilizados en las primeras proporciones de este experimento (3 y 6 litros), el intercambio gaseoso aire-agua no fue suficiente, porque fue consumido rápidamente por las langostas y no se logró equilibrar la concentración del agua con la del aire, teniendo entonces una demanda de oxígeno por parte de las langostas para poder satisfacer su respiración. Ahora bien, cuando se tuvo un volumen mayor de agua el intercambio de oxígeno del aire al agua fue suficiente para permitir un mayor tiempo en que se pudiera mantener a las langostas sin aireación por 50 minutos en 500 g/4 lt y hasta 90 minutos como en 500 g/8 lt.

Es importante notar que las concentraciones mínimas de oxígeno disuelto en el primer experimento a 35 ‰ fueron mayores a 2 ml O<sub>2</sub>/lt (Figura 6). Existió un nivel de concentración de oxígeno cercano a los 2 ml O<sub>2</sub>/lt a partir del cual las langostas minimizaron su consumo de oxígeno. Esto coincide con los valores mínimos mencionados por Bayer *et al.* (1998) y por Van Weel (1954), que se encuentran en concentraciones de 2 y 2.5 ml O<sub>2</sub> / lt, respectivamente. Para ratificar la existencia de un nivel mínimo de concentración de oxígeno donde las langostas disminuyen su consumo de oxígeno, en la gráfica se encuentra que los dos últimos valores antes de aplicar aireación en las primeras tres proporciones se registraron variaciones menores a 1 mg O<sub>2</sub>/lt, inclusive en la última proporción a partir de los 60 minutos de medición las variaciones son menores a

1 mg O<sub>2</sub> / lt. Por lo que se infiere que una concentración de 2 mg O<sub>2</sub> / lt es un nivel mínimo para langostas mantenidas en estas condiciones.

En el experimento 2 a 35 ‰ (Figura 7), se varió la concentración inicial de oxígeno disuelto para evaluar si iniciando las mediciones en los niveles mínimos mencionados anteriormente las langostas tendrían el mismo comportamiento en el consumo de oxígeno. En las primeras dos proporciones experimentales el valor inicial fue de 2 ml O<sub>2</sub>/lt, la condición de 500 g/4 lt se inició con 3 ml O<sub>2</sub>/lt y las últimas dos tuvieron concentraciones iniciales mayores a 4 ml O<sub>2</sub>/lt.

De acuerdo a los resultados, las langostas sometidas a concentraciones iniciales cercanas a 2 ml O<sub>2</sub>/lt lograron consumir 1.2 ml O<sub>2</sub>/lt durante los primeros 15 minutos, esta fue la mayor diferencia en las concentraciones de oxígeno tomadas, en los siguientes 15 minutos de medición la diferencia fue de 0.2 ml O<sub>2</sub>/lt. Esto indica que los organismos capturaron la mayor cantidad de oxígeno en los primeros minutos de medición y después de haber llegado a valores de 0.5 ml O<sub>2</sub>/lt su metabolismo debió disminuir para compensar la casi nula disponibilidad de oxígeno disuelto, de tal manera que las langostas se vieron enfrentadas no solamente a concentraciones mínimas sino a concentraciones críticas en las que los valores de oxígeno llegaron a ser casi cero. Con respecto a lo anterior, existe la evidencia de que las langostas tienen la capacidad de captación de oxígeno aún en niveles muy bajos de oxígeno disuelto.

En la proporción de 500 g/4 lt se encontró el mismo comportamiento, durante los primeros 15 minutos las langostas consumieron oxígeno mostrando una diferencia en las concentraciones de 1.4 ml O<sub>2</sub>/lt, en la siguiente medición la

diferencia fue menor llegando a valores de 0.8 ml O<sub>2</sub>/lt concentración a partir de la cual se presenta por debajo del nivel mínimo y por lo tanto su consumo comienza a ser menor que en el inicio. Respecto a lo anterior, Crear y Forteath (2001) encontraron una respuesta de *Panulirus cygnus* que actúa como un oxiregulador cuando fue sometida a bajas concentraciones de oxígeno hasta que se encuentra a un nivel crítico de oxígeno por debajo del cual el consumo disminuye linealmente con la concentración de oxígeno.

De acuerdo a los resultados encontrados del abatimiento de oxígeno disuelto, con respecto a la biomasa/volumen, es menos riesgoso utilizar las proporciones donde se mantenga una densidad baja de langostas, ya que estas condiciones proporcionan un tiempo mayor, hasta por 90 minutos, para que se lleve a cabo el abatimiento del oxígeno disuelto en los recipientes donde sean resguardadas. Sin embargo, en un cultivo de langosta o bien en un sistema de mantenimiento, el propósito es manejar proporciones altas de langostas por unidad de volumen, por lo tanto el manejo de las proporciones de 500 g/ 8 lt y 500 g/ 10 lt no serían recomendables por la infraestructura necesaria para aumentar en el volumen de agua de mar. En este caso, cuando se maneje un volumen menor de agua lo más recomendable es emplear aireación suficiente.

