



DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA ACIDIFICACION ACUÁTICA EN CAMARONES  
PENEIDOS ASOCIADA AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAGUNAS COSTERAS MEDIANTE LA  
ALTERACIÓN EN LA CAPTACIÓN DE CALCIO.

# T E S I S

Que para obtener el grado académico de

## **Maestro en Ciencias**

**(Biología Marina)**

P R E S E N T A

**BIÓL. MARÍA DE LOS ÁNGELES CAUICH GARCÍA**

Director de Tesis: Dr. Gabriel Núñez Nogueira

Comité Tutorial: Dr. Miguel Betancourt Lozano

Dra. Marta Gabriela Gaxiola Cortés

Dr. Luis A. Soto González

Dra. Cristina Pascual Jiménez

M. en C. Mario Alejandro Gómez Ponce

México D.F. 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**EN MEMORIA:**

**ABUELA:**

**CRISTINA UC CHAN †**

**PADRE:**

**JUANFRANCISCO CAUICH UC †**

**POR SU AMOR Y CARIÑO, SIEMPRE ESTARAN**

**PRESENTE EN TODAS LAS METAS DE MI VIDA.**

**Dedicatoria:**

**A mi madre María de Lourdes García, por ser un ejemplo de trabajo, dedicación y fortaleza.**

**A mi hermana Miroslava Cauich, ya que ha sido la lucecita que ha alumbrado mi camino, gracias por compartir conmigo no solamente momentos felices, si no también los mas tristes de mi vida.**

**A mi abuelo Gonzalo Concha Bacelis, por demostrarme que a pesar de todas las adversidades que la vida puede tener con nosotros tenemos que seguir luchando, te amo.**

**Agradezco a mis hermanas de la vida, aquellas mujeres que han estado conmigo durante tantos años gracias por caminar junto a mí, por brindarme su amistad y su cariño las quiero mucho BÍol. Beatriz Gómez Patiño, BÍol. Brenda Martínez Villa, BÍol. Viviana Barrera, BÍol. Vania Rivero, BÍol. Tania Pascoe y Dra. Paola Flores.**

**A el Dr. Frank Raúl Gío Arguez, el M en C Alejandro Gómez Ponce, el M en C Faustino Zavala, la Dra. María de la Luz Espinoza y Dra. Catalina Gómez que a pesar de la distancia siempre me apoyaron y estuvieron junto a mí.**

**La familia Chávez Islas, por abrirme las puertas de su familia, gracias por todo el apoyo, el cariño y la amistad que me han brindado, los quiero mucho.**

**Y finalmente a esas personas especiales que aparecieron en mi vida, Carlos Mejía y Ana de la Roche ustedes son la cereza de mi pastel.**

**Agradecimientos:**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme ser parte de esta enorme familia y darme la oportunidad de seguir alcanzando mis metas.**

**Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por la oportunidad de continuar con mi formación académica.**

**A CONACYT por que la beca otorgada para la realización de mis estudios profesionales.**

**A la estación El Carmen, Campeche por el apoyo y el espacio brindado para el desarrollo de este trabajo.**

**A mi director de tesis el Dr. Gabriel Núñez Nogueira, gracias por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, por el apoyo y todos los innumerables consejos que tuvo para mi, por brindarme su amistad, por permitirme saber que aun existen tutores dispuestos a enseñar y transmitir sus conocimientos, porque sin su ayuda este trabajo no se podría haber realizado.**

**A los miembros de mi jurado, el Dr. Miguel Betancourt, la Dra. Martha Gabriela Gaxiola, la Dra. Cristina Pascual, el Dr. Luis Soto y al M en C Mario Alejandro Gomes Ponce, por todos los consejos, su apoyo a lo largo del desarrollo de esta tesis profesional, gracias por el tiempo, las atenciones, la dedicación a mi formación académica, por que con todos sus comentarios, observaciones enriquecieron y dieron forma a este proyecto.**

**Al personal administrativo del posgrado, Diana Juárez, Gabriela Almaraz, Lupita Godoy y Chantal Guerrero, por todas las atenciones que recibí de su parte.**

**La M en C Laura Fernández Bringas por todo el apoyo durante el desarrollo experimental, por sus enseñanzas, aportaciones a este trabajo y la amistad brindada.**

**Al M en C Jesús Alberto Valentino Alvares, por contribuir a la formación de este trabajo.**

**A mis amigos:**

**A todas aquellas personas que en la estación del Carmen me brindaron su amistad, tiempo y apoyo durante mi permanencia en Ciudad del Carmen: Ing. José Luis, Biol. Hernán, Lic. Roció, Lic. Gloria, Lic. Andrés, Dr. Enrique, Dr. Hugo, Dra. Amparo y Lic. Flavio.**

**A todos mis amigos que de alguna forma me apoyaron para el desarrollo de este trabajo, y a aquellos que me alentaron a seguir dando el máximo de esfuerzo a pesar de las adversidades presentadas, no quiero pasar desapercibido a nadie, estoy segura que todos y cada uno de ustedes saben lo mucho que los quiero.**

**ÍNDICE:**

	<b>Pág.</b>
I. RESUMEN.....	9
II. INTRODUCCIÓN.....	10
III. ANTECEDENTES.....	15
IV. HIPOTESIS.....	20
V. OBJETIVOS.....	20
VI. METODOLOGÍA.....	21
A. Periodos de muda.....	21
B. Pruebas de CO <sub>2</sub> .....	23
C. Análisis del comportamiento (videograbaciones).....	25
D. Análisis químico.....	26
1. Muestras de agua estuarina.....	26
2. Muestras en organismos y exoesqueletos.....	27
E. Análisis de datos.....	28
VII. RESULTADOS.....	29
A. Frecuencia de mudas.....	29
B. Acidificación del medio estuarino natural.....	32
C. Bioensayos.....	35
D. Calidad de agua.....	37
E. Comportamiento (videograbaciones).....	39

F. Crecimiento (talla y peso).....	40
G. Calcio en agua estuarina.....	47
H. Calcio en organismos.....	48
I. Calcio en exuvia de carapacho.....	49
VIII. DISCUSIÓN.....	52
IX. CONCLUSIONES.....	64
X. LITERATURA CITADA.....	65
XI. INDICE DE FIGURAS.....	74
XII. ÍNDICE DE TABLAS.....	75
XIII. ANEXOS.....	77

## I. RESUMEN

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) tendrá un impacto potencial sobre los ambientes marinos y costeros, afectando la química de la superficie del agua, lo que implicara que se vuelvan más ácidos limitando la biodisponibilidad del calcio, como resultado de sus interacciones fisicoquímicas en fase disuelta, generando disminución en el pH (mayor acidez) mediante la interacción del dióxido con carbonatos. Estos cambios químicos pueden ocasionar una afectación en el desarrollo y la capacidad de reproducción de diversos organismos, lo que podría representar un riesgo para las poblaciones acuáticas, como los crustáceos, debido a que estos organismos necesitan de la disponibilidad de calcio, que es el principal mineral endurecedor de la cutícula que provee estabilidad a su exoesqueleto. El calcio participa activamente en el crecimiento y desarrollo de los camarones ya que para poder remplazar esta cutícula recurrentemente durante la ecdisis, el calcio acumulado se pierde en el residuo de la exuvia y es nuevamente remplazada por la absorción del mineral disponible en el medio ambiente o durante la reabsorción. Los valores de pH en un futuro podrían afectar entonces en su crecimiento, retrasando sus periodos de mudas, reduciendo la calidad del exoesqueleto o incluso ocasionándoles la muerte en etapas tempranas de desarrollo.



## II. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un proceso que modifica u altera el patrón normal del comportamiento de los sistemas naturales, que en la mayoría de los casos ya se encuentran sujetos a muchas otras presiones como son: la creciente explotación de recursos, la entrada de contaminantes, el manejo irracional y el incremento urbano (Lara, 2008).

Observaciones efectuadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que numerosos sistemas están siendo modificados, la supervivencia de los organismos en los diferentes ambientes como en los costeros, se pueden ver afectados en mayor o menor grado por los diferentes cambios, como es el aumento en la temperatura promedio del océano a nivel mundial, el deshielo generalizado o el incremento del nivel del mar, cambios en la fisicoquímica del agua, su hidrología y morfología, entre otros fenómenos (IPCC, 1997). Los efectos del cambio climático sobre la vida pueden observarse a distintos niveles, que incluyen respuestas de los organismos a nivel individual, en las interacciones con otras especies, en la amplitud de su distribución geográfica e incluso, en la de los propios ecosistemas. Cambios significativos en el balance de la tierra, incluyendo aquellos cambios al aumento en la concentración de estos gases de efecto invernadero, alteran los diferentes ciclos, estas alteraciones en el clima por efecto de la actividad humana afectaran las variaciones naturales de sistemas en un intervalo amplio de escala (Michener *et al*, 1997).

Las causas de estos cambios se sabe en buena manera que se asocian con las emisiones a nivel mundial de los gases de efecto invernadero (GEI). Una parte de esta alteración en las últimas décadas ha sido por la intensa actividad humana que ha aumentado desde la era pre-industrial hasta nuestros tiempos (Sabine *et al*, 2004). Siendo en este periodo en donde ha existido un aumento de manera significativa en las emisiones de GEI en la atmósfera, este aumento se debe a la

generación de electricidad, la producción del cemento para construcciones, la eliminación de la vegetación que es conocida como cambio de uso del suelo, el consumo de combustibles fósiles, etc. Los combustibles fósiles son un conjunto de sustancias químicas compuestas por carbono e hidrogeno que van desde el volátil metano  $\text{CH}_4$  hasta el espeso petróleo- así como la producción de los alimentos y de otros tantos bienes y servicios que consumimos a diario, generan una gran cantidad de gases de efecto invernadero.

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es uno de los GEI antropogénicos más importantes que ha incrementado en un porcentaje alto en la atmósfera en las últimas décadas; sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2010, en la actualidad se predice que el aumento de  $\text{CO}_2$  tendrá consecuencias importantes en los procesos de alimentación y crecimiento de muchas especies. Algunas especies de árboles y de plantas alpinas, por ejemplo, se han beneficiado debido a que han sido capaces de absorber e integrar a sus tejidos una mayor cantidad de bióxido de carbono, lo que las ha hecho crecer más rápido. Este efecto también se ha observado en algunas de las especies de importancia agrícola, como la caña, las cuales han aumentado su productividad. Sin embargo los científicos aún no saben si este efecto será duradero debido a otras limitaciones que podrían restringir el crecimiento de estas especies (SEMARNAT, 2009), en cambio el impacto que tendrá el  $\text{CO}_2$  sobre los ambientes marinos, se sabe tendrá un efecto completamente opuesto, este aumento afectara la química de la superficie de los océanos lo que implicará que estos se vuelvan más ácidos (Fig. 1).

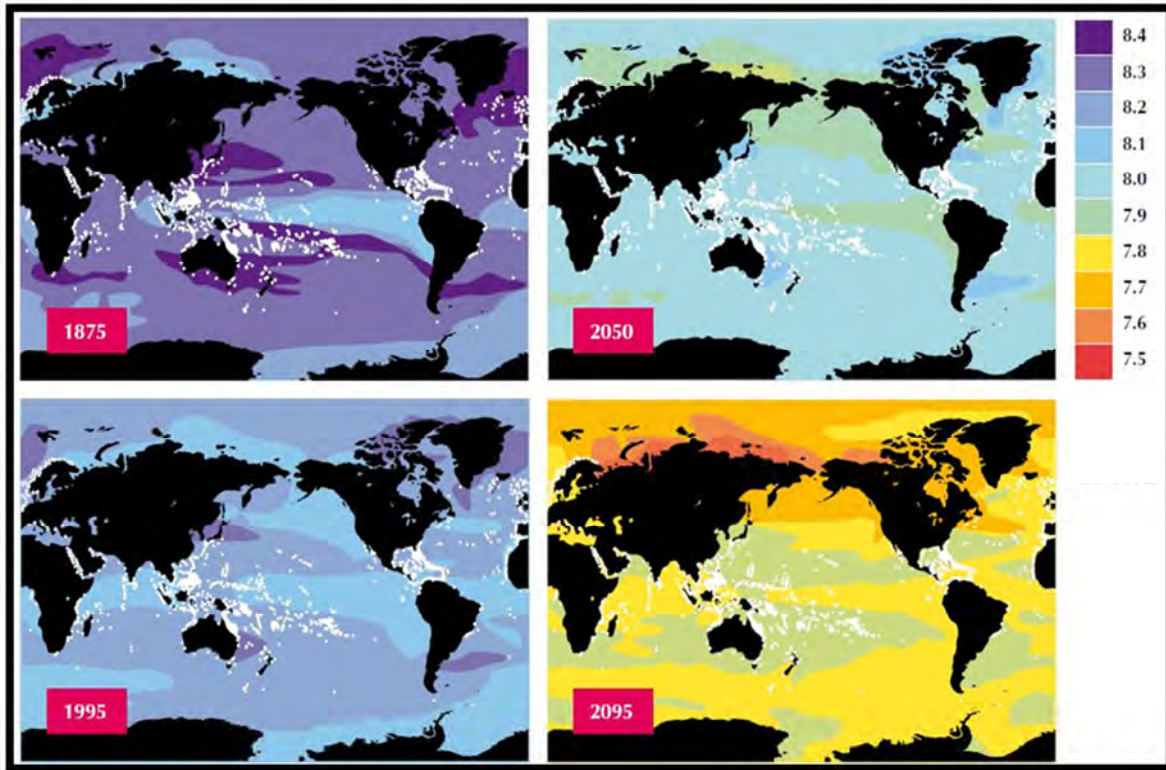


Figura 1.- pH promedio de la superficie del mar para 1875, 1995, 2050 y 2095 (Feely *et al*, 2009)

El bióxido de carbono de la atmósfera, al disolverse en el agua, hace que se vuelva más ácida este proceso de acidificación de los océanos, genera y se interrelaciona con la biodisponibilidad del calcio, producto de sus interacciones fisicoquímicas en fase disuelta, generando disminución de pH (mayor acidez) y formación de carbonatos, lo que afectará el desarrollo y la capacidad de reproducción de organismos calcificadores como los erizos, llegando a suponer un peligro para sus poblaciones (Havenhand *et al*, 2008). Diversas especies necesitan de la disponibilidad del calcio que es un compuesto indispensable, entre otros procesos, en la formación de esqueletos y conchas, y entre los organismos más inminentemente vulnerables están los crustáceos. La mayoría de los crustáceos usa el calcio como el principal mineral endurecedor de la cutícula que provee estabilidad a su exoesqueleto (Passano, 1960), en el caso particular de los crustáceos el crecimiento se observa como un proceso discontinuo que ocurre por

saltos, este crecimiento ocurre cuando se lleva a cabo la eliminación del antiguo exoesqueleto y la formación de un tegumento nuevo y generalmente de mayor tamaño, siendo el conjunto de estos sucesos conocido como ciclo de muda. Durante el ciclo de muda se pueden reconocer principalmente cinco estadios, el estadio A el animal acaba de abandonar la exuvia, continuando la secreción de la nueva cutícula, estadio B o postmuda comienzan a endurecerse las diferentes capas de la nueva cutícula, el estadio C o periodo de intermuda todo el exoesqueleto se engrosa y endurece, hay crecimiento de tejidos y acumulación de reservas, el estadio D o premuda se reabsorben los minerales y materiales orgánicos del exoesqueleto y se deposita parcialmente el nuevo exoesqueleto debajo del viejo y finalmente el estadio E o edisis donde el animal se desprende del viejo exoesqueleto (Pietrella y Boschi, 1997). Durante la ecdisis el calcio acumulado se pierde en el residuo de la exuvia y es nuevamente remplazada por la absorción del mineral disponible en el medio ambiente, ya sea en el aporte digestivo de calcio y la ingesta de la propia exuvia (Neufeld y Cameron, 1993), por lo consecuente muchos crustáceos como cangrejos, jaibas, langostas y camarones entre otras muchas especies poseen estructuras asociadas al almacenamiento de calcio. Todo el mecanismo de muda está regido por un complejo sistema endocrino (Anexo 2) y la ecdisis no puede considerarse como un evento aislado, si no como una etapa de un ciclo continuo de actividades metabólicas acopladas e integradas como lo son el balance ácido- básico, la liberación de  $\text{CO}_2$  del proceso respiratorio como  $\text{HCO}_3^-$  y balance de electrolito (Fig. 2), todos estos mecanismos junto con el proceso de muda se encuentran estrechamente relacionados a lo largo del ciclo de vida de los crustáceos representando una ventaja adaptativa en estos organismos (Chang, 1991).

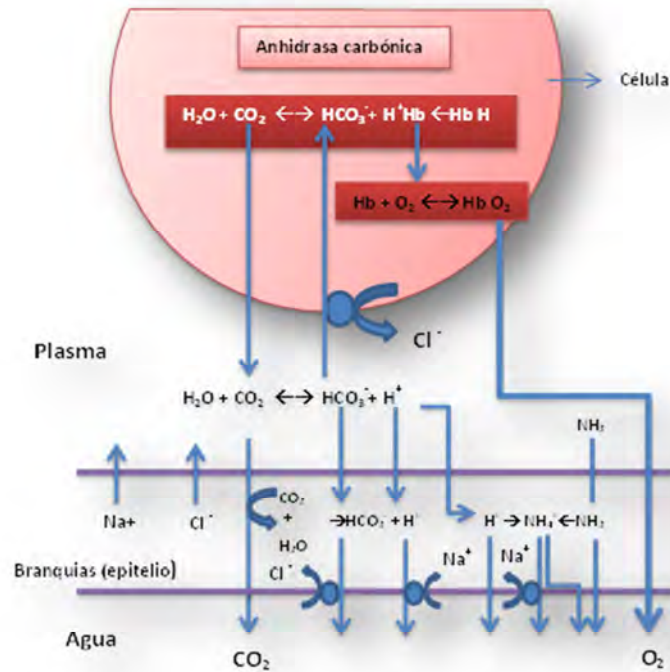


Figura 2.- Esquema de la toma de oxígeno y excreción de  $CO_2$  y  $NH_3$  realizado por las células branquiales. Hb señala la hemoglobina y los círculos indican mecanismos de intercambio de iones (tomado y modificado de Lahlou, B 1980; Manzon, 2002)

A pesar de que la acidificación marina ha sido mínima a la fecha, los organismos que dependen de calcio podrían verse significativamente afectados sobre todo si se suma o combina con otros factores de disturbio como es el aumento de la temperatura promedio del mar. Esta acidificación puede alterar de manera significativa la composición de la diversidad marina, afectando y trayendo consigo un daño potencial a especies que son de importancia pesquera a nivel mundial, como lo son los camarones, especies altamente consumidas por el hombre y las cuales se encuentran amenazadas. Las poblaciones de camarón se han visto mermadas debido a su sobre explotación para cubrir la alta demanda en el mundo y ahora posiblemente esta amenaza se vea incrementada debido al cambio climático. (Barange y Perry, 2009).

### III. ANTECEDENTES

Los efectos del CO<sub>2</sub> en el sistema natural han sido un tema de mayor enfoque en varias partes del mundo debido a su importancia como uno de los principales gases de efecto invernadero.

En el siglo XIX se inician los primeros estudios relacionados con la función de los gases en la atmósfera, uno de los principales pioneros fue John Tyndall el cual descubre que algunos gases bloquean la radiación infrarroja, sugiriendo con esto que los cambios en la concentración de dichos gases podrían alterar el clima. Pero no fue hasta finales de este siglo cuando Svante Arrhenius calculó los primeros datos sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> y su papel sobre el calentamiento, el cual menciona que debido a la quema excesiva de combustibles fósiles y otros procesos de combustión excesivos en un futuro se reflejaría en un impacto negativo en los diferentes sistemas, y no fue hasta la década de los 50s cuando la teoría sobre el calentamiento global fue formalmente difundida y aceptada (SEMARNAT, 2009).