Apoyando lo anterior, Crear y Forteath (2001) mencionan que para asegurar una disponibilidad de oxígeno suficiente para las langostas, se requiere un incremento en el volumen de agua de acuerdo a como se incremente la densidad de las langostas o la temperatura del agua. La aireación u oxigenación reducirá significativamente el volumen necesario e incrementará la capacidad máxima de densidad de organismos en un volumen de agua dado.

Es importante mencionar que las variaciones del pH medidas mediante los indicadores de papel no presentaron diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre las distintas proporciones pero sí durante el tiempo de experimentación ( $P < 0.001$ ). De manera similar en los resultados obtenidos por el potenciómetro demuestran que sí existió diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) durante el tiempo, sin embargo las mediciones con el potenciómetro muestran que también existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las distintas proporciones utilizadas. Randall *et al.*, (1997) mencionan que cuando el pH disminuye la afinidad de los pigmentos respiratorios disminuye, lo cual se conoce como efecto de Bohr, esto debido a varios factores como el aumento en el  $\text{CO}_2$  y de la temperatura. En nuestro caso la temperatura fue constante en cada experimento, por lo que asumimos que el  $\text{CO}_2$  pudo ser el factor incidente haciendo que el pH disminuyera. Sin embargo de haberse presentado el efecto de Bohr éste debió desaparecer porque valores de pH se vuelven estables conforme transcurrió y regresan a los valores iniciales.

#### 4.2. Acumulación de amoníaco en función del tiempo.

Los crustáceos marinos y de agua dulce excretan productos nitrogenados en forma de amoníaco y esto permite una manera complementaria de medir su metabolismo (Hunter y Uglow, 1993). Debido a su tamaño molecular y su alta solubilidad el amoníaco se puede difundir fácilmente a través de las membranas biológicas de los organismos, el cual es liberado al medio exterior por las branquias (Parry, 1960; Kormanik y Cameron, 1981; Claybrook, 1983; Schmitt, 1983).

Cuando los crustáceos son expuestos a medios con niveles de amoníaco disuelto mayores a la concentración en la hemolinfa, se puede presentar que la difusión de este compuesto no se lleve a cabo de manera pasiva a través de la glándula verde o de las branquias; sino que debido a la concentración externa la difusión se vuelve activa, o bien el amoníaco comienza a incorporarse dentro del organismo por distintas entradas como pueden ser las branquias, provocando que los niveles de amoníaco en la hemolinfa aumenten (Schmitt y Uglow, 1997).

En los experimentos realizados en este trabajo se mantuvieron langostas en sistema cerrado por 30 horas en agua de mar a 35 ‰ con aireación constante. Las muestras fueron tomadas del agua en donde se encontraban las langostas para determinar la acumulación del amoníaco excretado por los organismos.

Los resultados muestran un incremento en las concentraciones de amoníaco en el agua en función del tiempo y de la proporción biomasa/volumen (Figura 8). En este caso las langostas estuvieron en diferentes volúmenes de agua resultando que entre menor fue el volumen en que se mantuvieron los organismos mayor fue la concentración de amoníaco. Esto debido a acumulación de este compuesto en el agua muestreada y a la densidad de langostas que fueron empleadas.

Como se mantuvo un sistema cerrado, los organismos enfrentaron concentraciones altas de amoníaco que ellos iban excretando. Schmitt y Uglow (1997) realizaron experimentos sometiendo langostas (*Nephrops norvegicus*) en recipientes con agua con concentraciones de amoníaco de 500, 1000, 2000 hasta 4000  $\mu\text{mol} / \text{lt}$ , valores que corresponden a 8.5, 17, 34 y 68 ppm, respectivamente; obteniendo que los organismos no fueron capaces de equilibrar el nivel interno

con el externo, ya que en los recipientes con niveles mayores a los 500  $\mu\text{mol} / \text{lt}$  los organismos solamente pudieron mantener el 30% de la concentración externa. Los autores sugieren que las langostas tienen un mecanismo regulador para eliminar y/o transformar el amoníaco acumulado en la hemolinfa.

De acuerdo a lo anterior se propone que la concentración de amoníaco dentro de los organismos se incrementó también a través del tiempo y que los organismos expuestos a estas condiciones no fueron capaces de controlar la excreción de amoníaco, por lo tanto los organismos continuaban liberando el compuesto pudiendo llegar a valores en donde el amoníaco del medio fuera tóxico para ellos mismos.

En el experimento 2 de este trabajo (Figura 8) se encontró una ligera disminución en la acumulación de amoníaco, en la proporción 500 g/1 lt utilizada. La razón posible para que el amoníaco disminuyera quizás fue debida a la presencia de bacterias dentro de los recipientes experimentales, las cuales realizaron el proceso de nitrificación. Esta es solamente una posibilidad, ya que en las proporciones restantes y en los otros experimentos no se volvió a presentar este suceso. Además, se asume que la superficie de fijación posible de las bacterias fueron las mallas de plástico utilizadas para la separación de los organismos, de tal manera que al no ocurrir lo mismo en los demás experimentos, se argumenta una nitrificación poco efectiva.

Estadísticamente existió una mayor influencia del tiempo sobre la acumulación de amoníaco que de la proporción que se utilice.

Los resultados de estos experimentos fundamentan que la proporción de 500 g/4 lt es en la que las langostas no se ven enfrentadas a concentraciones altas

en el medio externo, sino hasta después de las 24 horas. Comparando las primeras proporciones utilizadas, en la Figura 8 se presenta que a las 18 horas en la primer proporción (500 g/1 lt) se obtienen valores mayores a los 10 mg  $\text{NH}_3$  / lt, mientras que en la siguiente proporción de biomasa/volumen a las 24 horas ya se tenían registrados valores mayores a los 10 mg  $\text{NH}_3$  / lt.

En el experimento 3 (Tabla IV), la proporción utilizada de 500 g/2 lt generó valores de 6 mg  $\text{NH}_3$  / lt a las primeras 6 horas y los valores mayores a 10 mg  $\text{NH}_3$  / lt en la misma condición se alcanzaron a las 18 horas de experimentación. Lo anterior demuestra que la proporción menor que mantiene un mayor tiempo en que las concentraciones de amoníaco acumulado lleguen a ser tóxicas para los organismos, fue la de 500 g/ 4 lt.

Por otra parte, es importante tomar en cuenta que en los almacenes de mantenimiento se busca ahorrar espacio y volumen por lo que las densidades mayores a 500 g/4 lt generalmente no son utilizadas, ya que implican un mayor volumen de agua. Además, el tiempo en que las langostas son mantenidas en los sistemas de mantenimiento es de aproximadamente 4 a 6 horas. Si se utilizan las primeras proporciones de biomasa/volumen es posible que no se alcancen niveles tóxicos de amoníaco, sin embargo, sería más conveniente asegurar un mayor tiempo en que estos niveles lleguen a ser alcanzados.

En los experimentos realizados por Chen y Chen (1991) encontraron una acumulación de amoníaco en la hemolinfa de *Penaeus japonicus* durante emersión, el cual se asoció con bajos índices de sobrevivencia. A su vez, Regnault (1987) encontró en *Cancer pagurus* un aumento en la concentración de la hemolinfa durante la emersión alcanzado valores de 0.63 mmol / lt, el autor

mencionó que parte del amoníaco producido fue almacenado en algún compartimiento o fue usado para la síntesis de aminoácidos para reducir la carga de amonia en la hemolinfa.

A pesar de que en este experimento no se analizó la concentración de amoníaco en la hemolinfa, se asume que los organismos tuvieron un incremento en su concentración interna de amoníaco. Sin embargo, como las langostas estuvieron constantemente liberando este compuesto hacia el agua, ya que en estos experimentos el medio siempre estuvo presente no como en los experimentos de Chen y Chen (1991) y Regnault (1987), también se esperaría que los organismos no pudieran encontrar un balance entre la concentración interna con la externa. De tal manera que si el tiempo de medición se hubiera extendido, los niveles de amoníaco excretado hubieran sido letales para los organismos, provocando que debido a la saturación de amoníaco en el medio no pudieran excretar el compuesto y lo fueran acumulando en su interior, consecuentemente estas condiciones traerían la muerte de los organismos. Esto se sustenta también con lo mencionado por Young-Lai *et al.* (1991) en Ortiz-Viveros (1996), la difusión de amonio de los crustáceos hacia el medio es pasiva, ya que la concentración interna de amonio en la hemolinfa es varios órdenes de magnitud mayor que la del medio ambiente, únicamente cuando la concentración del medio es mayor la difusión se vuelve activa. Ortiz-Viveros (1996) encontró también que las langostas después de haber sido sujetas a emersión presentaron una excreción de amonio de *Panulirus interruptus* no lineal en el tiempo asumiendo que el proceso de excreción se da por difusión pasiva.

Por lo tanto, con los resultados encontrados de la acumulación de amoníaco en el medio en donde se encontraron las langostas, se puede establecer que durante las primeras horas los organismos presentaron un proceso de excreción de amonia por difusión pasiva y posteriormente se vieron enfrentados a concentraciones donde la difusión no podía darse de manera pasiva sino activa, esto debido a que las concentraciones iban aumentando y pudieron llegar a ser mayor que la concentración interna de los organismos.

El análisis comparativo de los tres métodos de valoración de amoníaco demuestra que la manera más rápida de obtener resultados de amoníaco y con datos confiables es el método colorimétrico comercial (LaMotte®), ya que el método azul de indofenol requiere de un mayor tiempo para obtener los resultados.

Los valores obtenidos por el kit comercial (LaMotte®) (Tabla IV y VI) fueron los que concuerdan más con los obtenidos con el azul de indofenol a pesar de que se obtuvieron valores mayores a los que el rango del kit puede medir.

Algo importante es que los valores registrados por los indicadores de acuario fueron siempre menores, pero esto no solamente debido a que el intervalo de medición es menor sino que también arroja datos como si no llegara a tener mayores concentraciones por ejemplo en la proporción 500 g/10 lt donde este método sugiere que la concentración no sobre pasó de 0.28 ppm (Tabla IV) y 0.05 ppm (Tabla VI) y con el método azul de indofenol y el colorimétrico comercial (LaMotte®) resultaron valores mayores esto puede ser debido a la precisión de los indicadores ya que es menor a la del kit colorimétrico y del

método azul de indofenol. De tal manera que como el método subestima los valores de amoníaco no es confiable utilizarlo en los laboratorios de empaque de langostas ya que se correría el riesgo de mantener a los organismos en niveles de amonia altos sin conocer el valor real.