En 1957 Roger R. Revelle presentó sus estudios relacionados sobre el balance de CO<sub>2</sub> en los océanos y su efecto en el cambio climático, posteriormente en 1958 se inició el primer registro continuo de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en el Observatorio del Mauna Loa, en Hawai (Feely *et al*, 2009). Fue hasta 1979, poco más de 80 años después que surgieran las primeras inquietudes sobre el cambio climático, que se llevo a cabo en la Ciudad de Ginebra en Suiza la primera conferencia mundial sobre el cambio climático, donde se discutió formalmente el tema y se dio paso a un foco de alerta considerándolo como una amenaza real para el planeta. En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), fue establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de

respuesta realistas. A partir de la creación de este conjunto gubernamental, los estudios referentes a cambio climático aumentaron, la necesidad de comprender y dar respuesta a los diferentes impactos ambientales que se comenzaban a observar, lo que llevó a iniciar una serie de investigaciones en las diferentes áreas geográficas más susceptibles a los cambios ambientales. El cambio climático se vio que no solo afectaría en mayor manera a los ecosistemas terrestres sino que también tendrían un mayor efecto en los sistemas acuáticos, siendo el CO<sub>2</sub> uno de los principales GEI que tendrá un papel fundamental causando la acidificación de los cuerpos acuáticos.

El IPCC en 1997 menciona que el aumento de la incorporación de CO<sub>2</sub> en el océano, ha ocasionado el incremento en la producción de ácido carbónico, lo cual aumenta la acidez del agua de mar. La incorporación de carbono antropogénico desde 1750 ha acidificado el océano, cuyo pH ha disminuido en 0.1 unidades en promedio. Un mayor aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> aceleraría aún más esta acidificación de los sistemas costeros debido al decremento del pH. Las proyecciones basadas en los escenarios del informe especial elaborado por el IPCC sobre escenarios de emisiones (IEEE) informaron que para el año 2100 existiría una reducción del promedio del pH en la superficie del océano a nivel mundial de entre 0.14 y 0.35 unidades, en la actualidad se cree que estos promedios podrían verse incrementados (Caldeira y Wickett, 2003).

Los impactos debido a la acidificación acuática, el aumento del nivel del mar y las altas temperaturas en los litorales serán a nivel mundial y nuestro país no será la excepción. En México el litoral costero se extiende en promedio 11,122 km, abarcando una gran variedad de ambientes como son: arrecifes, bahías, deltas, estuarios, humedales, lagunas y ríos, los cuales alojan a una gran infinidad de organismos que se encuentran vulnerables ante el cambio climático. Un aumento de 2°C en la temperatura promedio con llevaría una sequía en un 48% del territorio nacional (Lauwaert, 2009).

Ortiz y Méndez (1999) mencionan que la región del Golfo de México y el Mar Caribe son las zonas más vulnerables al cambio climático, las zonas que se verán alteradas serán principalmente las costeras, siendo afectadas en particular por el incremento en el nivel del mar, elevación de la temperatura y la disminución de la tasa pluvial de la región.

De la Lanza *et al.* (1999) señalan que en principio estos sistemas se encuentran afectados por la alteración del sistema hidrológico, debido al crecimiento de la infraestructura urbana, petrolera y agropecuaria, que han alterado la dinámica y los procesos ecológicos ocasionando la muerte y desaparición de las diferentes especies que habitan el lugar. Sin embargo, las alteraciones que el cambio climático podría ocasionar a este sistema aunado a la problemática que ya presenta, ocasionaría la desaparición de un gran número de especies.

Unos de los principales efectos en las zonas costeras que podría observarse a corto tiempo es la acidificación de estos cuerpos de agua, el aumento en la salinidad, temperatura, etc. Especialistas admiten que la acidificación de los océanos afectará visiblemente a los animales marinos que forman su caparazón de carbonato de calcio. Orr *et al.* (2005) mencionan que en un medio alcalino los iones de carbonato de calcio no podrán permanecer unidos, lo que dificulta que los organismos calcificadores produzcan y mantengan sus caparazones.

Trabajos realizados en la estación de Mauna Loa en Hawaii comprueban que en los últimos 20 años, el aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> atmosféricos ha ocasionado un incremento de este gas en el agua de mar de Aloha, afectando los niveles de pH, estas unidades se han visto disminuidos hasta en un 0.15 unidades (Feely, 2009; Anexo 2). Estimaciones con proyecciones futuras indican que esta acidificación se podría ver incrementada, los escenarios publicados por el IPCC en su reporte de 2007 muestran que la acidificación podría disminuir hasta 0.3 unidades para el año 2050 lo que aumentaría un 150% de acidificación acuática, tomando en cuenta que el pH es un valor que se mide en escala logarítmica. Estas estimaciones realizadas



indican que de continuar estos cambios en la química de los océanos en un futuro quizás se vea afectado la abundancia, fisiología, comportamiento y en química interna de los organismos marinos (Sabine, 2004; Feely, 2009).

Estudios sobre la afectación de la acidificación en los organismos marinos, muestran que la disminución de pH en el sistema marina afectara el crecimiento, reproducción y desarrollo de las poblaciones como los arrecifes de coral (Hoegh-Guldberg, 2007), donde sumada con la bioerosión y la depredación comprometerá la densidad de estos organismos, que forman sitios fundamentales en el sistema marino, ya que estas poblaciones de organismos proveen alimento y refugio para un gran número de especies entre las que se encuentran peces, moluscos, crustáceos etc.(Carpenter, 2008).

Estudios realizados sobre invertebrados marinos como crustáceos y moluscos, muestran que el efecto de la acidificación tendrán respuestas negativas en varios estados de sus ciclos de vida, estos organismos deben pasar por diferentes estadios larvarios para poder llegar a ser adultos, Kurihara y colaboradores (2008) muestran que la acidificación disminuye la calcificación en las valvas de los organismos juveniles de *Crassostrea gigas*, así como una alteración en la forma del cuerpo y en su tamaño, lo que sugiere grave consecuencias para su supervivencia hasta la edad adulta. Los cangrejos, langostas y camarones representaban aproximadamente 7% de consumo a nivel mundial (consumo pesquero y de acuicultura), son especies significativas para la pesca locales y a grandes escalas comerciales, los estudios sobre la afectación por la acidificación marina aun es escasa (Arnold *et al*, 2009; Panne and Barry, 2007; Walther *et al*, 2009; Kurihara *et al*, 2004), estudios recientes indican una vulnerabilidad de estas especies a una disminución en los niveles de pH (Walther *et al*, 2009)

Esta posible vulnerabilidad, induce también a la necesidad de poder contar con mecanismos o herramientas que nos permitan evaluar los procesos, los grados y avances en las alteraciones que sufre la biota en relación con el cambio climático.

Por ello es importante identificar bioindicadores (como los son diversos crustáceos e invertebrados) en general que permitan evaluar la efectividad de las políticas proteccionistas, así como ayudar a establecer mejores mecanismos conservacionistas, de aprovechamiento y sustentabilidad de los recursos naturales, y en el caso de los monitoreos, nos permitan evaluar los efectos que la acidificación, incrementos en la alcalinidad, temperatura y salinidad (todos producto del calentamiento y cambio global) que entre otros, puedan estar teniendo lugar en las aguas costeras, puedan ejercer un efecto adverso sobre los recursos pesqueros y alimenticios, así como identificar y evaluar el impacto socioeconómico que tengan éstos sobre las comunidades rurales, para así lograr establecer las bases para mejores políticas y estrategias más efectivas de prevención, protección y uso de los recursos y ambientes costeros.

#### IV. HIPÓTESIS

El aumento de acidez en un medio estuarino alterará negativamente la calcificación de los exosqueletos de los camarones peneidos y modificará su crecimiento.

#### V. OBJETIVOS DEL PROYECTO

##### Objetivo general

Evaluar el efecto en el crecimiento y/o muda de los camarones peneidos ante la acidificación del agua en condiciones estuarinas producto del aumento en el CO<sub>2</sub> disuelto.

##### Objetivos particulares

- Determinar el periodo de muda en condiciones experimentales.
- Determinar los niveles basales de calcificación del exosqueleto de los camarones peneidos.
- Determinar si existen cambios en los periodos de intermuda una vez que se ha acidificado el medio (0.4 unidades pH).
- Determinar los cambios en los niveles de calcificación del exosqueleto en función del pH, bajo los escenarios modelados por el cambio climático.
- Determinar los efectos del cambio en el pH, en función de su comportamiento y crecimiento.

## VI. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó como modelo el camarón blanco del pacífico *Litopenaeus vannamei* (Fig. 3) el cual pertenece al grupo de camarones peneidos (Anexo 2)

Reino	Animalia
Phylum	Arthropoda
Subphylum	Crustacea Brünnich, 1772
Clase	Malacostraca Latreille, 1802
Subclase	Eumalacostraca Grobben, 1892
Súper orden	Eucarida Calman, 1904
Orden	Decapada Latreille, 1802
Suborden	Dendrobranchiata Bate, 1888
Super familia	Penaeoidea Rafinesque, 1815
Familia	Penaeidae Rafinesque, 1815
Genero	<i>Litopenaeus</i> Pérez Farfante, 1969
Especie	<i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931)



Clasificación taxonómica tomado de ITIS<sup>ca</sup>, website (2002).

**Figura 3.- Ilustración y clasificación taxonómica de *Litopenaeus vannamei***

### A. Periodos de muda

Los camarones se obtuvieron por donación de la granja camaronicola Aquapacific SA de CV la cual se encuentra localizada en la ciudad de Mazatlán. Estos organismos con un PL (postlarva) de 18 días fueron trasladados vía terrestre a la estación del Carmen, Campeche (UNAM), los cuales fueron sujetos a un periodo de aclimatación a condiciones de laboratorio (30 ups, pH 8, horas luz-oscuridad natural, temperatura ambiente y una oxigenación constante), los organismos se separaron por tallas (5-14 mm y 15 a 24 mm respectivamente). Para la selección de los intervalos de tallas se tomó en cuenta el valor máximo y mínimo de longitud total, de manera

diaria se les proporcionaba alimento balanceado de la marca PURINA® con un contenido de 35% de proteína, la cantidad diaria suministrada correspondía al 20% de la biomasa total de los organismos, la cual era proporcionada en dos ocasiones al día, una vez separados los organismos se llevó a cabo un monitoreo del número de exuvias encontrados por día con la finalidad de conocer el tiempo y la mayor frecuencia de muda de los grupos de camarones.

Para el manejo de los datos se decidió tomar como punto cero la fecha en la que se encontró la primera muda (Fig. 4). Esta prueba nos permitió tener un punto de referencia para las observaciones siguientes en tiempo y frecuencia.

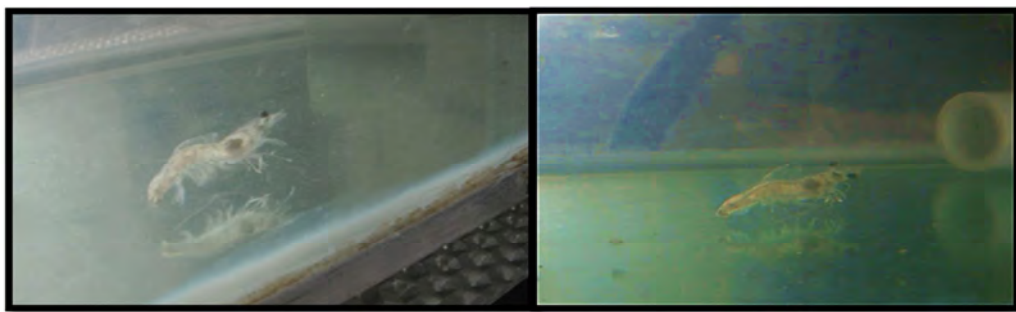


Figura 4.- Organismo en proceso de muda. Se observa el desprendimiento de la exuvia.

Posteriormente, el seguimiento de mudas se llevó de manera individual, se utilizaron 50 organismos con una longitud total (LT) promedio de 30 mm los cuales se separaron en contenedores individuales (Fig. 5) con una capacidad de 300 ml; se utilizó agua natural estuarina la cual se obtuvo mediante un bombeo del estero conocido como “Pargo”, en el sistema Lagunar de Términos en Campeche, la cual presentaba una salinidad de 28 ups, una temperatura de 28°C y un pH promedio de 8. Se llevaron a cabo recambios de agua cada 48 h. para poder mantener la oxigenación constante, previo al recambio se alimentaban (*at libitum*). Con la finalidad de encontrar el número mayor posible de exuvias, se realizaba una inspección diaria de manera continua para obtener el mayor número posible de

mudas, las cuales se colocaban en tubos eppendorf, siendo etiquetados y congelados para su preservación (Fig. 5).

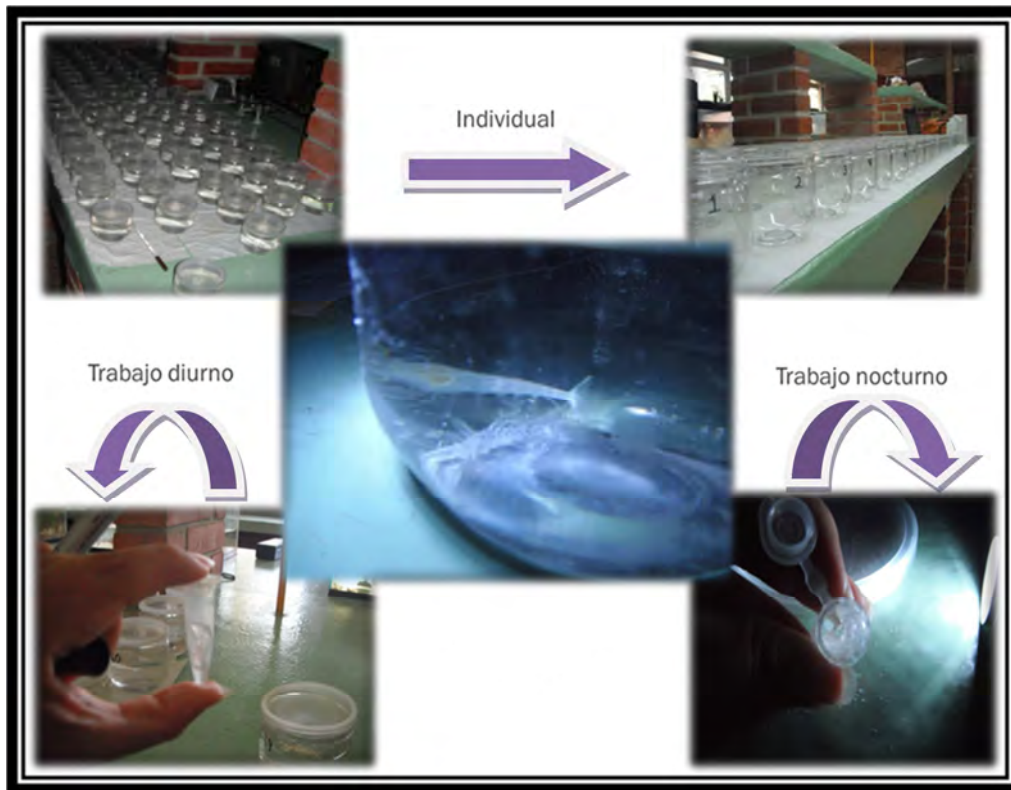


Figura 5.- Obtención de mudas en el laboratorio de manera individual.

## B. Pruebas de CO<sub>2</sub>

Mediante inyecciones constantes de CO<sub>2</sub> al medio estuarino y realizando un monitoreo del tiempo requerido se logró obtener la cantidad de CO<sub>2</sub>, el volumen y el tiempo de inyección necesario para poder disminuir una unidad de pH por cada litro de agua estuarina (Tabla 1).

## Bioensayos

Durante los experimentos se utilizaron tres peceras por tratamiento con una capacidad de 25 litros las cuales fueron llenadas con 20 litros de agua estuarina natural (Fig. 6). Se colocaron en cada pecera 20 individuos con una LT promedio de 30 mm los cuales fueron aislados entre sí mediante unas canastas plásticas con recuadros internos (8x8cm), los cuales mantenían a los organismos de manera individual (Fig.7). Los camarones se tuvieron durante una semana en condiciones de aclimatación a un pH de 7.3 siendo este el valor control utilizado en el tiempo de trabajo (valor promedio más bajo reportado para las lagunas estuarinas), primer valor experimental de 6.9 y el segundo valor experimental de 6.5 (estos valores se tomaron con base en las predicciones de los modelos de cambio climático del IPCC 2007). Los organismos fueron alimentados diariamente y cada segundo día se realizaban recambios de agua, esto es debido a que durante este experimento no se tenía una aireación constante ni filtración del agua. Para la obtención de mudas, estas fueron revisadas varias veces al día y en la noche, con la finalidad de poder recuperar las exuvias de los organismos, las cuales fueron guardadas en tubos eppendorf y congeladas para su preservación y posterior análisis químico.

Al final de los bioensayos, los camarones fueron sacrificados, pesados, medidos y se realizaron observaciones al microscopio. Posteriormente los organismos fueron congelados para el análisis de calcio corporal.



Figura 6.- Vista parcial de estero pargo en la Laguna de Términos, Campeche

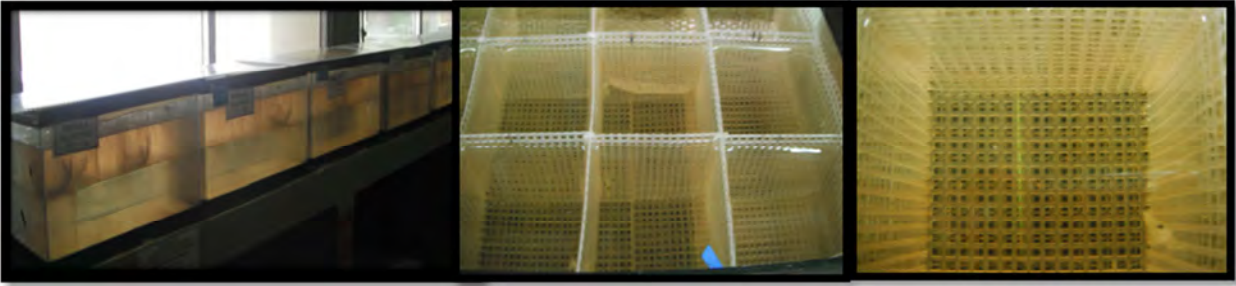


Figura 7.- Diseño de mallas para mantenimiento y seguimiento individual de los organismos.

### C. Análisis del comportamiento

#### Video grabaciones:

Se monitorearon de manera nocturna las conductas o patrones de movimiento en nueve camarones, los cuales fueron video-grabados de manera individual a las mismas condiciones de pH que en los bioensayos de acidificación. Los organismos fueron colocados en una pecera con capacidad de cinco litros, con luz roja se ilumino el sistema para la filmación en la oscuridad, permitiendo así establecer periodos de grabación de 30 minutos cada uno (Fig. 8).

Las video-grabaciones se realizaron de manera semanal (durante cinco semanas), iniciando a la misma hora (10 pm). Para poder estimar el desplazamiento de los organismos en la pecera, se marcaron cuadrantes de 3 x 3 cm. Los videos fueron posteriormente analizados para estimar el tiempo de permanencia del organismo en el fondo y en la columna de agua.