#### 4.3. Evaluación del efecto de agua de mar a 33 ‰.

Del experimento realizado en agua de mar diluida se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 10, los cuales describen cómo las langostas al de haber sido sometidas a un estrés hiposmótico aumentaron su peso conforme a lo esperado al estar en agua de mar diluida, ya que la familia a la que pertenece *P. interruptus*, se caracteriza por ser organismos osmoconformes, esto quiere decir que la concentración de sus fluidos corporales cambian de acuerdo con la variación de la concentración del medio (Cobb y Phillips, 1980).

Jury *et al.* (1994) demostraron que organismos adultos de la langosta americana *Homarus americanus* son capaces de sentir y evitar áreas de salinidad reducida, de tal manera que cuando los organismos tenían la libertad de moverse a través de zonas de salinidades altas y bajas, la mayoría seleccionaba zonas evitando las salinidades bajas. Sin embargo, en este experimento los organismos se encontraron a salinidad constante, por lo tanto, se esperó encontrar algún efecto sobre la capacidad osmótica de las langostas, en este caso se midió el efecto sobre el peso de los organismos.

Las langostas que estuvieron a 24 ppm fueron las que sufrieron un mayor aumento en su peso, ya que cuando se mantuvieron en agua de mar a 35 ‰ la

concentración interna estaba en equilibrio con la externa, y comparada con la concentración del agua del recipiente experimental (24 ppm) los organismos se enfrentaron a una concentración externa menor a la que se encontraban, por lo tanto, intentaron disminuir su concentración interna acumulando agua en su cuerpo para lograr un equilibrio con la salinidad del agua.

Dufort *et al.* (2001) encontraron en la langosta americana *H. americanus* que la osmolaridad de la hemolinfa había bajado después de someterse a variaciones de salinidad de 32 a 22 ‰ durante 16 minutos, esto corrobora que los organismos al encontrarse en un medio hiposmótico varían su concentración interna.

Los organismos que se analizaron en las demás salinidades también aumentaron su peso en comparación de su peso inicial, lo cual indica que en todos los casos las langostas incorporaron agua en su interior de modo que su concentración interna tiende a niveles similares de la salinidad externa.

Al momento de ser regresadas al agua de mar, las langostas sometidas a 33 ‰ tardaron de dos y media horas para regresar a su peso inicial, esto indicó que los organismos se vieron sometidos a un estrés hiposmótico capaz de controlar en un corto plazo.

Lo que corresponde a la langosta de 27 ‰ al ponerla de nuevo en agua de mar normal continuó disminuyendo su peso durante las siguientes mediciones y al final del experimento empezó a recuperar de nuevo peso, de tal manera que si se hubiera seguido midiendo el peso de estos organismos lo más probable es que recuperaran su peso inicial. En este organismo se encontró que al parecer continuó activo un mecanismo de expulsión de agua.

Las que estuvieron a 24 ‰, no llegaron a recuperar su peso inicial quedando en todas las mediciones por encima de su peso normal. Esto se debió a que los organismos se enfrentaron a condiciones muy diferentes a las de su medio natural y ocasionó un aumento considerable en su peso, de tal manera que al ser regresadas a agua de mar a 35 ‰ no pudieron controlar los mecanismos que les permitían expulsar agua de su interior. Lo anterior, ocasionaba pérdida de locomoción, debido a que se hinchan demasiado.

#### 4.4. Condición Hiposmótica.

La salinidad y temperatura pueden influir en las respuestas metabólicas de los organismos Vernberg (1983). Un ejemplo de esto, Laird y Haefner (1976) reportaron que el cangrejo azul *Callinectes sapidus* aclimatado a 10 °C consumió más oxígeno a bajas salinidad que a alta salinidad.

Con lo anterior y conociendo que en este experimento se trabajó en una salinidad menor a la salinidad del agua de mar, se esperaba que los resultados de oxígeno disuelto del experimento realizado a 33 ‰ proyectaran diferencias mayores en las disminuciones de oxígeno disuelto que en los resultados del experimento 1 (35 ‰).

Como se muestra en la Figura 11, este experimento se inició en concentración mayor a 4 ml O<sub>2</sub> / lt al igual que el experimento 1 realizado a los 35 ‰, como ambos experimentos se realizaron bajo las mismas condiciones solamente variando las salinidades, se realizó una comparación entre estos dos

experimentos para conocer las diferencias de la condición hiposmótica sobre el abatimiento del oxígeno disuelto en agua de mar natural.

Lo más sobresaliente entre estas dos gráficas (Figura 6 y 11) es que los valores mínimos encontrados en el primer experimento son mucho mayores a los encontrados en el segundo experimento, esto quiere decir que se llevó a cabo un mayor abatimiento de oxígeno disuelto en el experimento a 33 ‰. Respecto a esto, Shlieper (1929) encontró en el cangrejo *Carcinus maenas* un incremento en su tasa de respiración cuando se expuso a baja salinidad Vernberg (1983). Por su parte, Taylor (1977) determinó la respuesta de *Carcinus* cuando era sometido a cambios repentinos de salinidad, después de esta exposición el consumo de oxígeno era mayor que los medidos antes de la someterlos a la baja salinidad. La respuesta obtenida por Taylor (1977) indica que la tasa respiratoria de *Carcinus* no se aclimata rápidamente a los cambios de salinidad ya que el incremento en el consumo de oxígeno permaneció hasta por 3-4 días.

Comparando las proporciones utilizadas, en la primera condición 500 g/2 lt (Figura 6) se presenta una concentración de oxígeno de 2.5 ml O<sub>2</sub> / lt a los 30 minutos, la cual corresponde a la medición mínima registrada. En la figura 11 la concentración de la misma proporción a los 30 minutos fue menor a 1 ml O<sub>2</sub> / lt y la aireación se aplicó hasta los 45 minutos. Lo anterior demuestra que las langostas sometidas en agua de mar diluida presentaron un abatimiento del oxígeno disuelto más rápido que las encontradas en agua de mar normal.

De igual manera en la siguiente proporción (500 g/4 lt) se estableció el mismo patrón, el abatimiento de oxígeno disuelto se realizó más rápidamente en los recipientes del experimento 5 que en el del experimento 1, esta diferencia se

debió a la reducción en la salinidad en el experimento a 33 ‰. Así mismo se encontró en la proporción de 500 g/8 lt, que los niveles de oxígeno disuelto en el primer experimento quedaron por encima de los 2 ml O<sub>2</sub> / lt y en el experimento realizado a 33 ‰ los valores mínimos encontrados en esta proporción fueron de 1.2 ml O<sub>2</sub> / lt.

Taylor (1977), asoció el incremento del consumo de oxígeno con un incremento en el volumen de ventilación de agua hasta una razón más rápida de agitación del escafognatito, a su vez, sugiere que un incremento en la demanda de oxígeno de los tejidos era cubierto por el incremento del latido del corazón resultando un aumento en la frecuencia cardiaca, al igual que Bayer *et al.* (1998) encontraron la misma relación

Por su parte, Findley *et al.* (1978) examinaron el efecto de un ciclo mareal en el cangrejo azul, encontrando la típica tasa de respiración baja durante la fase inicial del decline de salinidad a una razón directamente proporcional a la tasa de decremento de la salinidad. Sin embargo, en los experimentos de este trabajo no se analizó el consumo de oxígeno sino el abatimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto, el cual también es comparable con los experimentos realizados anteriormente, ya que se analizan las diferencias en la reducción de la concentración como el factor representante del consumo de oxígeno.

Teniendo entonces que los resultados encontrados en estos experimentos corresponden a lo esperado, la salinidad tuvo un efecto en el abatimiento de oxígeno haciendo que éste sucediera más rápidamente en la salinidad reducida que en los experimentos realizados en agua de mar natural.

En los resultados de la acumulación de amoníaco, se encontró que en general los valores obtenidos del experimento 5 realizado a 33 ‰ (Tabla VI) fueron menores que los obtenidos en los experimentos realizados en agua de mar con salinidad normal, experimentos 2 y 3, Figura 8 y Tabla IV; respectivamente.

En las tablas se presenta la acumulación de amoníaco en función del tiempo. Las primeras dos proporciones fueron las que tuvieron mayor acumulación de este compuesto, a las 24 horas la proporción de 500 g/ 2 lt tenía una concentración de 13.6 mg  $\text{NH}_3$  / lt mientras que en el experimento 5 esta misma proporción y a la misma hora registró una concentración de amoníaco de 7.5 mg  $\text{NH}_3$  / lt, de igual manera en la proporción 500 g/4 lt a las 30 horas se encontró una concentración de 9.81 mg  $\text{NH}_3$  / lt en el experimento 2 y 9.7 en el experimento 3.

Estas dos proporciones dejan ver que si existió una influencia sobre la excreción de amoníaco, de manera que una menor salinidad provocó una menor acumulación de amoníaco. De acuerdo a esto, Shumway (1978) analizó el efecto del agua de mar diluida sobre la osmolaridad de la hemolinfa donde los organismos mostraron cambios significativos durante los cambios de salinidad, esto corrobora el efecto de una salinidad reducida sobre algunas funciones biológicas de los organismos, en este caso sobre la excreción de amoníaco.

Sin embargo, cabe mencionar una ligera anomalía presentada en la densidad 500 g/8 lt, ya que en el experimento 2 se tuvo una concentración máxima de amoníaco de 2 mg  $\text{NH}_3$  / lt a las 30 horas y en el experimento 5 se tuvo una concentración de 13 mg  $\text{NH}_3$  / lt a la misma hora. Esto indica una

mayor acumulación de amoníaco en la salinidad reducida. La concentración registrada del primer experimento se encontró dentro de lo esperado, ya que es una proporción donde se manejaron 16 litros de agua y solamente 2 langostas, es decir, se esperaría una baja concentración de amoníaco de acuerdo a las concentraciones medidas en los tiempos anteriores. En cambio, en el experimento 5 la concentración acumulada a las 30 horas fue la mayor registrada de todas las proporciones. Este valor no correspondió al valor esperado respecto a la proporción analizada ni respecto a las mediciones realizadas en los tiempos anteriores ya que es un valor elevado. Dicho valor por ahora no es posible explicarlo, solamente que no corresponde a la concentración esperada.