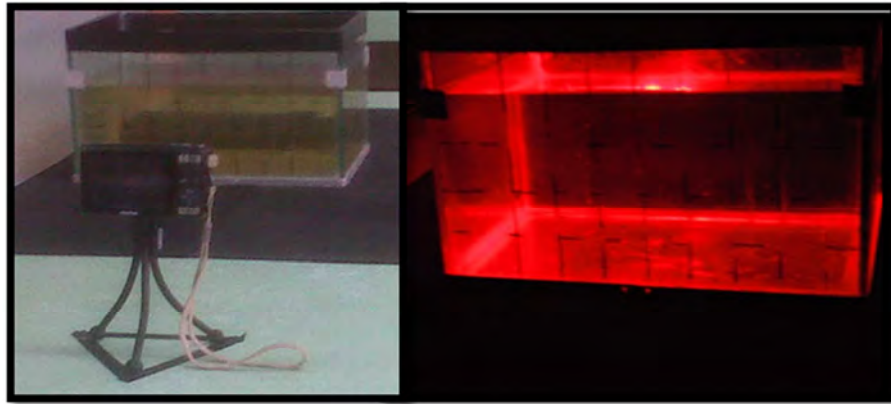


Figura 8.- Diseño para monitoreo de la conducta bajo condiciones de acidez distintas. Se resalta el montaje del equipo (a) y la apariencia e iluminación nocturna (b). La cuadrícula marca la escala (3cm x 3cm)

#### D. Análisis químico.

##### 1. Muestras de agua

Durante el tiempo de bioensayo se recolectaron muestras de agua, al inicio de cada recambio y después de transcurridas 24 horas (las muestras se tomaron una vez por semana); posteriormente mediante el uso de un medidor multiparámetros de HANNA C99 se obtuvieron los valores de nitritos, nitratos, amonio, oxígeno disuelto y pH, con los que se pudo evaluar la calidad del agua utilizada durante la fase experimental.

Para poder conocer las concentraciones de calcio en el agua del estero al inicio, durante y al final de los bioensayos, se llevó a cabo una titulación por medio de EDTA que consiste en:

Agregar 2 ml de NaOH 1N a 50 ml de muestra (agua del bioensayo), lo que ayuda a elevar el pH y así precipitar magnesio si es el caso. Posteriormente se añade 0.1 o

0.2 g de mezcla indicadora (purpurato de amonio) y por último se titulara hasta que de un color de rosa a púrpura.

Los cálculos se realizaron con la siguiente fórmula de acuerdo con Contreras (1994):

$$\text{Ca}^{++}(\text{mg/L}) = (\text{A} \times \text{B} \times 400.8) / \text{ml de muestra}$$

Donde

A= ml de titulante

B= mg CaCO<sub>3</sub> equivalente a 1ml de EDTA

## 2. Determinación de calcio en exoesqueleto y organismos

Los exoesqueletos obtenidos de los bioensayos fueron secados, pesadas y colocadas de manera individual en tubos de ensaye añadiéndoles un mililitro de ácido nítrico ultrex durante toda noche con la finalidad de eliminar toda la materia orgánica. Posteriormente fueron calentadas a 90°C por un periodo aproximado de tres horas a sequedad, para posteriormente recuperar material inorgánico agregando cinco mililitros de agua tridestilada. Para validar la recuperación obtenida en esta fase, se tomó como referencia una muestra (por cada 10 desconocidas) colocada y tratada de la misma manera de material de referencia certificado de hueso (Bone ash 1400, NIST) el cual tiene un contenido de 38.18 % ± 0.13 en peso de calcio. Al finalizar las muestras fueron colocadas en frascos individuales y puestos en refrigeración para su análisis y cuantificación de la concentración de calcio mediante la titulación por EDTA.

### E. Análisis Estadístico

Se determinó la homocedasticidad de los datos y la normalidad, con el objeto de definir las pruebas paramétricas o no paramétricas (medias y varianzas) para la comparación entre grupos de datos conforme a Fowler *et al.* (2000).

Al presentarse normalidad en los datos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para encontrar las diferencias significativas entre los pesos, tallas y concentraciones de calcio (muestras de agua, organismos y exuvias), según el caso.

Se realizó un análisis de correlación lineal simple con respecto a la talla y peso. |

Para el análisis de los datos se realizó una matriz de datos descriptivos la cual nos permitió comparar el desplazamiento de los organismos de los diferentes tratamientos. A los datos obtenidos en esta matriz se les representó cuantitativamente lo que nos permitió poder hacer un análisis estadístico no paramétrico (Kruskan-wallis).

VII. RESULTADOS:

A. Frecuencia de muda

Para los organismos de tallas menores (5-14 mm) se encontraron dos ciclos de muda (Fig. 9), que iban de los días 0 al 11 y del 12 al 24, siendo los días 7 y 18 donde se tuvo la mayor frecuencia de mudas, al comparar estos periodos de mudas, se encontró que la mayor frecuencia de muda fue en el día siete (Fig. 10).

Para los organismos con tallas medianas (15-24 mm) se observó dos periodos de muda que van del 0-13 y 14-24, al comparar estos periodos de mudas se tiene que los picos máximos de los dos primeros muestran coincidencia, siendo el día seis en el primer periodo y el día ocho para el segundo periodo donde se observa la mayor frecuencia, el último periodo presenta su máximo en el día seis (Fig. 11).

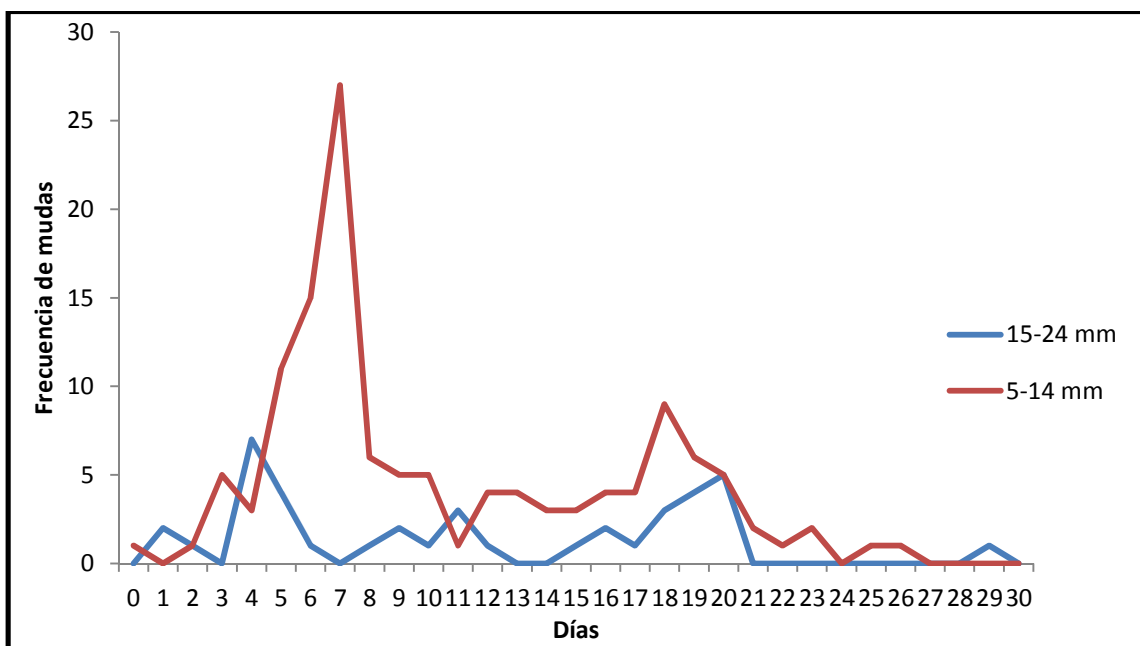


Figura. 9.- Frecuencia de mudas en *Litopenaeus vannamei* a diferentes tallas.

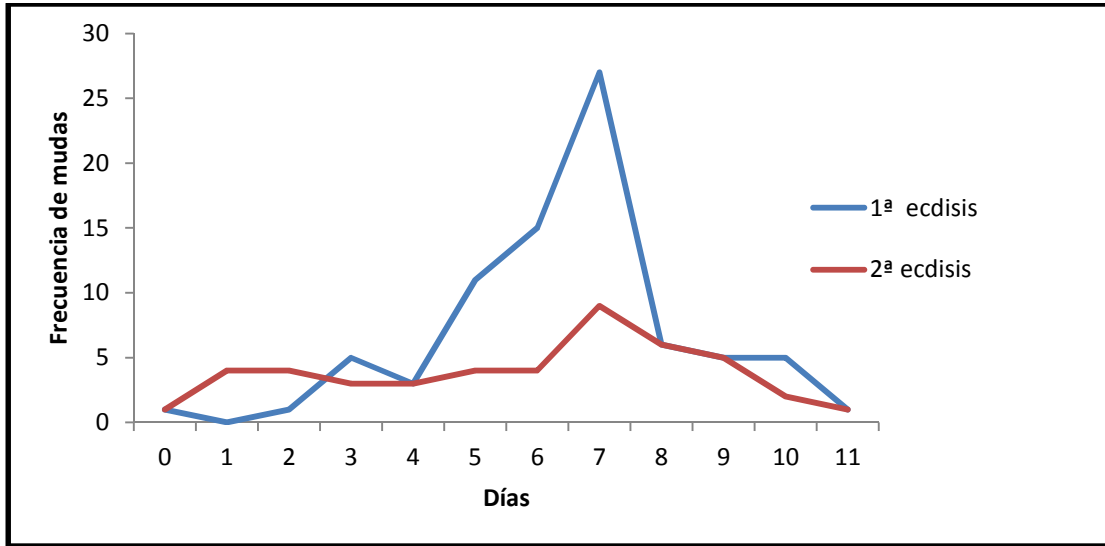


Figura. 10.- Comparación de los periodos de mudas (tallas 5- 14 mm)

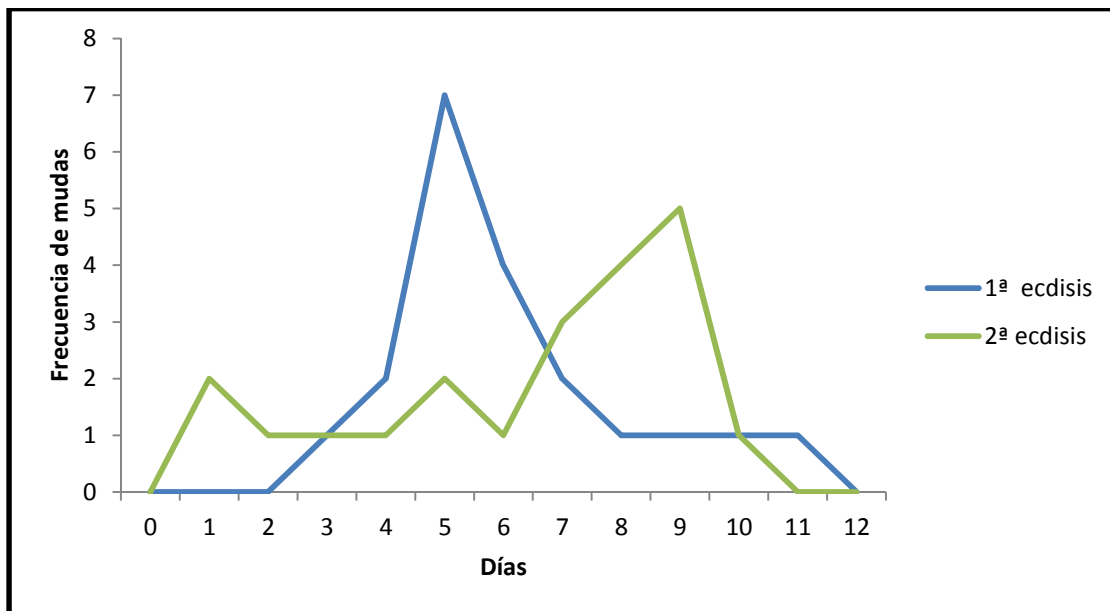


Figura. 11.- Comparación de los periodos de mudas (tallas 15-24 mm)

Posteriormente en el laboratorio se realizó un seguimiento de muda de manera individual, manteniendo una temperatura promedio de 28°C y una salinidad de 28 ups (parámetros óptimos para el crecimiento de la especie). Este seguimiento se realizó para poder comprobar si el ciclo de muda observado de manera grupal se conservaba de manera individual.

De lo anterior se observó dos ciclos de muda de los cuales se presentaron entre los días 0 al 11 y del 14 al 27 (Fig. 12), al comparar ambos ciclos vemos que las mayor frecuencia de muda no coinciden en el mismo día para ambos ciclos si no se observa un desfase de dos días, el periodo de intermuda observado fue en promedio de  $15 \pm 1$  días.

El promedio de duración observado del ciclo de mudas fue de 12 días. El periodo más corto fue de 10 días para los organismos de 5 a 15 mm y el de mayor duración fue de 13 días en los organismos con una LT de 30 mm.

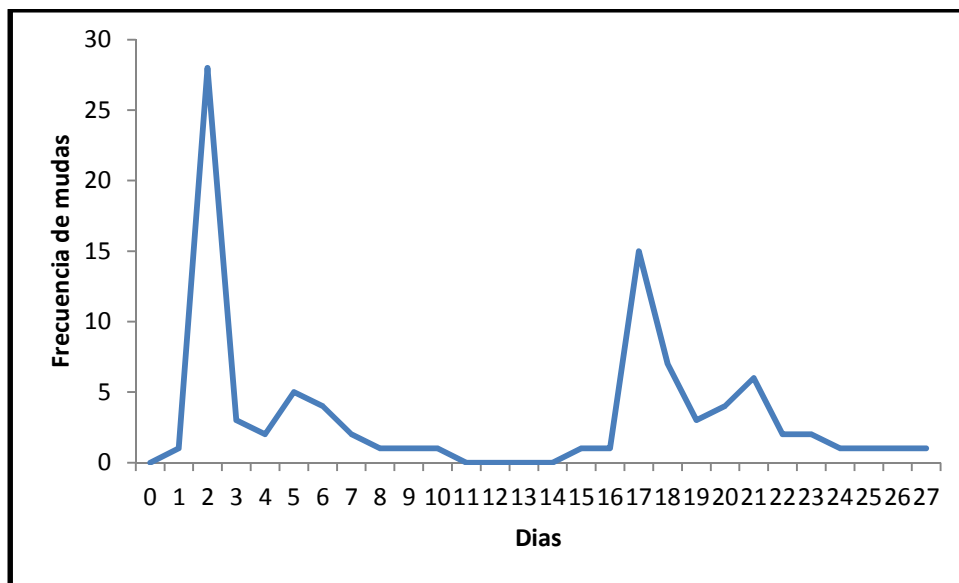


Figura 12.- Frecuencia de mudas en *Litopenaeus vannamei*

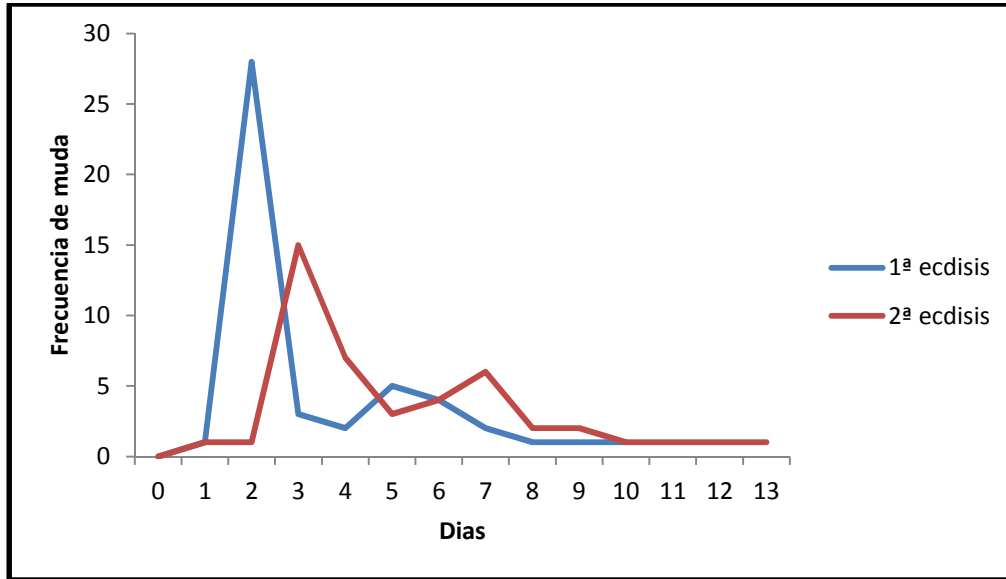


Figura 13.- Comparación de los periodos de mudas (tallas de 30 mm)

B. Acidificación del medio estuarino natural:

Posteriormente se realizaron las pruebas para acidificar el medio (agua del estero), conforme lo predicho por el IPCC (1997) para el año 2100, disminuyendo 0.4 unidades de pH, tomando como partida los valores promedios mínimos de pH que presentan las lagunas costeras que es de 7.3 unidades (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010). El procedimiento por el cual se logró la acidificación fue utilizando CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) inyectado directamente en el agua; la cantidad promedio necesaria para disminuir una unidad de pH fue de 0.74 g CO<sub>2</sub>/min/l. Cabe señalar que esta cantidad es necesaria para un agua estuarina con las características químicas que se presentan a continuación:

Tabla 1.- Parámetros físico-químicos iniciales del agua estuarina natural

Agua estuarina	temperatura	Salinidad	pH inicial	Oxígeno
<b>Esterio Pargo</b>	28°C	28 ups	7.8	5 mg/l

Prueba de tolerancia a los diferentes valores de pH (7.3, 6.9 y 6.5):

Después de conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> necesaria para llevar a cabo la acidificación requerida, se realizó una prueba a diferentes grados de pH esto con el fin de asegurar que los valores a considerar en los bioensayos no fueran letales y garantizar la viabilidad de los individuos. Se colocaron cuatro peceras de una capacidad de 25 L con 10 organismos cada una y sub-separados de manera individual. La temperatura permaneció constante a 28°C, la concentración de oxígeno se mantuvo en 5 mg/L mediante recambios diarios, la salinidad se fijo a 28 ups. Gradualmente se ajustó el pH hasta llegar a un valor de 7.3. Durante una semana se les mantuvo a esta condición, posteriormente a tres peceras se les disminuyeran 0.3 unidades de pH cada 24 h. La pecera original sirvió de control en el experimento. (Fig. 14 y tabla 2).

Tabla 2.- Adecuación de los organismos a las diferentes concentraciones de pH a una tasa de inyección de 0.2 g CO<sub>2</sub>/min/l

Núm. días	Control	Condición experimental 1	Condición experimental 2	Condición experimental 3
0	7.3	7.3	7.3	7.3
1	7.3	7.3	7	7
2	7.3	7	6.7	6.7
3	7.3	6.7	6.5	6.5
4	7.3	6.5	6.2	6.2
5	7.3	6.2	*5.9	*5.9
6	7.3	*5.9	**5.6	**5.6

\*Valor de pH al cual el 50% de los individuos murieron -\*\*Valor de pH al cual el 100% de los individuos murieron.



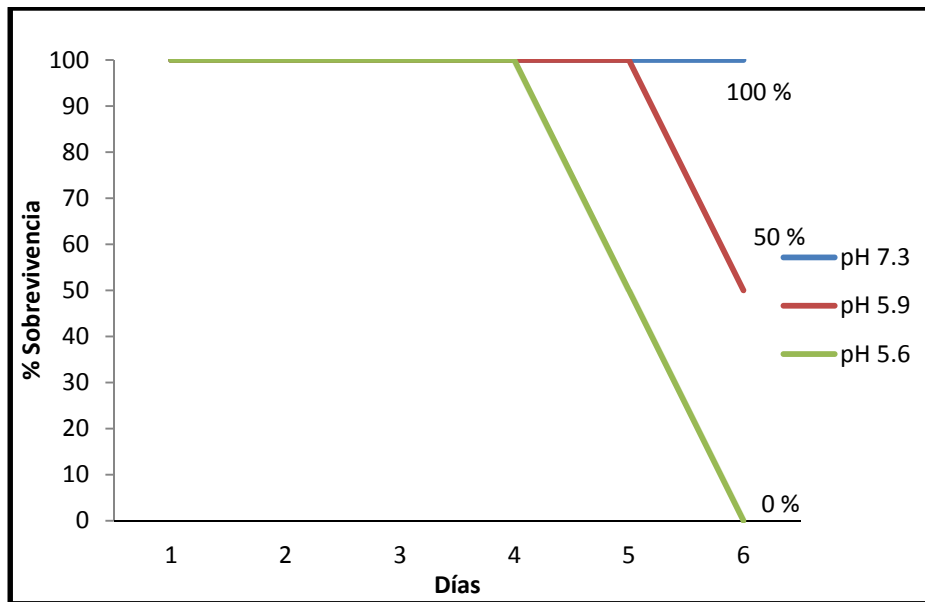


Figura 14.- Porcentaje de sobrevivencia de *L. vannamei* a diferentes disminuciones de pH durante seis días.

Con base en los resultados anteriores se tomó como primer pH experimental 0.4 unidades por debajo (1x lo predicho por el IPCC) del promedio más bajo considerado para lagunas estuarinas, que es de 7.3 (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010). Para un segundo valor experimental se consideró 0.8 unidades menos (2x lo predicho por el IPCC) que el valor control (pH 6.5).

Una vez conocida la cantidad necesaria de CO<sub>2</sub> para disminuir 0.4 unidades de pH y de conocer el periodo promedio de muda de los organismos se estableció las condiciones a desarrollar para los bioensayos (Tabla 3).

Tabla 3.- Parámetros utilizados durante el periodo de bioensayos

pH	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Oxígeno (mg/l)	Fotoperiodo
7.3, 6.9 y 6.5	28 ± 1	28 ± 1	4 ± 1	12/12

### C. Bioensayos

Los bioensayos tuvieron una duración aproximada de 40 días (día en el que mudo el último individuo), los organismos estuvieron sometidos a una acidificación de 6.5 y 6.9. Al finalizar el experimento solo se logro obtener los dos eventos de muda para los organismos controles (pH 7.3) y tratados a pH de 6.9.

Al comparar los periodos de intermudas (Prueba de  $t$ ) se observa que los camarones expuestos a un pH de 6.9 tuvieron un periodo de intermuda significativamente menor con respecto al tratamiento de pH 7.3 ( $p < 0.05$ ). La prueba sirve para corroborar que existe un incremento en días en el ciclo de muda de los organismos sometidos a una mayor acidificación (Fig. 15).

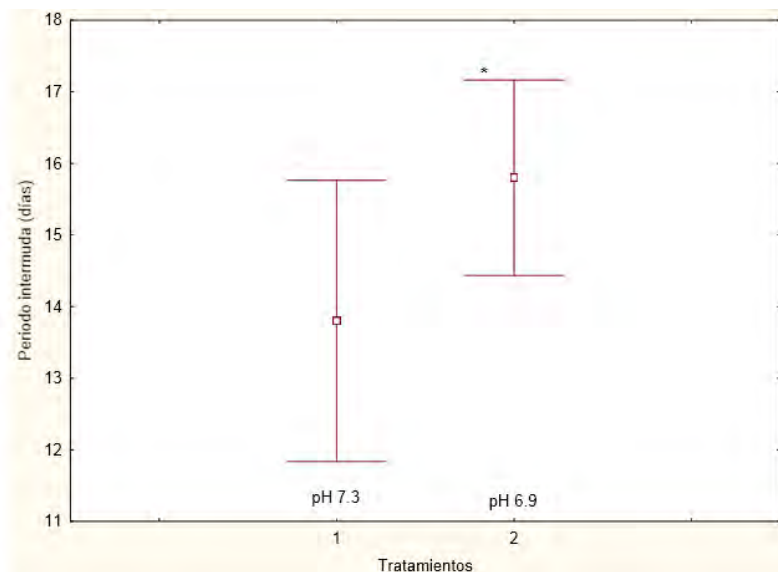


Figura 15.- Comparación de tiempo de intermuda entre el grupo control (7.3) y el primer grupo experimental (pH 6.9) (\* $p < 0.05$ )

Para el tratamiento con un pH de 6.5, solamente se obtuvo un evento de muda, ya que a partir del día 20 se tuvo una muerte del 70 % de los organismos y al finalizar los bioensayos ya se registro el 100 % (Fig. 14), para los tratamientos de 7.3 y 6.9 pH no se encontraron muertes a lo largo del experimento. Los organismos muertos presentaban la muda total o parcialmente desprendida (Fig. 17). Estos organismos fueron analizados al microscopio y fotografiados (Fig. 18), la visualización al

microscopio nos muestra que estos organismos se encontraban en el momento donde la exuvia estaba siendo desprendida por el organismo, proceso conocido como ecdisis. Los organismos obtenidos en cada tratamiento y al finalizar los bioensayos fueron medidos, pesados y preservados para su posterior análisis químico.

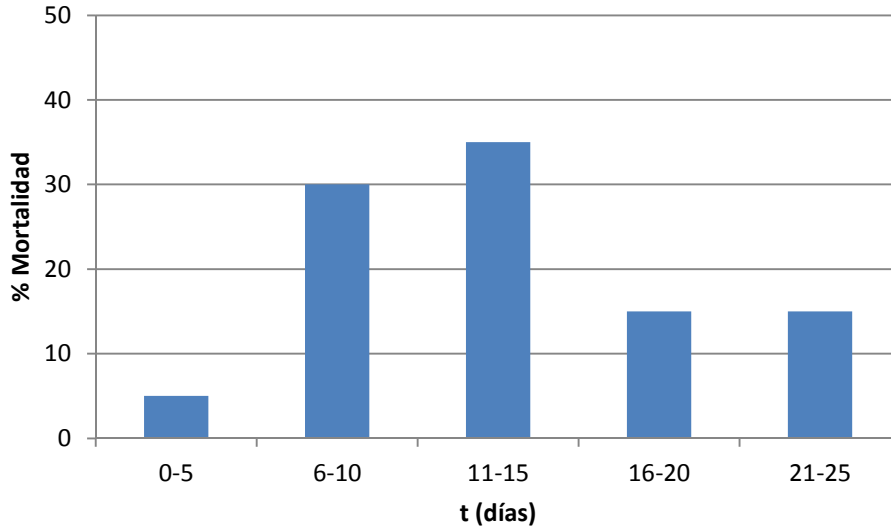


Figura 16.- Porcentaje de mortalidad con relación al tiempo de los organismos expuesto a un pH de 6.5

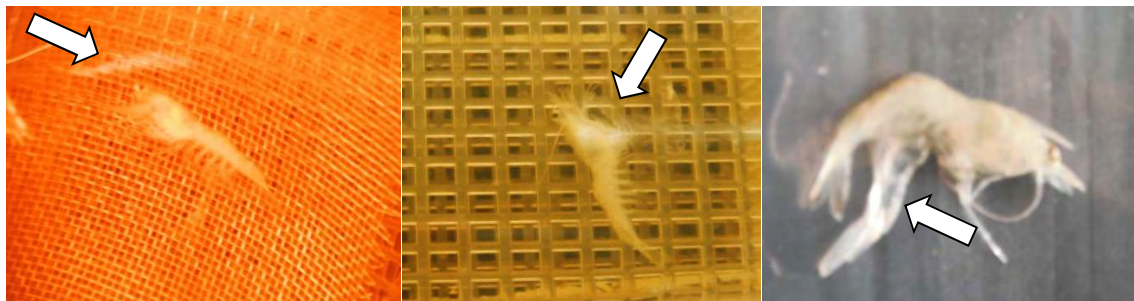


Figura 17.- Individuos que murieron después o durante la ecdisis expuestos a un pH de 6.5

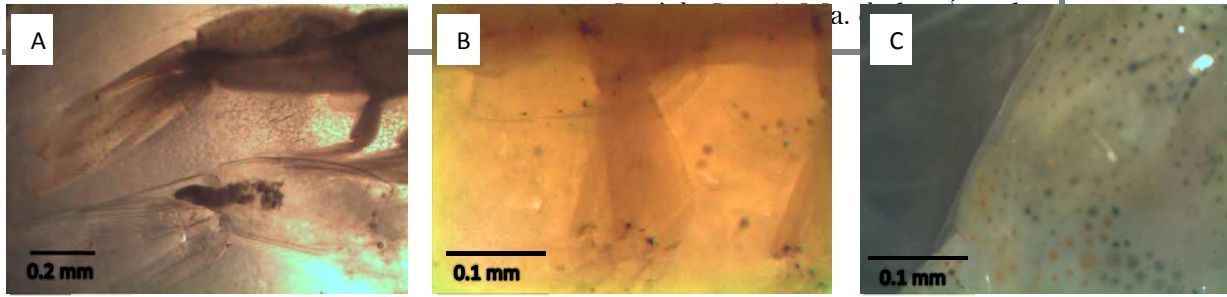


Figura 18.- Se presentan las imágenes vistas al microscopio estereoscópico de los organismos que murieron durante la ecdisis A.- sexto segmento y telson (0.7x), B.- Pleopodos del quinto segmento (aumento 3x), C.- Vista dorsal del cefalotórax (3x).

#### D. Calidad de agua:

Durante los trabajos experimentales se colectaron muestras de agua tanto al inicio, durante y antes de cada recambio, lo que permitió dar un seguimiento a los parámetros químicos como lo son los nitritos, nitratos, amonio y oxígeno disuelto, respecto de las inyecciones de CO<sub>2</sub> y del tiempo de exposición en los bioensayos.

Tabla 4.- Valores promedios con Desviación Estándar ( $\pm$  DE.) encontrados en el agua estuarina natural

Parámetros	Agua del estero
pH	7.8
Oxígeno	4.4 $\pm$ 1
NO <sub>2</sub>	0
NO <sub>3</sub>	0.06 $\pm$ 0.1
NH <sub>4</sub>	0.82 $\pm$ 0.1

Tabla 5.- Valores promedios ( $\pm$  DE) iniciales del agua estuarina natural una vez ajustadas las diferentes concentraciones de pH.

Parámetros	pH 7.3	pH 6.9	pH 6.5
Oxígeno	$5.1 \pm 0.3$	$5.07 \pm 0.5$	$5.06 \pm 0.4$
NO <sub>2</sub>	0	0	0
NO <sub>3</sub>	$0.03 \pm 0.07$	$0.08 \pm 0.1$	$0.08 \pm 0.1$
NH <sub>4</sub>	$0.21 \pm 0.3$	$0.23 \pm 0.3$	$0.27 \pm 0.3$

Tabla 6.- Valores promedios ( $\pm$  DE) previo (24 h) a los recambios del agua estuarina natural en los diferentes concentraciones de pH.

Parámetros	pH 7.3	pH 6.9	pH 6.5
Oxígeno	$3.92 \pm 0.2$	$3.89 \pm 0.4$	$3.89 \pm 0.2$
NO <sub>2</sub>	0	0	0
NO <sub>3</sub>	$0.1 \pm 0.3$	$0.1 \pm 0.4$	$0.08 \pm 0.2$
NH <sub>4</sub>	$0.5 \pm 0.1$	$0.5 \pm 1$	$0.5 \pm 1$

Se observó que los valores iniciales de amoníaco se ven afectados fluctuando de menor manera después de realizar las inyecciones de CO<sub>2</sub>. Las concentraciones de nitritos, nitratos y oxígeno se mantiene en promedio cercanos a lo valores iniciales y posterior a la inyección de CO<sub>2</sub>; el aumento del amoníaco parece deberse a la excreción de los organismos, por esta razón se necesitó realizar recambios de agua de manera periódica (cada 24h) lo que permitió mantener estas concentraciones químicas de manera estable y favorable.

## E. Comportamiento

### Video-grabaciones

Los videos donde los organismos fueron sometidos a una acidificación menor muestran que los individuos tienen un descenso en la actividad de desplazamiento con respecto a los organismos controles a lo largo del experimento. Se observó que en los tratamientos con un pH de 6.5, esta actividad se centra principalmente en el fondo, donde el organismo permanece más tiempo, aunque activo, siguen presentando aun movimiento y desplazamiento, pero sin dejar el fondo de la pecera, transcurrido dos semanas los organismos aunque siguen teniendo un movimiento, ya no muestran un desplazamiento notable con respecto al pH de 7.3 (control) y 6.9, finalmente los tres organismos de este tratamiento no finalizan el periodo de grabaciones, ya que mueren en los día 23, 26 y 29, lo que concuerda con lo observado en la prueba de crecimiento.

Para el tratamiento con pH de 6.9 se observó que aunque siguen en movimiento durante las semanas de grabación, su movilidad disminuye entre más tiempo de exposición se permita a esta acidificación, aunque visiblemente no parece ser tan notoria, como en el caso del tratamiento de pH 6.5 (Fig. 19).

Los movimientos observados en grado y espacio fueron categorizados de la siguiente manera:

MD = Mayor desplazamiento (muy poco tiempo en el fondo y marcos de la pecera, presencia mayormente en toda la columna de agua).

PD = Poco desplazamiento (mas tiempo sobre el fondo y los marcos de la pecera, menor en la columna de agua).

Dm = Desplazamiento mínimo (siempre esta en el fondo y raras ocasiones en los marcos de la pecera o en la columna de agua).

Obteniendo lo siguiente:

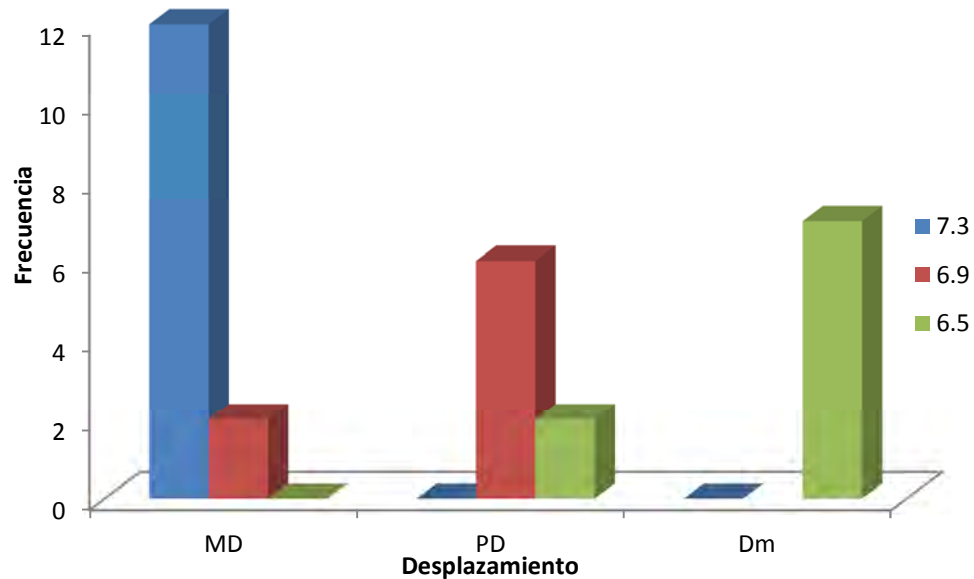


Figura 19.- Frecuencia de movimientos por magnitud de desplazamiento del camarón blanco expuestos a diferentes grados de acides (7.3, 6.9 y 6.5).

Los datos cualitativos anteriores se transformaron a valores arbitrarios (MD = 1, PD = 2, Dm = 3), una vez asignados se realizó un análisis de Kruska- wallis para datos no paramétricos, encontrando que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el desplazamiento entre los tres tratamientos.

#### F. Crecimiento

La longitud total promedio de los organismos al iniciar los experimentos fue de 29 mm  $\pm$  1, al realizar un análisis de varianza no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las LT de las diferentes condiciones de pH. Al finalizar los tratamientos se encontró lo siguiente:

Tabla 7.- Tallas mínimas, máximas, promedios y tasa de crecimiento  $\pm$  DE al finalizar la exposición a medios acidificados.

Tratamientos	pH 7.3	pH 6.9	pH 6.5
<b>Talla mínima</b>	33	33	26
<b>Talla máxima</b>	42	39	35
<b>Promedio final de tallas</b>	$38 \pm 2.4$	$35 \pm 1.8$	$31 \pm 2.3$

Existe una diferencia significativa  $p < 0.05$  entre las tallas de los tratamientos a pH de 6.9 con respecto a las encontradas en los organismos control (pH 7.3). Se puede observar una talla mayor en los organismos que están expuesto a condiciones de pH de 7.3 teniendo un promedio de LT de  $38 \pm 2.4$  mm. Con forme la acidificación aumenta, los organismos muestran una disminución en la LT, tal es el caso de pH 6.9 con un promedio  $35 \pm 1.8$ , que es menor en comparación al control. En el tratamiento con un pH de 6.5, los organismos no llegaron a la obtención de la segunda muda.



En la figura 20 se observa el análisis las longitudes iniciales y finales de los diferentes tratamientos.

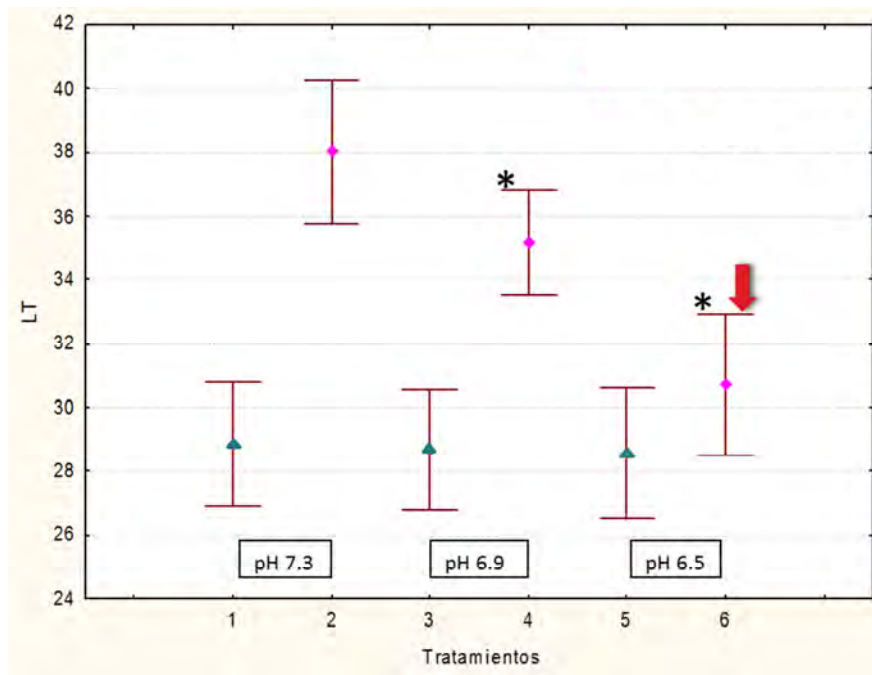


Figura 20.- Medidas de longitud total iniciales (▲) y finales (◆) de los diferentes valores de pH (7.3, 6.9 y 6.5). ↓ 90% organismos murieron antes del día 40 (\* $p < 0.05$ ).