Por último, la proporción 500 g/10 lt constata nuevamente que la reducción de salinidad tuvo un efecto sobre la acumulación de amoníaco, ya que en el experimento 1 se obtuvo una concentración máxima de amoníaco de 1.9 mg  $\text{NH}_3$  / lt y en el experimento 3 se tuvo una concentración de 4.5 mg  $\text{NH}_3$  / lt mientras que en el experimento 5 se registró una acumulación de 1.3 mg  $\text{NH}_3$  / lt, estos valores fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.001$ ), por lo que se corrobora que existió un efecto de la reducción de salinidad.

En general, con los resultados presentados se infiere que utilizando una ligera condición hiposmótica, agua de mar a 33 ‰, se podrían minimizar los problemas de acumulación de amoníaco, proporcionando un mejor rendimiento del sistema de mantenimiento de langosta roja *Panulirus interruptus*.

## 5. CONCLUSIONES

➤ Se considera 2 ml O<sub>2</sub> / lt como nivel mínimo de concentración de oxígeno disuelto en el agua, a partir del cual la langosta *Panulirus interruptus* tiende a disminuir el consumo de oxígeno.

➤ Después de haber pasado el nivel mínimo de concentración de oxígeno disuelto, *P. interruptus* se enfrenta a niveles críticos en donde disminuyó su capacidad de extracción oxígeno disuelto del agua, este nivel crítico es de 1 ml O<sub>2</sub>/lt.

➤ Entre menor fue el volumen en que se mantuvo a la langosta roja *P. interruptus* mayor fue la concentración de amoníaco acumulado. Por lo tanto, la proporción de biomasa/volumen en la que las concentraciones de amoníaco fueron menores durante los experimentos fue la de 500 g/ 10 lt.

➤ Mantener a *P. interruptus* en una condición ligeramente hiposmótica (33 ppm) tiene como efecto un incremento en el consumo de oxígeno expresado en términos de abatimiento de oxígeno disuelto en función del tiempo.

➤ Mantener a *P. interruptus* en agua de mar a 33 ppm tiene como consecuencia una ligera menor acumulación de amoníaco en función del tiempo.

## RECOMENDACIONES

● La proporción de 500 g/4 lt se considera una condición en donde la capacidad de carga de un sistema de mantenimiento de langosta roja puede soportar hasta 50 minutos sin recambio de agua mientras el oxígeno es consumido por las langostas, una densidad menor proporcionaría una mayor seguridad, sin embargo se requiere de una mayor infraestructura para mantener volúmenes grandes de agua.

● En términos de acumulación de amoníaco, es también recomendable utilizar como densidad mínima la proporción de 500 g/4 lt ya que de acuerdo a los resultados obtenidos, con esta relación de biomasa/volumen los valores de amoníaco se elevan hasta las 18 horas, mientras que una densidad mayor llega a tener concentraciones altas de amoníaco en un menor tiempo.

● Para obtener resultados rápidos y confiables de concentraciones de amoníaco en un sistema de mantenimiento se puede utilizar el kit colorimétrico (LaMotte®), ya que dentro de los recipientes de mantenimiento es importante que se lleven monitoreos constantes de la concentración de amoníaco. Como se sugirió anteriormente, es conveniente aplicar aireación que ayude a la evaporación del gas amoníaco y que los niveles no se eleven a niveles tóxicos.

## LITERATURA CITADA

- Batterton, C. V. y J. N. Cameron.** (1978). Characteristics of resting ventilation and response to hipoxia, hypercapnia and emersion in the blue crab, *Callinectes sapidus* (Rathbun). Jour. Exp. Zool. 203:403-418.
- Bayer, R. J., Riley and D. Donahue.** (1998). The effect of dissolved oxygen level on the weight gain and shell hardness of new-shell american lobster *Homarus americanus*. Journal of the World Aquaculture Society. Vol 29(4): 491-493.
- Beard, T. W. y D. McGregor.** (1991). Storage and care of live lobsters. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Directorate of Fisheries Research. Lowestoft.
- Botler, J. P., E. W. Taylor y B. R. McMahon.** (1978). Respiratory and circulation changes in the lobster (*Homarus vulgaris*) during long term exposure to moderate hypoxia. Journal of Experimental Biology. 73: 131-146.
- Cameron, J. N. y C. P. Mágnun.** (1983). Environmental adaptations of the respiratory system: ventilation, circulation and oxygen transport. En: The Biology of Crustacean. Academic Press, N. Y. Vol. 8(2) 43-61.
- Campbell, J. W.** (1991). Excretory nitrogen metabolism. En: Prosser, C. L. (Ed). Comparative animal physiology. Wiley-Liss Inc., N. Y.
- Casas, V. M. y G. Ponce (Eds.).** (2002). Estudio Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Vol. I Versión electrónica.
- Chen, J. C. and C. Y. Lin.** (1991). Lethal effects of ammonia and nitrite on *Penaeus penicillatus* juveniles at two salinity levels. Comparative Biochemistry and Physiology. 100C(3): 477-482.
- Claybrook, D. L.** (1983). Nitrogen metabolism. En: Bliss, D. E. (ed.) Biology of Crustacea. Vol. 5 Academic Press, N. Y.
- Cobb, J. S. and B. F. Phillips. (Eds.)** (1980). The biology and management of lobsters. Vol. I. Academic Press. New York, U. S. A. 463 pp.
- Cockcroft, A. C. y T. Wooldridge.** (1985). The effects of mass, temperature and molting on the respiration of *Macropetasma africanus* Blass (Decapoda: Penaeoidea). Comp. Biochem. Physiol. 81A, 143-148.