## Peso

El peso promedio de los organismos al iniciar los experimentos fue de  $0.15 \pm 0.02$  g y al realizar un análisis de varianza no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los pesos de los diferentes tratamientos. Los pesos en relación al tiempo de exposición a las diferentes acidificaciones nos permiten observar que los organismos expuestos a mayor pH presentan en promedio un peso mayor en comparación con los expuestos a menor pH (mayor acidificación, Tabla 8).

Tabla 8.- Pesos mínimos, máximos y promedios  $\pm$  DE al finalizar los tratamientos.

Tratamientos	pH 7.3	pH 6.9	pH 6.5
<b>Peso mínimo</b>	0.25	0.15	0.12
<b>Peso máximo</b>	0.38	0.36	0.33
<b>Promedio final</b>	$0.29 \pm 0.05$	$0.21 \pm 0.04$	$0.18 \pm 0.03$

Existe una diferencia significativa  $p < 0.05$  entre los pesos de los organismos de los tratamientos a pH de 6.9 con respecto a las encontradas en el experimento control (pH 7.3). El tratamiento con un pH de 6.5 los organismos no llegaron al segundo evento de muda (Fig. 21).

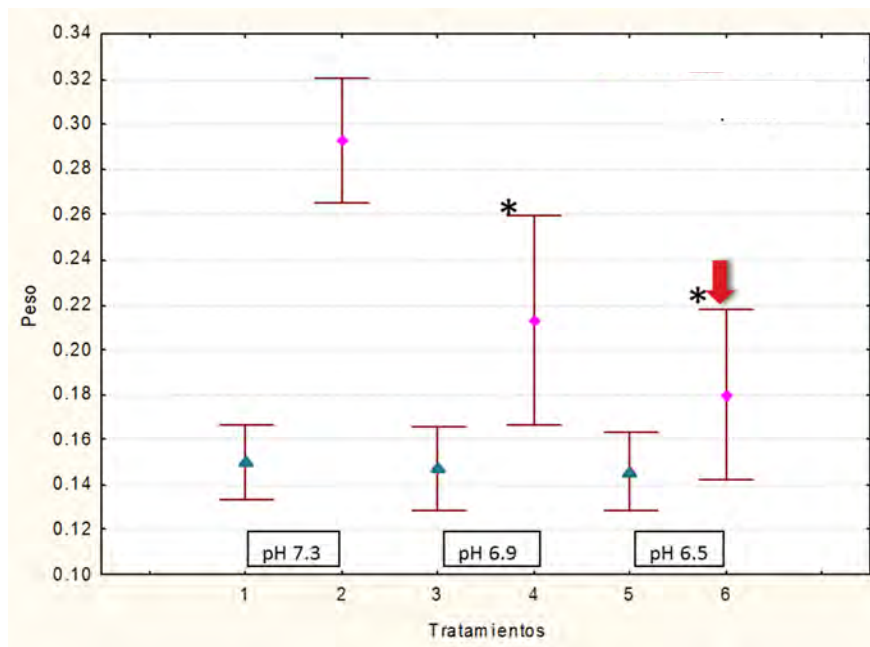


Figura 21.- Pesos iniciales ( $\blacktriangle$ ) y finales ( $\blacklozenge$ ) de los diferentes valores de pH (7.3, 6.9 y 6.5).  $\blacktriangledown$  90% organismos murieron antes del día 40 (\* $p < 0.05$ ).

Se calculo la tasa de crecimiento de los camarones *L. vannamei* durante sus días de exposición a las diferentes acidificaciones, podemos observar que existe un crecimiento menor tanto en talla (Fig. 22 y 23) como en peso (Fig. 24 y 25) de los organismos expuestos a una acidificación de 6.9 con respecto al control pH 7.3.

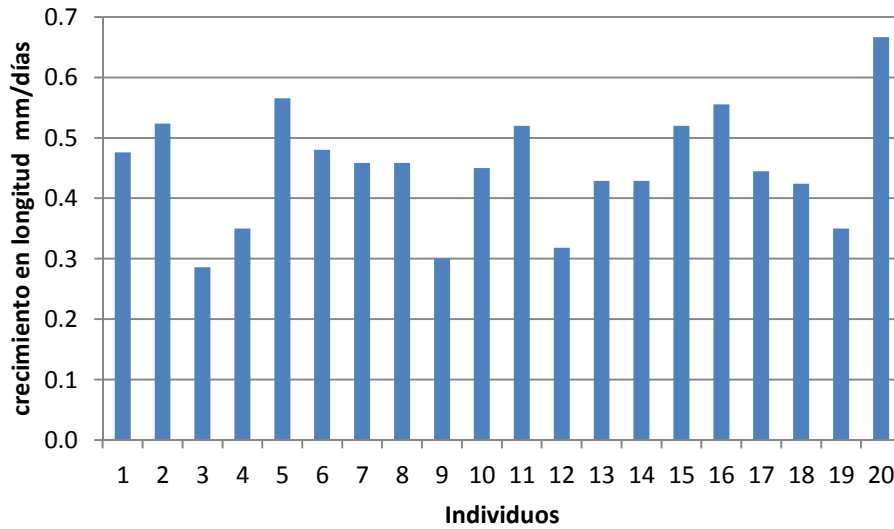


Figura 22.- Tasa de crecimiento en longitud de *L. vannamei* a un pH de 7.3

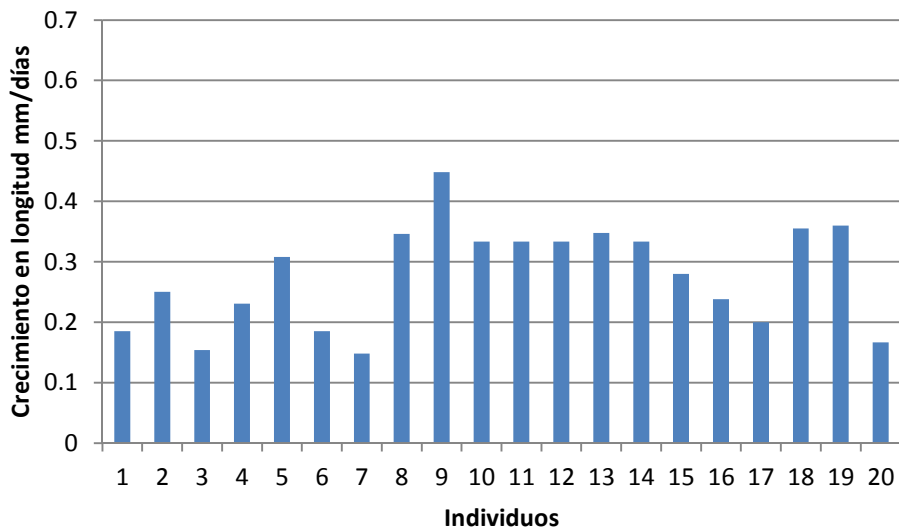


Figura 23.- Tasa de crecimiento en longitud de *L. vannamei* a un pH de 6.9

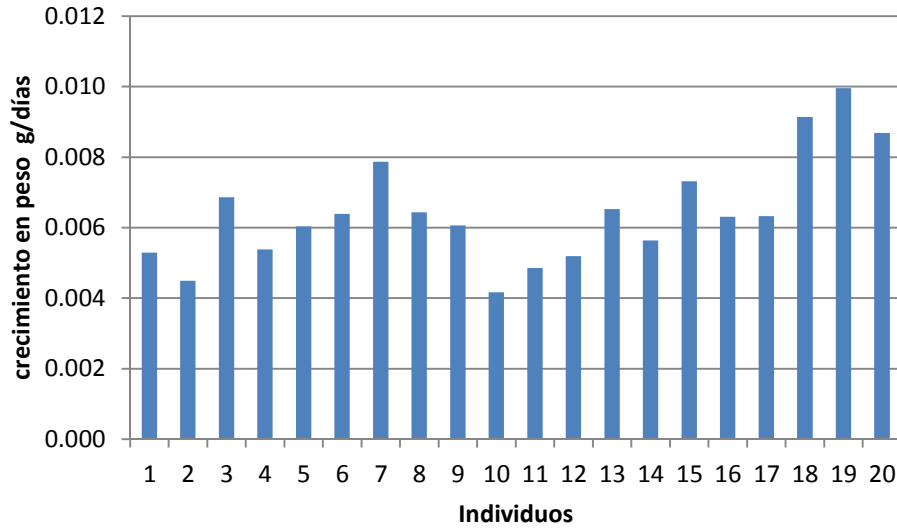


Figura 24.- Tasa de crecimiento en peso de *L. vannamei* a un pH de 7.3

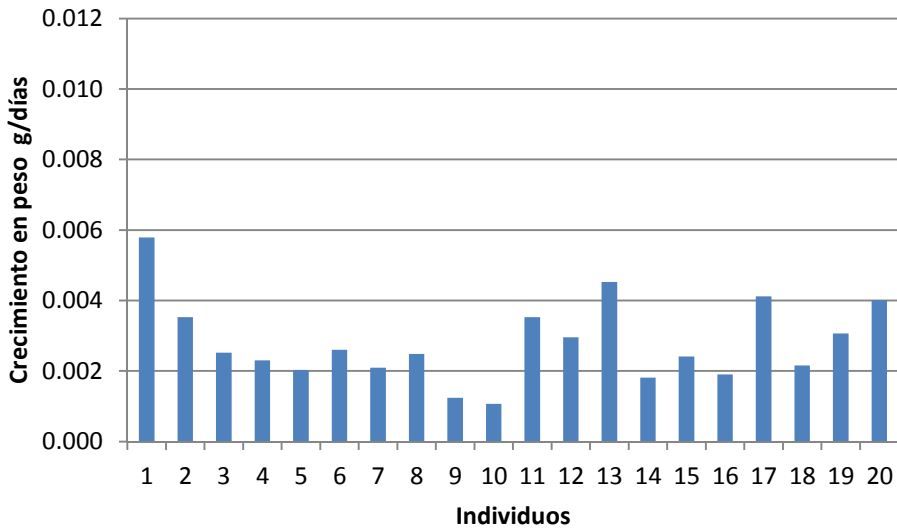


Figura 25.- Tasa de crecimiento en peso de *L. vannamei* a un pH de 6.9

Se llevó a cabo un análisis de correlación lineal simple entre las tallas y los pesos de los diferentes tratamientos, las graficas (Fig. 26 y 27) muestran que en el tratamiento control y pH 6.9, existe una relación directamente proporcional entre las dos medidas morfométricas (R de 0.97 y 0.91 respectivamente y una  $p < 0.05$  para ambos casos), con respecto al tratamiento con pH 6.5 no hubo una correlación ya que estos organismos no terminaron el tiempo completo de exposición a esta acidez.

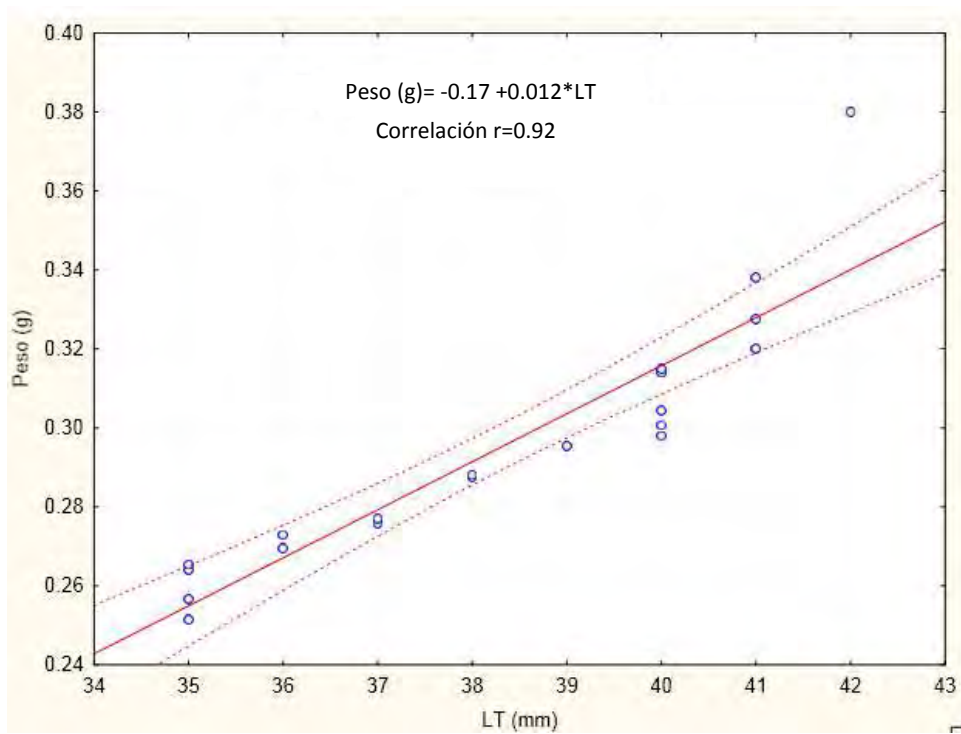


Figura 26.- Correlación de talla vs peso final a un pH de 7.3.

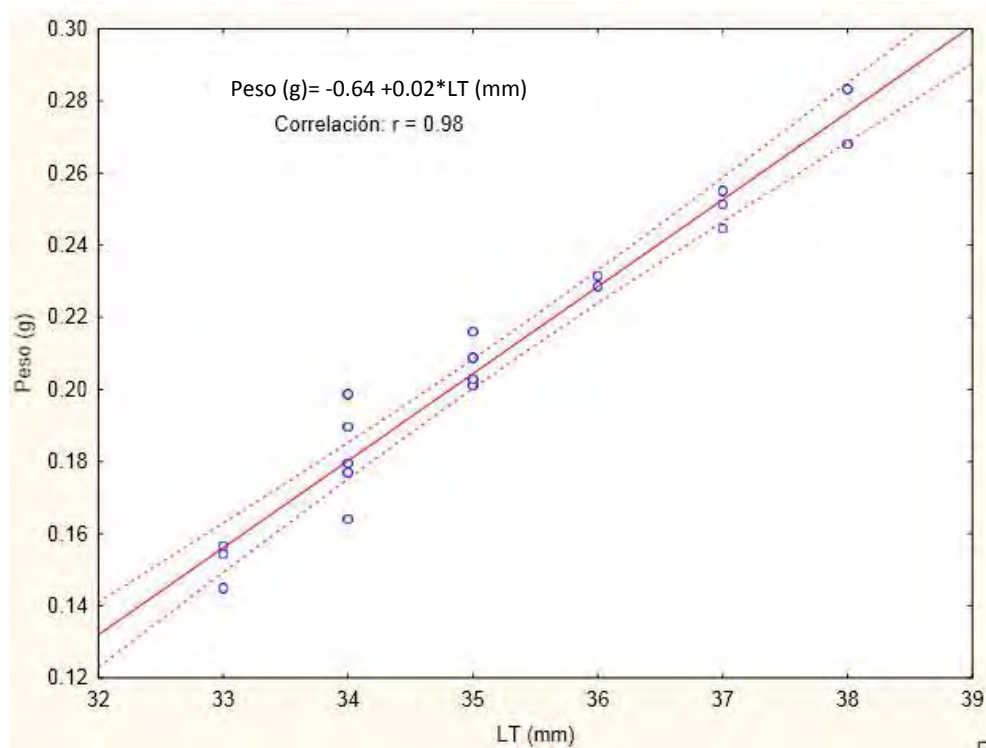


Figura 27.- Correlación de talla vs peso final a un pH 6.9.

### G. Calcio en agua estuarina:

La concentración de calcio inicial del agua estuarina fue de  $337 \pm 40.1$  mg/l, (antes de realizar las inyecciones de  $\text{CO}_2$ ). Posterior a las inyecciones se encontró una diferencia en los promedios (tabla 10), las concentraciones de calcio entre los diferentes tratamientos va disminuyendo (Fig. 28) esta disminución se va dando conforme aumenta la acidez.

Tabla 9.- Concentraciones promedio (mg/l± DE) de calcio en agua estuarina a diferentes valores de pH.

pH 7.9	pH 7.3	pH 6.9	pH 6.5
337 ± 40.1	258±6.8	180±10.5	128±8.2

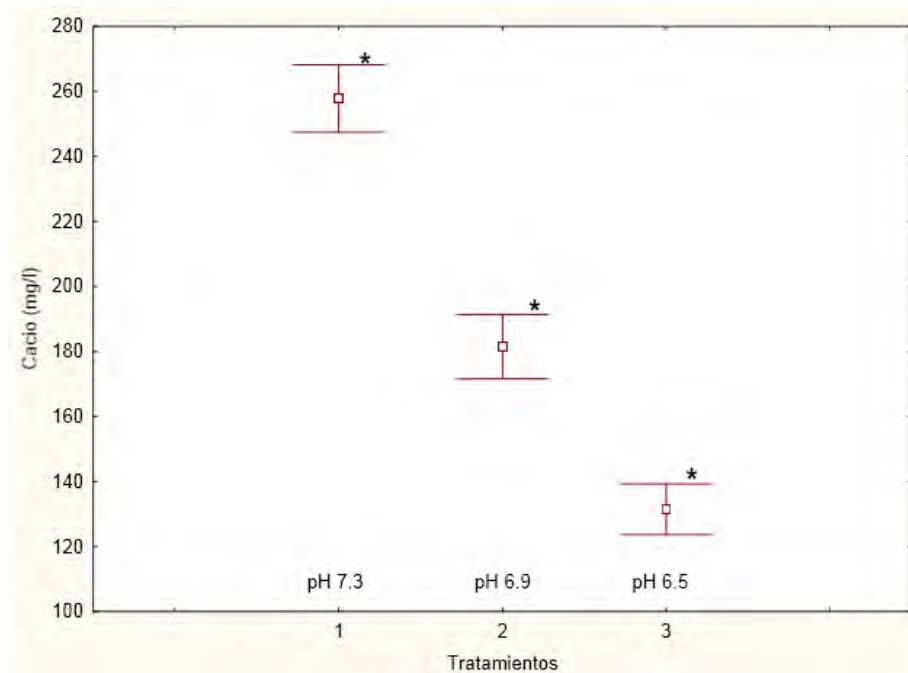


Figura 28.- Concentración de calcio (mg/l) en agua estuarina a pH 7.3, 6.9 y 6.5 (\*p<0.05)

### H. Calcio en organismos

La recuperación del material de referencia de Hueso (Bone ash 1400) en promedio fue de del 97% (±2).

Las concentraciones de calcio encontradas en los diferentes tratamientos muestran diferencias significativas entre los bioensayos sometidos a mayores acidificaciones (p<0.05) (Fig. 29), las medias (Tabla 10) encontradas nos indican una disminución conforme la acidificación es mayor. Con respecto al valor encontrado para el pH de

6.5 debemos tomar en cuenta el descenso de los organismos antes de lograr alcanzar la segunda muda.

Tabla 10.- Concentraciones promedio (mg/g ± DE) de calcio en camarones completos *L. vannamei* a diferentes valores de pH.

pH 7.3	pH 6.9	pH 6.5
5.58±0.83	4.27±0.78	3.47±0.77

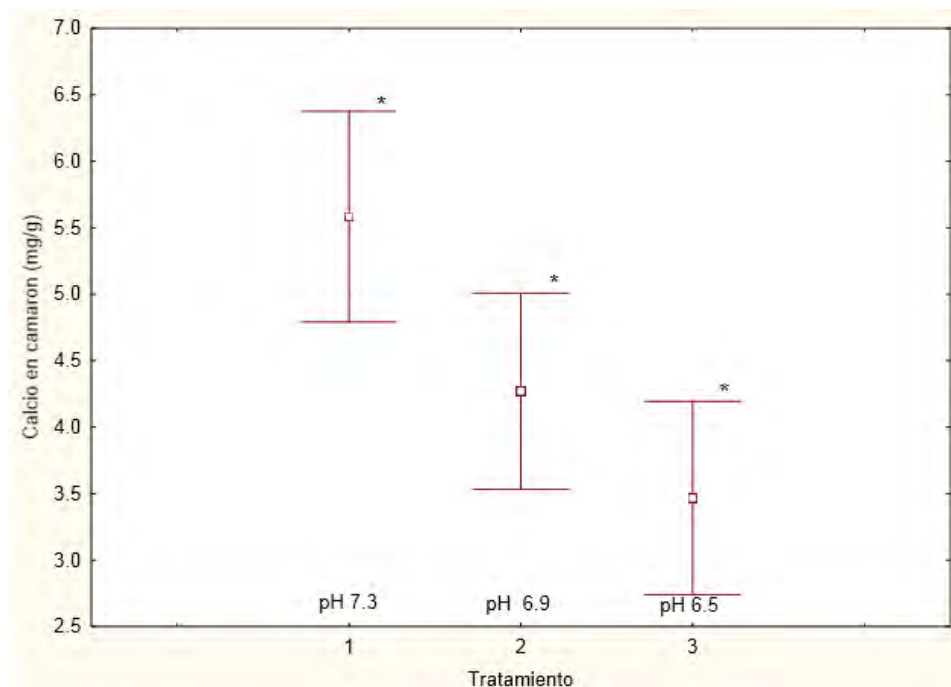


Figura 29.- Concentración de calcio (mg/g) en camarones completos de *L. vannamei* a pH 7.3, 6.9 y 6.5 ( $p < 0.05$ ).

### I. Calcio en exuvia (1ª muda)

Al igual que con los individuos de camarón se realizó un análisis de calcio en las exuvias obtenidos en los diferentes tratamientos. Los análisis estadísticos (ANDEVA) muestran que no existe diferencias significativas entre los



concentraciones de calcio del grupo control y los grupos experimentales  $p > 0.05$  (Fig. 30).

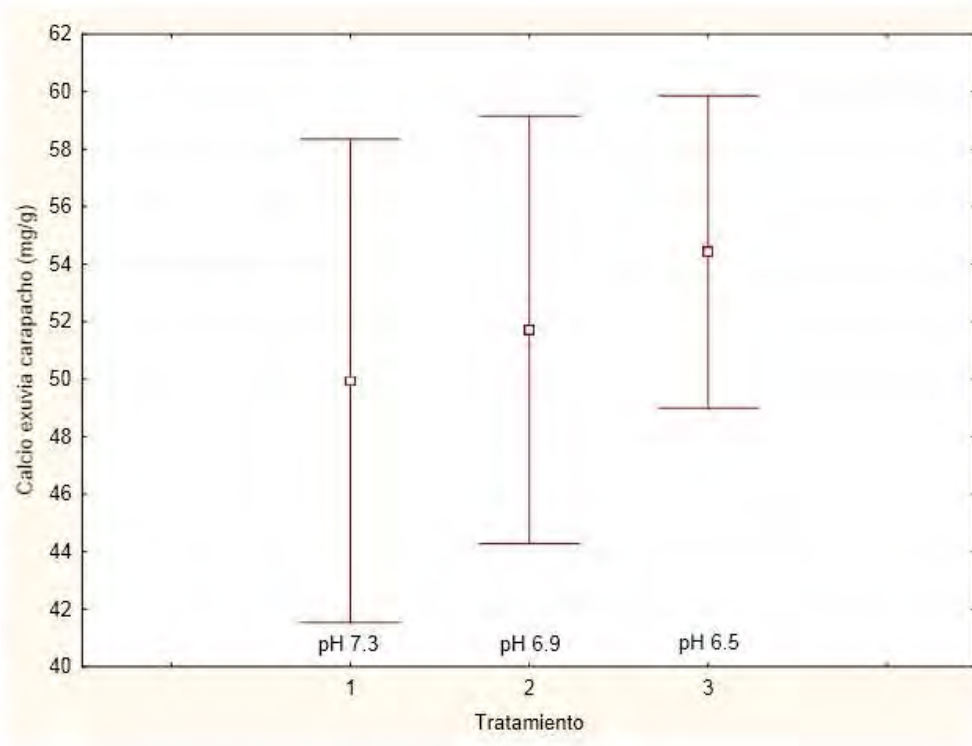


Figura 30.- Concentración de calcio (mg/g) en 1era exuvia (carapacho) de *L. vannamei* a pH 7.3, 6.9 y 6.5 ( $p > 0.05$ ).

#### Calcio en exuvia de carapacho (2da muda)

El análisis estadístico (*t*-test) de calcio realizado en las exuvias de los carapachos de la segunda muda nos muestra que existe una diferencia significativa entre los contenidos de calcio del grupo control y el grupo experimental con pH 6.9 ( $p = 0.05$ ) siendo menor las concentraciones encontradas en el pH experimental que a un pH de 7.3. (Fig. 31).

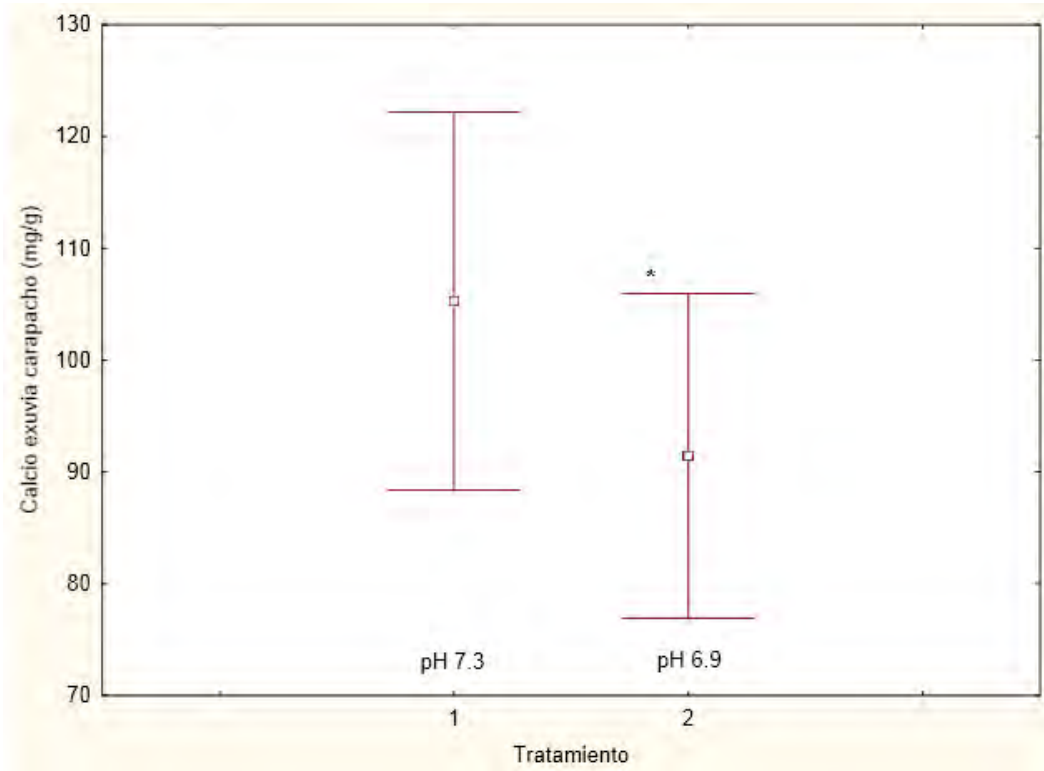


Figura 31.- Concentración de calcio (mg/g) en 2da exuvia (carapacho) de *L. vannamei* a pH 7.3 y 6.9 (\* $p < 0.05$ ).

## VIII. DISCUSIÓN

### Frecuencia de mudas

El crecimiento en los crustáceos se observa como un proceso discontinuo que ocurre por diferentes etapas. La ecdisis es una etapa en la cual implica la degradación y el abandono del exoesqueleto, lo que permite a estos organismos crecer. La sucesión de mudas separada por periodos de intermudas permite que ocurra un súbito incremento en el tamaño como resultado de la absorción de agua que ocurre antes de que el nuevo exoesqueleto se endurezca por la incorporación de sales principalmente de calcio. Cabe señalar que el crecimiento en estos organismos depende de la edad del organismo y las condiciones ambientales en las que se encuentre. Existen estudios referentes a la variabilidad y sensibilidad de los ciclos de muda con respecto a factores como son la temperatura, salinidad y disponibilidad de alimento, donde cambios en estos factores pueden influir en la duración de los periodos de muda. Galindo (2007) reporta que un cambio en temperatura de 3°C ocasiona que los ciclos de muda en *L. vannamei* modifiquen su duración en un día; por esta razón se decidió mantener una temperatura constante de 28°C en los bioensayos del presente trabajo. Con respecto a la salinidad Browder *et al.* (2007), reportan que la frecuencia de muda en los crustáceos es independiente de la salinidad aunque también existen trabajos como los de Petriella y Boschi (1997) también reportan un efecto significativo en la variación de salinidad sobre los periodos de muda mostrando una variación en el número de días en los ciclos de mudas.

Se ha determinado que la duración del periodo de muda en juveniles de camarones peneidos oscila entre 10 a 19 días (Eldred *et al.*, 1965), en la especie *L. vannamei* se ha reportado por varios autores frecuencias de mudas entre los 9 y 14 días, tomando en cuenta la temperatura a 28°C (Betancourt *et al.*, 1993; Charmantier *et al.*, 1994; Galindo, 2007; Bonilla, 2009). Los periodos entre mudas encontrados en los experimentos del presente estudio coinciden con lo ya propuesto y mencionado

anteriormente, con un promedio de frecuencia de 12 días a una temperatura de 28°C, siendo el periodo más corto de nueve días y el más largo de 12 días. En este sentido el periodo de entre mudas fue afectado de manera significativa con respecto a la acidificación del medio pH (7.3, 6.9 y 6.5) encontrando periodos de hasta 18 días en los tratamientos con una mayor acidificación. Los organismos marinos responden de distinta manera en las diferentes etapas de su ciclo de vida, de hecho es en las primeras etapas en donde son especialmente más sensible; la intensidad de los efectos que tenga la acidificación como podría ser el aumento en tiempo de los periodos de muda podría depender en parte de la interacción entre la acidificación y otras presiones ambientales. Este trabajo aporta información biológicamente importante pues se ha descrito la duración de ciclo de muda considerando desde un punto óptimo, hasta los cambios producidos por el efecto de una acidificación por aumento de CO<sub>2</sub>, lo que hasta este momento no se ha reportado en México, al menos en lo que respecta al medio estuarino. A nivel mundial los trabajos realizados son principalmente sobre el efecto en un medio marino y sobre el daño en ambientes de arrecifes de coral (Hoegh- Guldberg *et al.*, 2007, Manzello *et al.*, 2008).

Durante los experimentos realizados en este trabajo bajo los diferentes grados de acidificación, se pudo observar que los organismos expuestos a la menor acidez del medio (pH 6.5), los individuos se ven afectados a tal punto de comprometer su supervivencia.

Los crustáceos se caracterizan por ser un grupo diverso de invertebrados que en su mayoría habitan en ambientes marinos, aunque también los encontramos representados en sistemas dulceacuícolas y terrestres. Estos organismos dependen en gran medida de las respuestas fisiológicas y de la capacidad osmoreguladora que desarrollan a lo largo de su ciclo de vida para afrontar los cambios físico-químicos a los que frecuentemente están sujetos. La capacidad de osmoregulación en estos organismos se encuentra directamente relacionada con su distribución, el ciclo de vida y su comportamiento reproductivo. Los crustáceos deben adaptarse

fisiológicamente a su ambiente durante los diferentes estadios a lo largo de su crecimiento, al presentar estadios en diferentes ambientes también presenta una capacidad osmoreguladora que va cambiando a lo largo de su desarrollo, donde su mayor capacidad de regulación osmótica representa una ventaja adaptativa que permite a los crustáceos en estadios tempranos distribuirse en ambientes estuarinos (Newell, 1976)

Los crustáceos al igual que todos los seres vivos requieren de elementos esenciales indispensables para llevar a cabo diferentes procesos biológicos, un decremento o incremento en las concentraciones del medio externo da como resultado que los movimientos de difusión de agua y de iones se lleven acabo a través de cualquier superficie permeable y que se vean disminuidas o intensificadas. (Bliss y Mantel 1983). Existen elementos que se obtienen de la alimentación o del medio que los rodea como es el caso del calcio que se encuentra presente en los ambientes marinos, dulceacuícolas y como parte de la composición mineral en el sedimento. El calcio es un elemento que se encuentra presente en los organismos tanto en la hemolinfa como en los tejidos celulares; cambios en las concentraciones de este catión pueden comprometer el funcionamiento metabólico de los organismos, debido a que se encuentra involucrado en diferentes rutas metabólicas como es en el control hormonal corporal de los crustáceos. (Wheatly, 1989).

Existe un mecanismo de suma importancia en donde el calcio está fuertemente relacionado y es considerado como el componente principal e indispensable, se presenta durante la biomineralización que ocurre durante el crecimiento de los crustáceos (Huang, 1983). Debido a que los exoesqueletos están formados principalmente de  $\text{CaCO}_3$  (80%) y que estos son remplazados frecuentemente (ecdisis), es durante esta fase del ciclo de muda donde el organismo necesita una mayor movilización de calcio celular. El calcio es principalmente es tomado del medio marino y regulado en las gándulas antenales, tracto digestivo, y las branquias, siendo estos dos últimos considerados como tejidos multifuncionales en donde los cambios en permeabilidad están fuertemente relacionados con el

intercambio de gases, el balance ácido base, alimentación y excreción (Bliss y Mantel 1983)

El calcio obtenido y almacenado en estos tejidos es solubilizado para posteriormente ser transportado mediante movimientos pasivos (como la osmosis, que no involucra un gasto energético directo) o por medio de bombas iónicas (transporte activo) a través de las membranas celulares, las bombas de  $\text{Ca}^{2+}$  encargadas del transporte de calcio al interior y exterior de la célula; como su nombre lo indica estas bombas son dependientes de energía molecular llamada Adenosin trifosfato (ATP) para su funcionamiento. Esta energía molecular es consumida por las enzimas involucradas durante movimiento de calcio celular (Wheatly *et al*, 2002) durante la ecdisis y la postmuda los diferentes movimientos para transportar calcio están trabajando de manera activa lo que requiere de un gasto energético continuo.

Habría que tener en cuenta que el gasto energético no sería la única causa que afectara a estos organismos. Trabajos realizados en peces como son las truchas muestran que aunado la dificultad de la toma de  $\text{Ca}_2^+$  a través de las branquias presentan una pérdida de sodio corporal, esta pérdida indican que solo puede ser explicada por la posible afectación de la bomba  $\text{Na}^+ \text{K}^+$  donde el intercambio que posiblemente se pudiera dar es la de  $\text{Na}^+$  por  $\text{H}^+$  resaltando así la importancia del transporte activo (mencionado anteriormente) una alteración de estos puede presentar no solamente la pérdida de homeostasis sino también llevar a la muerte de los organismos. (Jobling, 1995) El mecanismo de regulación que presentan muchos organismos como los crustáceos es muy eficiente para compensar las variaciones del ambiente, sin embargo la acidificación de los cuerpos de agua en este caso de los medios estuarinos, pueden llegar a extremos donde los organismos probablemente no lleguen a adaptarse. La demanda de mayores concentraciones de calcio requerirá por lo tanto el consumo de una mayor energía en estas vías metabólicas, ocasionando que los organismos puedan comprometer su gasto energético, a tal punto, de conllevar a los individuos a no lograr abastecer la

demanda necesaria para llevar a cabo sus procesos metabólicos, lo que comprometería su supervivencia.

Existen diferentes factores que en conjunto ocasionen que los organismos ya no puedan continuar con su ciclo de vida. La acidificación tendrá un impacto sobre la disponibilidad de calcio asimilable para los organismos, quizás el impacto metabólico que tenga los cambios de pH internos sean mas determinante en el ciclo de vida de los crustáceos.

Como se ha mencionado antes, la biomineralización es un proceso que ocurre para dar lugar a un nuevo exoesqueleto, esta mineralización se comienza a dar durante la ecdisis pero en esta fase el exoesqueleto recientemente formado, contiene bajas concentraciones de calcio y mucho mayor es el porcentaje de agua presente. En los cangrejos se ha visto que la fijación de calcio ocurre de dos a tres horas antes de que ocurra la ecdisis, pero no es hasta transcurrido aproximadamente una semana cuando el porcentaje mineral en el exoesqueleto alcanza los niveles de calcio que se han encontrado durante el periodo de intermuda (Neufeld y Cameron, 1992)

Químicamente esta remineralización tiene como resultado la fijación de carbonato de calcio y la liberación de iones de hidrogeno ( $H^+$ ), Cameron en 1985 muestra que los valores internos del pH óptimos para la fijación de calcio es de 8.2, comprobó posteriormente que estos valores pueden verse afectados debido a una acidosis interna ocasionada por el aumento de  $H^+$ , una vez que el organismo ha fijado el carbonato de calcio, los  $H^+$  son activamente trasportados en la hemolinfa para ser finalmente expulsados por las branquias; estudios posteriores (Cameron y Wood, 1985, Perry *et al*, 2001), muestran que al disminuir el pH del medio externo se evita que la expulsión se lleve a cabo de manera continua, ocasionando que la difusión de  $H^+$  en la hemolinfa se vea retardada lo que ocasione una acidosis interna.

La acidificación interna en conjunto con el gasto energético de los organismos y el colapso de otros sistemas metabólicos puede llevar a comprometer su

supervivencia, esto ocasionaría que las poblaciones adultas de crustáceos se vean fuertemente afectadas.

### **Video Grabaciones**

Los trabajos relacionados sobre comportamiento en crustáceos con respecto a la acidificación en el medio marino, es nula, tanto en ambientes marinos como estuarinos. Las videograbaciones realizadas en este trabajo nos permitieron observar de manera general como las diferentes acidificaciones van dando paso a diferentes respuestas en los organismos, variando con el grado de acidez y el tiempo de exposición. Estas respuestas pueden variar en las diferentes especies, para este caso los individuos de *L. vannamei*, nos muestran un cambio en el desplazamiento que tienen, conforme la acidificación aumenta, siendo menor a pH más ácidos (6.9 y 6.5), los organismos aunque aún muestran movimiento, ya no se desplazan con la misma frecuencia ni intensidad, esto se observa a simple vista. Un estudio donde se expone a la especie *Amphiura filiformis* a menores acidificaciones, muestran una disminución en la masa muscular de estos organismos, lo cual lo relacionan con una posible pérdida de fuerza. Este trabajo sugiere que ésta disminución en la fuerza evitara que el organismo pueda ejercer actividades donde involucre una mayor actividad muscular, e incluso disminuyan su alimentación (Wood *et al.*, 2009).