- Crear, B. J. y G. N. R. Forteach.** (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. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 52: 763-171.
- Crear, B. J. y G. N. R. Forteach.** (2000). The effect of extrinsic and intrinsic factors on oxygen consumption by the southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 252: 129-147.
- Dall, W.** (1970). Physiology: Part I. 85-89 pp. En: Cobb, J. S. y B. F. Phillips (Eds.) (1980). *The biology and management of lobsters*. Vol. I. Academic Press. New York, U. S. A. 463 pp.
- Dufort, C. G., S. H. Jury, J. M. Mewcomb, D. F. O'Grady III y W. H. Watson III.** (2001). Detection of salinity by the lobster, *Homarus americanus*. *Biol. Bull.* 201: 424-434.
- Findley, A. M., B. W. Belisle y W. B. Stickle.** (1978). Effects of salinity fluctuations on the respiration rate of the Southern oyster drill *Thais haemastoma* and the blue crab *Callinectes sapidus*. *Mar. Biol. (Berlin)*. 49: 59-67.
- Hall, M. R. y E. de la Vega** (2004). Physiological response to stress and health implications in Crustacea. *Proceedings of the symposium, Noumea-Kone, 2003: Thirty years of shrimp farming in New Caledonia*. 38: 39-56.
- Harvie, R.** (1993). *New Zealand Code of Practice for rock lobster products*. New Zealand Fishing Industry Board: Wellington.
- Hundley, P. L. J., M. Francis, D. Drennan y G. Benzel.** (1997). Fundamental design and management of live aquatic holding systems with an emphasis on moderating the effects of shock loading. En: Paust, B. y J. B. Peters (Eds). *Marketing and Shipping Live Aquatic Products '96*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service: Seattle, W. A. pp. 186-196.
- Hunter, D. A. and R. F. Uglow.** (1993a). Moults stage-dependant variability of haemolymph ammonia and total protein levels of *Crangon crangon* (L.) (Crustacea, Decapoda). *Ophelia* 37(1): 41-50.

- Jury, S. H., M. T. Kinnison, W. H. Howell y W. H. Watson III. (1994).** The behaviour of lobster in response to reduced salinity. *Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 180: 23-37.
- Kormanik, G. A. y J. N. Cameron. (1981).** Ammonia excretion in animals that breathe water: a review. *Mar. Biol. Lett.* 2:11-23.
- Laird, C. E. y P. A. Haenfer, Jr. (1976).** Effects of intrinsic and environmental factors on oxygen consumption in the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun. *Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 22: 171-178.
- Lin, H. P., P. Thuet, J. P. Trilles, R. Mounet-Guillaume, G. Charmantier. (1993).** Effects of ammonia on survival and osmoregulation of various development stages of the shrimp *Penaeus japonicus*. *Marine Biology.* 117: 591-598.
- Ortiz, D. V. (1996).** Adaptaciones fisiológicas de la "Langosta Roja" *Panulirus interruptus* para sobrevivir fuera del agua en relación al tiempo y temperatura de exposición aérea. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C.
- Parry, G. (1960).** Excretion. En: Waterman, T. H. (ed.) *Physiology of crustacean.* Academic Press, N. Y.
- Randall, D., W. Burggren y K. French. (1997).** *Animal Fisiology, Mecanismos and Adaptations.* 4a ed. W. H. Freeman and Company. U. S. A. 727 pp.
- Rawson, M. V. Jr, W. D. Ru, C. Yarish, C. Chen, Z. M. Yuan, W. Lu, J. Rubao, T. Chopin, J. Sullivan. (2001).** Understanding the interaction of extractive and fed aquaculture using ecosystem modeling. *Aquaculture 2001: Book of Abstracts.* 547 pp.
- Regnault, M. (1994).** Effect of air exposure on ammonia excretion and ammonia content of branchial water of the crab *Cancer pagurus*. *Journal of Experimental Zoology.* 268: 208-217.
- Regnault, M. (1992).** Effect of air exposure on nitrogen metabolism in the crab *Cancer pagurus*. *Journal of Experimental Zoology.* 264: 372-380.
- Regnault, M. (1987).** Nitrogen excretion in marine and fresh-water Crustacea. *Biol. Rev.* 62: 1-24.