La disminución del desplazamiento en los camarones a mayor acidez puede deberse a diferentes situaciones, una de ellas sería las reservas energéticas, al ser sometidos a valores por debajo del rango de tolerancia (mayor acidez), le conllevaría un mayor esfuerzo representado en un mayor gasto energético (Wheatly *et al.*, 2002), que en algún momento el organismo ya no podría compensar, puesto que al dejar de desplazarse implicaría el disminuir la probabilidad de encontrar alimento y tendría que utilizar sus reservas metabólicas hasta el punto de ya no tener de donde adquirir la energía para poder sobrevivir. Todo esto sucedería si el organismo



lograra sobrevivir a la depredación, la cual también aumentará aún más su vulnerabilidad.

Otra posible causa de esta disminución al desplazamiento podría ser una narcosis involucrando una pérdida sensorial que se va a grabando conforme el organismo permanece mas tiempo expuesto a  $\text{CO}_2$ . Se sabe que gases como el nitrógeno pueden causar este efecto sobre todo si los organismos son expuestos por tiempos prolongados; entre los síntomas de narcosis se encuentra el retraso a estímulos visuales o sensitivos, pérdida motora e incluso la muerte, posiblemente esta narcosis ocurrida al inyectar  $\text{CO}_2$  en la columna de agua sobre los camarones, en conjunto con la disminución del pH y el comprometer otras funciones metabólicas, conlleve al organismo a una disminución en desplazamiento para finalizar en una muerte en medios mas ácidos.

## **Análisis químico**

### **Agua**

A diferencia de la composición homogénea del agua de mar, los constituyentes iónicos de las aguas costeras pueden variar en sus propiedades fisicoquímicas ya sea por procesos naturales o generados directa o indirectamente por el hombre. El mantenimiento de las concentraciones de iones internas con respecto a su medio son factores que los organismos deben afrontar en todo momento, siendo en la zonas costeras donde las condiciones ambientales son relativamente mas adversas debido a los amplios rangos de variación que presentan los factores físico químicos (Bliss y Mantel, 1983).

Las concentraciones de amonio encontradas en el agua estuarina se ven disminuidas después de realizar las inyecciones con  $\text{CO}_2$ , este decremento ocurrido después de realizar las inyecciones realizadas con  $\text{CO}_2$  puede deberse a la oxigenación constante que se mantuvo antes y después de la acidificación (aguas

pobres en oxígeno disuelto muestran una presencia mayor de amonio) y también se ha visto que el aumento de CO<sub>2</sub> libre en la columna de agua y la disminución de los valores de pH reduce la toxicidad del amonio total (Fivelstad, 1988).

La concentración de nitritos (NO<sub>2</sub>) proveniente del agua estuarina natural fue mínima y en su mayoría indetectable (<0.001 mg/l) estos valores no mostraron una afectación por las inyecciones hechas con CO<sub>2</sub>, considerando que este nutriente es un estado intermedio de oxidación entre el amonio y el nitrato (Caso *et al.*, 2004; Göneç *et al.*, 2005). Las concentraciones de este nutriente se ha reportado son bajas en aguas costeras y únicamente las aguas residuales resultado de las actividades antropogénicas pueden ocasionar que se eleven las concentraciones de este nutriente.

El contenido de nitratos (NO<sub>3</sub>) en aguas costeras procede de la descomposición de materiales vegetales, de efluentes industriales o lixiviados de tierras donde se han utilizado fertilizantes nitrogenados (Göneç *et al.*, 2005). En este trabajo las concentraciones encontradas fueron <0.08 mg/l, estos valores se mantuvieron constantes tanto en el agua estuarina natural y después de hacer las inyecciones de CO<sub>2</sub>, a diferencia del contenido de amonio, este nutriente se encontró en menor concentración. Flores-Baca (2010) menciona que esta predominancia de amonio sobre los nitritos y nitratos, puede indicar mayores tasas de desnitrificación llevada a cabo por los procesos de nitrificación-desnitrificación.

Las concentraciones de oxígeno siempre se mantuvieron alrededor de 5 mg/l, concentración aceptable y óptima para mantener a los organismos sin comprometer su requerimiento durante el desarrollo de este trabajo (Göneç *et al.*, 2005).

Los valores de pH en promedio fueron de 7.9 unidades encontrando valores mínimos de 6.9 y máximos de 8.1. Cepeda (2005) reporto para la Laguna de Términos un intervalo de pH desde 6.5 con características estuarinas a 8.9 en las áreas que presentan una mayor influencia marina. Diferentes agrupaciones dedicadas al estudio de la acidificación marina, entre ellos el IPCC, en su reporte

sobre el cambio climático (2007) indican que de seguir el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, los valores de pH de los océanos se verán afectados disminuyendo en 0.4 unidades. A nivel mundial se sabe poco sobre el impacto que esta acidificación tendrá en las zonas costeras, como es el caso de las lagunas estuarinas, en donde existen zonas que ya se encuentran en rangos considerados ácidos (pH<7) estos cambios notablemente tendrán un efecto sobre los organismos que habitan en esas zonas como es el caso de los camarones peneidos que entran a las lagunas estuarinas en una parte importante de su ciclo de vida (postlarvas-juveniles) para alimentarse refugiarse y crecer, para posteriormente reclutarse a la población adulta. Estos hábitos podrían en un futuro verse alterados debido a estos cambios químicos que se presentarán en estos ambientes marinos y costeros.

### **Peso y talla**

El crecimiento de los crustáceos esta dado por un incremento en talla, peso y volumen, que ocurre cuando se produce la muda (ecdisis), existen factores que modifican estos patrones de crecimiento, ya sea de manera positiva o negativa, un cambio en mayor o menor grado ocasionan que los organismos respondan de manera diferente, los camarones peneidos sometidos a las diferentes acidificaciones nos presentan cambios en la talla y peso, obtenidos al finalizar los bioensayos; los organismos expuestos a una mayor acidificación (pH 6.9) presentan un promedio de peso y talla menor con respecto a los organismos controles, una acidificación mayor (pH 6.9) los camarones no logran tener ganancia de peso con respecto al control y al pH 6.5 no alcanzan a llegar a un segundo periodo de muda, mueren durante o inmediatamente después de la ecdisis. La acidificación pueda comprometer en cierta manera la capacidad de los organismos para poder alimentarse, en este caso, como se observo en los experimentos de afectación, la disminución de la actividad de los organismos como es el desplazamiento puede afectar la tasa a la cual los organismos se están alimentando. La alimentación en los organismos es un factor

importante y esta se ve acrecentada en los estadios tempranos ya que depende de la cantidad de minerales, vitaminas, lípidos y aminoácidos que el organismos asimile para poder continuar con su ciclo de vida, si es cierto que lo crustáceos son un grupo no selectivos que se pueden alimentar de diferentes grupos de invertebrados también es cierto que esta alimentación debe de ser de manera constante lo que conlleva a un esfuerzo del organismos a conseguir lo necesario para poder llevar acabo sus procesos fisiológicos vitales, el costo metabólico al momento de adquirir los alimentos es alto no solamente se recibe sustancias para la supervivencia si no que también hay gasto metabólico para poder llevar acabo esta asimilación de nutrientes, el organismos podría optar poder no alimentarse tan frecuentemente para no comprometer un costo mayor de lo que ya seria mantenerse en medios mas acidos.

Estudios realizados en la especie de bivalvo *Mitylus edullis* (Bibby *et al.*, 2008), los erizos *Echinometra mathaei* y *Hemicentrotus pulcherrimus* (Gazeu *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2011) muestran que en condiciones experimentales disminuyendo los valores de pH de 0.3 hasta 0.5 respecto al valor promedio encontrado en agua de mar ( $8 \pm 1$ ), estos presentan un pobre crecimiento en caso de los erizos y una perdida en la masa muscular en caso de *M. edullis* (Bibby *et al.*, 2008).

Los organismos dependientes de sitios de crianza como son las lagunas estuarinas no solamente afrontaran la acidificación en medio marino, si no también los cambios internos que se puedan presentar en estos ambientes, estos cambios podrían influir en el crecimiento de los individuos, afectando a las poblaciones adultas.

### Concentraciones de calcio en camarones y carapachos (exuvia)

Las concentraciones de calcio encontrado en los organismos (mg/g) en promedio fueron de  $5.58 \pm 0.83$  en un pH de 7.3,  $4.27 \pm 0.78$  y de  $3.47 \pm 0.77$  a un pH de 6.9 y 6.5 respectivamente. El calcio en los crustáceos se ha reportado alrededor de 104 mg/100 g en promedio, en otros organismos como en moluscos que es de 44.3 mg/100 g y en una porción muscular de pescado es de 18.2 mg /100 g (Durazo, 2006). En un estudio comparativo realizado sobre la composición de minerales en organismos adultos en *Penaeus monodon* y *L. vannamei* muestran el calcio como uno de los minerales que se encuentra en mayor concentración seguida por el magnesio, la presencia de calcio para estas especies es de 259 mg/kg en *P monodon* y de 247 mg/kg en *L. vannamei* (organismos adultos, Sriket *et al* 2007); las altas concentraciones de este mineral se debe deben a la alta demanda del sistema metabólico, ya que es uno de los cationes que mas participan en la funcionalidad y señalización de diferentes rutas metabólicas como la contracción muscular, en las trasmisiones nerviosas, osmoregulación (Lovell, 1989), entre otras señalizaciones ya discutidas anteriormente.

Las concentraciones de calcio encontrados al finalizar los experimentos en *L. vannamei* y la diferencia encontrada en los carapachos (2ª muda) a un pH de 6.9, fueron significativamente menores a los organismos controles (pH 7.3), los crustáceos toman las concentraciones de calcio del medio en el que se encuentren principalmente a través de su alimentación y del ambiente marino; de verse disminuidas las concentraciones en ambos medios, la disponibilidad para el organismos se vería limitada. Los trabajos realizados sobre la disminución de los niveles de pH muestran que existirá una afectación en las concentraciones de calcio en aquellas especies que mas dependan de este mineral, como es el caso de los arrecifes de coral (Manzello *et al*, 2008) estas acidificaciones no solamente ocasionaran un desgaste externo sobre estos organismos. Estudios realizados en el cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) reportan que estos organismos presentan una dificultad en la obtención de calcio de un medio marino con una concentración de

calcio menor a 136 mg/l comprometiendo la supervivencia de los organismos a concentraciones más bajas (Perry *et al.*, 2001). Otro estudio realizado en la especie de langosta *Homarus gammarus*, muestran una disminución en el grosor del exoesqueleto de estos organismos debido a una disminución en la concentración de calcio sometidos a diferentes acidificaciones (Arnold *et al.*, 2009).

El calcio como ya se ha mencionado, no es solamente uno de los componentes esenciales en el exoesqueleto de los crustáceos, si no que también juega diferentes papeles metabólicos que son sumamente importantes a través de su participación en la activación enzimática, estimulando la contracción muscular, promoviendo el latido normal cardiaco, influenciando la regulación de la transmisión del impulso nervioso de una célula a otra, en conjunción con los fosfolípidos el calcio juega un papel fundamental en la regulación de la permeabilidad de las membranas celulares (Randall *et al.*, 1998) la disminución de manera continua en el medio exterior debido a la acidificación por medio del incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico posiblemente se vera reflejado en los camarones que necesiten una dieta rica de este mineral para la adecuada funcionabilidad de sus sistemas internos dependientes de calcio.

Es necesario hacer mas evaluaciones acerca de los cambios ambientales que podrían ocurrir con el aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico en los ambientes estuarinos, ya que los trabajos acerca del cambio por acidificación son casi inexistentes; ambientes como son las lagunas costeras, de aumentar las emisiones, se verán fuertemente afectadas debido a los cambios físico-químicos que aunados a otros presiones como son la contaminación, el desarrollo urbano y sobre explotación de estas áreas, ocasionaran un mayor efecto adverso sobre una gran diversidad de especies asociadas a estos ambientes.

## IX. Conclusiones

El promedio de la frecuencia de muda en los camarones juveniles de la especie de *L. vannamei* se ve afectada, existiendo una interrupción y un retraso del ciclo de muda que se ve ampliado en numero de días conforme la acidez aumenta (pH 6.9 y 6.5).

Existe una disminución de calcio en agua estuarina debido al aumento de la acidificación (pH 6.9 y 6.5) por presencia de CO<sub>2</sub>.

Los individuos expuestos a menores concentraciones de pH 6.9 muestran una ganancia menor en relación a la talla (LT), peso (g) y concentración de calcio (mg/g) a diferencia de los organismos controles.

Los organismos muestran una posible afectación en el desplazamiento a una mayor acidificación, los camarones expuestos a una acidificación de pH 6.5 presentan mortandad casi siempre relacionada con la fase de ecdisis, estos decesos si bien no están siendo afectados directamente por la disminución de calcio, quizás sea uno de los factores que en conjunto con interferencias metabólicas ocasione que los organismos no sobrevivan.

**X. Literatura citada:**

**Arnold, K. E., Findlay, H. S., Spicer, J. I., Daniels, C. L., and Boothroyd, D., 2009.** Effect of CO<sub>2</sub> –related acidification on aspects of the larval development of European lobster, *Homarus gammarus* (L.) Biogeosciences 6 (8): 1747- 1754

**Barange, M. y Perry, R.I. 2009.** Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, No 530. Roma, FAO. 7–118.

**Betancourt, I., Calderon J. y Sagi A., 1993.** Estadios de muda en hembras adultas de *Penaeus vannamei*. Acuaculture Tropical 1: 13-15

**Bibby, R., Widdicombe, S., Parry, H., Spicer, J. and Pipe, R., 2008.** Effects of the oceans acidification on the immune response of the blue mussel *Mytilus edulis*. Aquatic Biology. 2: 67-74

**Bliss E. Dorothy and Mantel H. Linda, 1983.** The biology of Crustacea. Internal anatomy and physiological regulation. Vol. V Academic Press. New York. 470p

**Bonilla G. J.L., 2009.** Estatus fisiológico y descripción cuantitativa de la frecuencia de muda como indicador del crecimiento del camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) en organismos silvestres y en proceso de domesticación. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Univ. Nal. Autón. Méx. 111 p

**Browder, J. A., Zein –Eldin Z., Criales M., Robble M., Wong S., Jackson T. and Johnson D., 2002.** Dynamic of pink shrimp (*Farfantepenaeus duorarum*)



recruitment potencial in relation to salinity and temperature in Florida Bay. *Estuaries*, 25 (6) : 1355-1371

**Caldeira K. and Wickett M. E. 2003.** Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425 - 365.

**Cameron J. N. 1985** Post – moult calcification in the blue crab *Callinectes sapidus*: timing and mechanism. *Journal of Experimental Biology*, 143: 285-304.

**Cameron J. N. and Wood, C.M., 1985.** Apparent H<sup>+</sup> excretion and CO<sub>2</sub> dynamics accompanying carapace mineralization in the blue crab (*Callinectes sapidus*) following moulting. *Journal of Experimental Biology*, 114: 181-196.

**Carpenter K. E., 2008.** One- third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science* 321, 560-563.

**Caso, M., Pisanty I. y Ezcurra. (Ed), 2004.** Diagnostico ambiental del Golfo de México. Vol. 1 SEMARNAT. 1ar ed, México 626 p

**Cepeda, M., 2005.** Península de Yucatán. Laguna de Términos: un estuario de importancia local, regional y nacional PRONATURA: 24 p

**Chang, E., 1991.** Crustacean molting hormones: cellular effects, role in reproduction and regulation by molt. Inhibiting Hormone. *In*: P.F. Deloach, W.J. Dougherty and M.A. Davidson (eds.) *Frontiers of shrimp research*. Elsevier, Amsterdam, 83-105.

**Charmantier, G., Soyeux C. and Aquacop. 1994.** Effect of molt stage and hipoxia on osmoregulatory capacity in the penaeid shrimp *Penaeus vanammei*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 173: 223-246

**Contreas, E.F., 1994.** Manual de técnicas hidrobiológicas. Editorial Trillas. Ciudad de Mexico, 141p

**De la Lanza, E. G. y Gómez A., 1999.** Físico química del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. Ciencia ERGOSUM, 6(2): 147-153

**Dos Santos, M. M. J., 2004.** Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico Biológicas. Facultad de Estudios Superiores de la UNAM, México, D.F 171 p

**Durazo, B. E., 2006.** Aprovechamiento de los productos pesqueros. Univ. Nal. Autón B. C. Mexicali, Baja California 233 p

**Eldred, B., Williams J., Martin G.T. and Joyce Jr., 1965.** Seasonal distribution of penaeid larvae and postlarvae or the Tampa Bay area, Florida. Tech. Ser. Bo. 44. State of Florida Board Conservation, 1-47 pp

**Feely, R.A, Doney, S. C., and Cooley S. R., 2009.** Ocean Acidification: Present conditions and future change in high-CO<sub>2</sub> word. Oceanography 22(4):36-47

**Fivelstad, S., 1988.** Waterflow requeriments for salmoids in single- pass and semi- closed land-based seawater and freshwater systems. Aquacultural Engineering, 7 (2): 183-200

**Flores Baca, B., 2010.** Tendencia fisicoquímica y estado trófico de la Laguna “El Yucateco”, Tabasco de 2003 a 2009. Maestría en Ciencias Biológicas. Instituto de Biología. Univ. Nal. Atón Méx. 99 p

**Fowler J., Cohen L and Jarvis P., 2000.** Practical statistics for field biology  
Volume: Second, Issue: 4, Publisher: John Wiley & Sons, 259 p

**Galindo, C., 2007.** Parametrización y desarrollo del sub modelo del proceso fisiológico de muda *Litopenaeus vannamei* como parte de un modelo de crecimiento individual de camarones peneidos. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nal. Autón. Méx. 129 p

**Gazeau F., Quiblier C., Jansen J.M., Gattuso J.-P., Middelburg J.J., Heip C.H.R. 2007.** Impact of elevated CO<sub>2</sub> on shellfish calcification. Geophysical Research Letters, 34, L07603.doi:10.1029/2006 GL0 28554.

**Göncü, E. I. and Wolfin J. P. (Eds), 2005.** Coastal Lagoons: Ecosystem processes and modeling for sustainable use and development. CRC Press, USA 500 p

**Hoeg-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. d., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, n., Bradbury, R. H., Dubi, A. and Hatziolos, M. E., 2007.** Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. Science 318: 1737-1744

**Huang, H.J., 1983.** Factors affecting the successful culture of *Peneus stylirostris* and *Penaeus vannamei* at an estuarine power plant site: temperature, salinity, inherent growth variability, damselfly nymph predation, population density and distribution, and polyculture. Ph. D. dissertation. Texas A& M University, College Station, Texas. 221 p.

**IPCC, 1997.** Estabilización de los gases atmosféricos de efecto invernadero: Implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas. Documento Técnico 4.

**Jobling, M. 1995.** Environmental biology of fishes. Edit. Chapman and Hall, London. 1<sup>a</sup>. Edic. 455p

**Kurihara, H., and Shirayama, Y. 2004.** Effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on sea urchin early development. Marine Ecology Progress Series. Vol 274: 161-169

**Kurihara, H. 2008.** Effects of CO<sub>2</sub> driven ocean acidification on the early developmental stages of vertebrates. Marine Ecology Progress Series. Vol 373:275-284

**Lahlou, B. 1980.** Epithelial transport in the lower vertebrates. Edit. Cambridge University Press. 1a. Edic. 366 pp.

**Lara, L.R., 2008.** Los cambios ambientales globales y la vulnerabilidad de los sectores de México. p. 13-25. En: I A Azuz Adeath (ed.). Infraestructura y Desarrollo Sustentable. Gobierno del Estado de B.C. CETYS Universidad.