- Schmitt, A. S. C. and R. F. Uglow. (1997). Effects of ammonia levels on blood ammonia, ammonia excretion and heart and scaphognathite rates of *Nephrops norvegicus*. *Marine Biology* 127: 411-418.
- Schmitt, N. K. (1983). *Animal physiology: adaptation and environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Schumway, S. E. (1978). Osmotic balance and respiration in the hermit crab, *Pagurus bernhardus*, exposed to fluctuating salinities. *Mar. Biol. Assoc. U. K.* 58: 869-876.
- Taylor, A. C. (1977). The respiratory responses of *Carcinus maenas* (L.) to changes in environmental salinity. *Journ. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 29: 197-210.
- Van Weel, P. B., J. E. Randall y M. Takata. (1954). Observations on the oxygen consumption of certain marine Crustacea. *Pac. Sci.* 8:209-218.
- Vega, V. A., G. Espinoza, I. Salazar, C. Gómez & E. Michel. (1995). Dictámen técnico referente a las medidas regulatorias de la pesquería de langosta, para la temporada de pesca 1995-1996, en aguas de jurisdicción federal del Pacífico Mexicano. *Documento Interno. CRIP-La Paz. INP. SePesca*. En: Casas, V. M. y G. Ponce, (Eds.). (2002). *Estudio Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Vol. I Versión electrónica*.
- Vernberg, F. J. (1983). Respiratory Adaptations. En: Vernberg, F. J. y Vernberg, W. B. (eds.). *The Biology of Crustacea Cap. I Vol. 8.* pag. 1-32.
- Wheaton, F. (1977). *Aquacultural Engineering*. Wiley-Interscience, N. Y. USA.
- Wolvekamp, H. P. y T. H. Waterman. (1960). Respiration. En: Waterman, T. H. (ed.) *Vol. 1. Academic Press, N. Y.* 35-100.

## ANEXO

**Tabla I.** Análisis de varianza de una vía aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto, de la Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento previo).

Fuente de Variación	SC	CM	F	P
Entre tratamientos	3.784	1.892	0.692	0.510
Residual	65.603	2.733		
Total	69.387			

**Tabla II.** Análisis de Varianza de dos vías aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 1).

Fuente de Variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa / volumen	2.507	0.836	1.111	0.368
Tiempo	18.895	1.575	2.094	0.069
Residual	15.042	0.752		
Total	35.984	1.028		

**Tabla III.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 2).

Fuente de Variación	SC	CM	F	P
Proporción Biomasa / volumen	2.592	0.648	0.500	0.736
Tiempo	52.769	5.863	4.529	<0.001
Residual	46.606	1.295		
Total	101.967	2.081		

**Tabla IV.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de amoníaco acumulado, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 2).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	95.478	31.826	2.626	0.088
Tiempo	209.126	41.825	3.452	0.028
Residual	181.768	12.118		
Total	486.371	21.147		

**Tabla V.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de amoniaco acumulado, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 3).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	112.667	37.556	10.627	<0.001
Tiempo	215.247	43.049	12.181	<0.001
Residual	49.477	3.534		
Total	388.839	17.674		

**Tabla VI.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de pH mediante potenciómetro, en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 3).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	0.139	0.0348	3.434	0.027
Tiempo	0.979	0.196	19.288	<0.001
Residual	0.203	0.0101		
Total	1.321	0.0455		

**Tabla VII.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de pH mediante indicadores de papel, en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 3).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	0.0500	0.0125	0.714	0.592
Tiempo	1.400	0.280	16.000	<0.001
Residual	0.350	0.0175		
Total	1.800	0.0621		

**Tabla VIII.** Análisis de varianza no paramétrico de dos vías aplicado a los pesos obtenidos del experimento de evaluación del efecto del agua de mar diluida (experimento 4).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Salinidad	15.281	5.094	19.400	<0.001
Tiempo	98.367	9.837	37.464	<0.001
Residual	7.877	0.263		
Total	121.524	2.826		

**Tabla IX.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los valores de concentración de oxígeno disuelto en función de biomasa / volumen y tiempo, de la Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 5).

Fuente de Variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	7.963	2.654	18.155	<0.001
Tiempo	94.508	10.501	71.823	<0.001
Interacción	84.542	3.131	21.417	<0.001
Residual	5.848	0.146		
Total	192.861	2.441		

**Tabla X.** Análisis de varianza paramétrico de dos vías aplicado a los resultados de amoníaco acumulado en función del tiempo (experimento 5).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	1.834	0.611	4.347	0.015
Tiempo	11.624	2.325	16.531	<0.001
Interacción	4.890	0.326	2.318	0.036
Residual	3.094	0.141		
Total	22.002	0.489		

**Tabla XI.** Análisis de varianza de dos vías aplicado a los resultados de pH mediante potenciómetro, en función del tiempo en diferentes proporciones de biomasa/volumen, de Langosta Roja *Panulirus interruptus* (experimento 5).

Fuente de variación	SC	CM	F	P
Proporción biomasa/volumen	0.330	0.110	3.558	0.029
Tiempo	0.637	0.127	4.118	0.008
Interacción	0.448	0.0299	0.966	0.515
Residual	0.742	0.0309		
Total	2.157	0.0459		