**Lauwaert, J. 2009.** Vulnerabilidad de México ante el Cambio Climático. Boletín UNAM-DGCS-358.

**Lovell, R. T. 1989.** Nutrition and feeding of fish. New York: Van nostrand reinhold, 260 pp.

**Manzello, D. P., Kleypas, J. A., Budd, D. A., Eakin, C.M., Glynn, P. W. and Langdon, C., 2008.** Poorly cemented coral reefs of the eastern tropical Pacific: Possible insights into reef development in a high – CO<sub>2</sub> world. Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol 105 (30): 10450- 10455

**Michener, W.K, Blood E. R., Bildstein K. L., Brinson M.M. and Gardner L.R., 1997.** Climate Change, hurricanes and tropical storms, and rising sea level in coastal wetlands. *Ecological Applications*, 7 (3): 770-801

**Neufeld, D.S. and Cameron, J. N., 1992** Postmolt uptake calcium by the blue crab (*Callinectes sapidus*) in water of low salinity. *Journal of Experimental Biology*, 171: 283-299

**Neufeld, D.S. and Cameron, J. N., 1993.** Transepithelial movement of calcium in crustaceans. *Journal of Experimental Biology*. 184: 1-16

**Neufeld, D.S. and Cameron, J. N., 1994.** Effect of the external concentration of calcium on the post molt uptake of calcium in blue crab (*Callinectes sapidus*). *Journal of Experimental Biology*. 188:1-9

**Newell, R. C. 1976.** Adaptation to environment: essays on the physiology of marine animal. Edit. Butterworths 539 pp.

**Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp. L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R. M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R. G., Plattner, G. K., Rodgers, K. B., Sabine, C. L., Sarmiento, J. L., Schliter, R., Slater, R. D., Totterdell, I. J., Weiring, M. F., Yamanaka, Y. and Yool, A. 2005.** Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*. 437(7059): 681-686

**Manzon, L.A. 2002.** The role of prolactin in fish osmoregulation: a review. *General and Comparative Endocrinology*. 125: 291-310

**Ortiz P. M. A. y L. Méndez A. P., 1999.** Repercusiones por ascenso del nivel de mar en el litoral del Golfo de México. p. 73-85. En: G.C. Gay (comp.). México: una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera.

**Pane, E. F. and Barry, J.P. 2007.** Extracellular acid-base regulation during short-term hypercapnia is effective in a shallow water crab, but ineffective in a deep-sea crab. *Marine Ecology Progress Series*, 1-9

**Passano, L. M., 1960.** Molting and its control. In: Waterman, T.H. (Ed), *The Physiology of crustacean*, Vol. 1. Academic Press, New York, 473-536

**Perry, H., Trigg, C., Larsen, K., Freeman, J., Erickson, M. and Raymond, H., 2001.** Calcium concentration in seawater and exoeskeletal calcification in the blue crab, *Callinectes sapidus*. *Aquaculture* 198: 197 -208

**Petriella, A. y Boschi., 1997.** Crecimiento en crustaceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investigación Marina*. Valparaiso, Vol. 25: 135-157

**Randall D., Burggren W., French K. 1998.** *Fisiología Animal*. Edit. Mc. Graw Hill-Interamericana. 4a. Edición. 795 pp.

**Sabine, C. L., Freely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K. and Bullister, J. L., 2004.** The ocean sink for CO<sub>2</sub>. *Journal of Marine Research* 305:367-371

**Sánchez, M.A., 1981.** Comportamiento anual de las postlarvas epibentónicas de camarones peneidos en el sector oriental de la Laguna de Términos. Tesis Lic (Biol.) Fac. de Ciencias. Univ. Nal. Autón. México. 97 pp

**Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010.** Synthèse scientifique des impacts de l'acidification des océans sur la biodiversité marine: Montréal, Cahier technique No. 46, 61 pp

**Sriket, Pisal; Benjakul, Soottawat; Visessanguan, Wonnop; Kijroongrojana, and Kongkarn., 2007.** Comparative studies on the effect of the freeze–thawing process on the physicochemical properties and microstructures of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle. Food Chemistry vol. 104 issue 1. p. 113-121

**Yu, C. P., Matson, P. G., Martz, T. R. and Hofmann G.E., 2011.** The ocean acidification and its relationships to the performance of calcifying marine invertebrates: Laboratory experiments on the development of urchin larvae framed by environmentally- relevant pCO<sub>2</sub>/pH. Journal of Experiment Marine Biology and Ecology. 400: 288-295

**Walther, K., Sartoris, F. J., Bock, C., and Pörtner, H. O. 2009.** Impact of anthropogenic ocean acidification on thermal tolerance of the spider crab *Hyas araneus*. Biogeosciences. Vol 6: 2207-2215

**Wheatly, M.G., Zanotto, F.P. and Hubbard, M.G., 2002.** Review Calcium homeostasis in crustaceans: subcellular Ca dynamics. Comparative Biochemistry and physiology Part B 132: 163-178

**Wheatly, M.G., 1989.** Physiological responses of the crayfish *Pacifastacus leniusculus* (Dana) to environmental hyperoxia. I. Extracellular acid-base and electrolyte status and transbranchial exchange. Journal of Experimental Biology, 143: 33-51

**Wood H.L., Widdicombe S. and Spicer J.I., 2009.** The influence of hypercapnia and the infaunal brittlestar *Amphiura filiformis* on sediment nutrient flux-will ocean acidification affect nutrient exchange? *Biogeosciences* 6:2015-2024

**Sitios web**

**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),**

(<http://www.grida.no/climate>).

**Integrated Taxonomic Information System, (<http://www.itis.gov/>).**

**Boletín de la UNAM**

([http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009\\_358.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2009_358.html)).

**SEMARNAT. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México. 2009.**

([http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/cambio\\_climatico\\_09\\_2.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/cambio_climatico_09_2.pdf))



**XI. INDICE DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Figura 1.- pH promedio de la superficie del mar para 1875, 1995, 2050 y 2095.....	12
Figura 2.- Esquema de la toma de oxígeno y excreción de CO2 y NH3 realizado por las células branquiales.....	14
Figura 3.- Ilustración y clasificación taxonómica de <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	21
Figura 4.- Organismo en proceso de muda.....	22
Figura 5.- Obtención de mudas en el laboratorio de manera individual.....	23
Figura 6.- Vista parcial de estero pargo en la Laguna de Términos, Campeche.....	24
Figura 7.- Diseño de mallas para mantenimiento y seguimiento individual .....	25
Figura 8. Diseño para monitoreo de la conducta bajo condiciones de acidez distintas.....	26
Figura 9.- Frecuencia de mudas en <i>Litopenaeus vannamei</i> a diferentes tallas.....	29
Figura 10.- Comparación de los periodos de mudas y su coincidencia en los picos máximos de mudas en el grupo que presenta tallas 5- 14 mm.....	30
Figura 11.- Comparación de los periodos de mudas y su coincidencia en los picos máximos de mudas en el grupo que presenta tallas 15-24 mm.....	30
Figura 12.- Frecuencia de mudas en <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	31
Figura 13.- Comparación de los periodos de mudas y su coincidencia en los picos máximos de mudas en el grupo que presenta tallas de 30 mm.....	32
Figura 14.- Porcentaje de sobrevivencia de <i>L vannamei</i> a diferentes disminuciones de pH durante seis días.....	34
Figura 15.-Periodos de intermudas entre el grupo control (7.3) y el primer grupo experimenta (pH 6.9) (*p<0.05).....	35
Figura 16.- Porcentaje de mortalidad con relación al tiempo de los organismos expuesto a un pH de 6.5.....	36
Figura 17.- Individuos que murieron después o durante la ecdisis expuestos a un pH de 6.5.....	36
Figura 18.- Se presentan las imágenes vistas al microscopio estereoscópico de los organismos que murieron durante el proceso de ecdisis.....	37
Figura 19.- Frecuencia de los videos que presentaron MD (mayor desplazamiento), PD (poco desplazamiento) y Dm (desplazamiento mínimo) a diferentes grados de acides (7.3, 6.9 y 6.5).....	40

Figura 20.- Medidas de longitud total iniciales y finales de los diferentes valores de pH (7.3, 6.9 y 6.5).....42

Figura 21.- Pesos iniciales y finales de los diferentes valores de pH (7.3, 6.9 y 6.5).....43

Figura 22.- Tasa de crecimiento en longitud de *L. vannamei* a un pH de 7.3.....44

Figura 23.- Tasa de crecimiento en longitud de *L. vannamei* a un pH de 6.9.....44

Figura 24.- Tasa de crecimiento en peso de *L. vannamei* a un pH de 7.3.....45

Figura 25.- Tasa de crecimiento en peso de *L. vannamei* a un pH de 6.9.....45

Figura 26.- Correlación de talla vs peso final a un pH de 7.3.....46

Figura 27.- Correlación de talla vs peso final a un pH 6.9.....47

Figura 28.- Concentración de calcio (mg/l) en agua estuarina a pH 7.3, 6.9 y 6.5 (\*p<0.05).....48

Figura 29.- Concentración de calcio (mg/g) en camarones completos de *L. vannamei* a pH 7.3, 6.9 y 6.5 (p<0.05).....49

Figura 30.- Concentración de calcio (mg/g) en 1era exuvia (carapacho) de *L. vannamei* a pH 7.3, 6.9 y 6.5 (p >0.05).....50

Figura 31.- Concentración de calcio (mg/g) en 2da exuvia (carapacho) de *L. vannamei* a pH 7.3, 6.9 y 6.5 (\*p<0.05).....51

## XII. ÍNDICE DE TABLAS

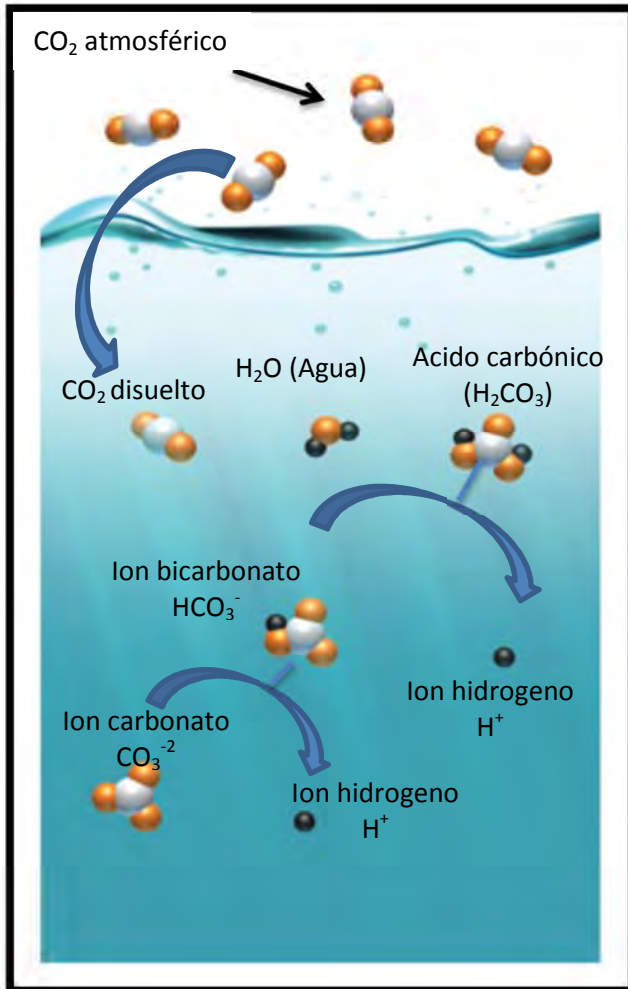
	<b>Pág.</b>
Tabla 1.- Parámetros físico-químicos iniciales del agua estuarina natural.....	32
Tabla 2.-Adecuación de los organismos a las diferentes concentraciones de pH a una tasa de inyección de 0.2 g CO2/min/l.....	33
Tabla 3.- Parámetros utilizados durante el periodo de bioensayos.....	34
Tabla 4.- Valores promedios (± DE.) encontrados en el agua estuarina natural.....	37
Tabla 5.-Valores promedios (± DE) iniciales del agua estuarina natural una vez ajustadas las diferentes concentraciones de pH.....	38
Tabla 6.- Valores promedios (± DE) previo (24 h) a los recambios del agua estuarina natural en los diferentes concentraciones de pH.....	38
Tabla 7.-Tallas mínimas, máximas y promedios ± DE al finalizar la exposición a medios acidificados.....	41
Tabla 8.- Pesos mínimos, máximos y promedios ± DE al finalizar los tratamientos.....	43

Tabla 9.-Concentraciones promedio (g/l± DE) de calcio en agua esturina a diferentes valores de pH.....48

Tabla 10.- Concentraciones promedio (mg/g ± DE) de calcio en camarones completos *L. vannamei* a diferentes valores de pH.....49

### XIII. Anexos

#### 1.- Proceso de acidificación marina



El  $\text{CO}_2$  absorbido por la atmósfera reacciona con el agua de mar formando ácido carbónico. Este ácido libera un ion bicarbonato y un ion hidrógeno. El ion hidrógeno se une a los iones carbonato libres en el agua formando otro ion bicarbonato. Si no existiera un exceso de iones hidrógeno, los iones carbonato libres estarían libres para la asimilación de los organismos marinos.

Imagen tomada y modificada de:

Hardt, J. M. and Safina, C., 2010. Carbon dioxide emissions are making the oceans more acidic, imperiling the growth and reproduction of species from plankton to squid. *Scientific American*. Vol. 303 (2) 52-59

## 2.-Control endocrino de la muda:

Como en el resto de los animales, la coordinación de la serie de eventos necesarios para la ecdisis a través del tiempo de la intermuda, se efectúa mediante un sistema hormonal. El modelo aceptado actualmente sobre el control de la muda de los crustáceos, postula la siguiente interacción:

La hormona de la muda (HM), cuya síntesis se inicia en el órgano Y, es usualmente reprimida por la hormona inhibidora de la muda (HIM) que se origina en el órgano X, localizado en los pedúnculos oculares.

La actividad de la hormona inhibidora de la muda, promueve la formación de nuevos tejidos e inhibe la actividad secretora del órgano Y. Cuando el nivel de hormona inhibidora de la muda de la hemolinfa disminuye, el órgano Y libera una dosis de hormona de la muda que desencadena la preparación a una nueva ecdisis.

El órgano Y secreta un ecdisteroide, precursor de la hormona de la muda, caracterizado como ecdisona, que es transformado en otros tejidos, a su forma activa, la 20-hidroxiecdisona, ecdisterona o crustecdisona.

Cuando el órgano X, por cualquier motivo, reduce la síntesis y secreción de la HIM, la hormona de la muda inicia la serie de sucesos coordinados que conducen a la ecdisis.

**Petriella, A. y Boschi., 1997.** Crecimiento en crustaceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. Investigación Marina. Valparaiso, Vol. 25: 135-157

3.- Se presenta la serie temporal de registros de CO<sub>2</sub> atmosférico en Mauna Loa, pH y pCO<sub>2</sub> superficiales en la estación Aloha del Océano Pacífico. Se observa un aumento del pH superficial en relación al aumento del CO<sub>2</sub> en el agua de mar de Aloha en los últimos 20 años.

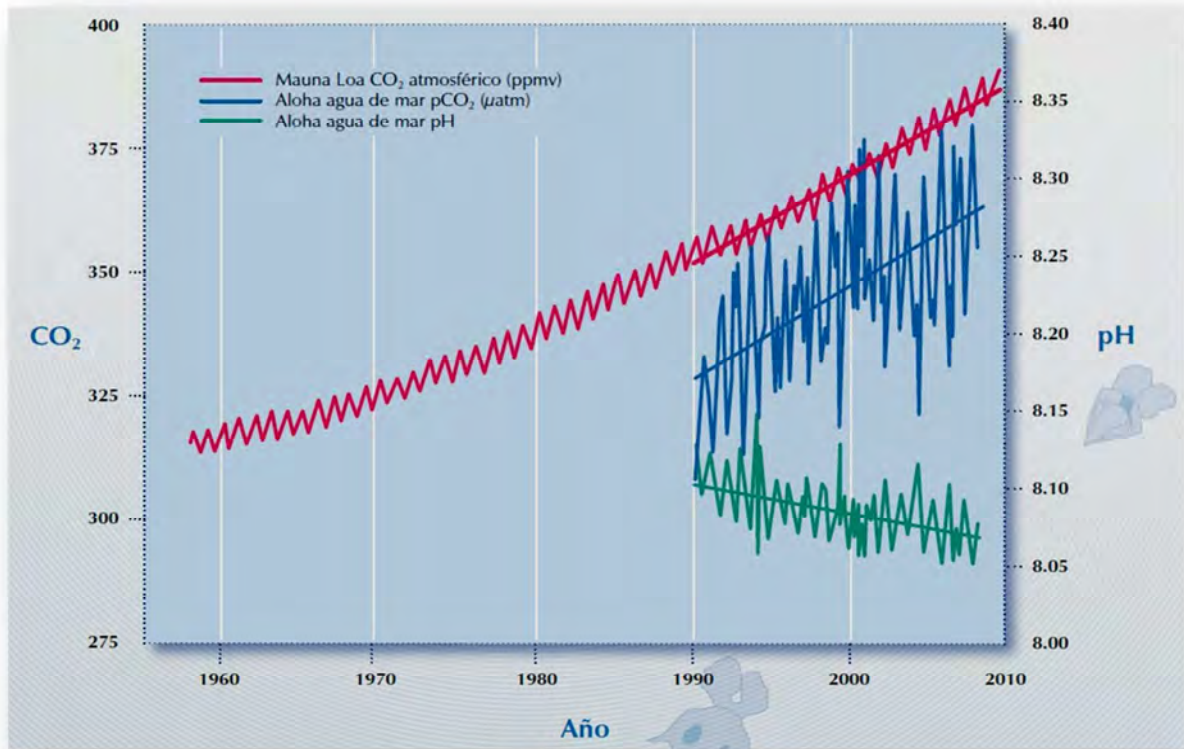


Imagen tomada del trabajo de:

**Feely, R.A, Doney, S. C., and Cooley S. R., 2009.** Ocean Acidification: Present conditions and future change in high-CO<sub>2</sub> world. *Oceanography* 22(4):36–47

4.-Biología de los camarones peneidos:

Clasificación taxonómica tomado de ITIS\*<sup>ca</sup>, website (2002).

Reino	Animalia
Phylum	Arthropoda
Subphylum	Crustacea Brünnich, 1772
Clase	Malacostraca Latreille, 1802
Subclase	Eumalacostraca Grobben, 1892
Súper orden	Eucarida Calman, 1904
Orden	Decapada Latreille, 1802
Suborden	Dendrobranchiata Bate, 1888
Super familia	Penaeoidea Rafinesque, 1815
Familia	Penaeidae Rafinesque, 1815

Ciclo de vida:

Los camarones peneidos tienen un ciclo de vida muy similar que abarca tanto ambientes estuarinos principalmente en las lagunas costeras, como ambientes típicamente marinos en la plataforma continental. Los camarones peneidos atraviesan por varios estadios durante el desarrollo de su ciclo de vida, este ciclo comienza con la reproducción que se lleva a cabo en la plataforma continental marina a profundidades que varían de acuerdo a la especie. Durante el desove los huevecillos son expulsados a la columna de agua donde permanecen alrededor de 14 horas hasta que eclosiona una larva nauplio. Esta larva tiene hábitos planctónicos y durante 2-3 días la larva sufre una serie de mudas y atraviesa cinco etapas para dar origen a una protozoa, este estadio dura alrededor de 3-4 días. Posteriormente se presenta el estadio de mysis que tiene aproximadamente una duración de 3 días, posteriormente el organismo mediante el proceso de muda se transforma en una postlarva que ya tiene una forma de camarón, en esta etapa los camarones ingresan

a los ambientes costeros estuarinos a través de la acción de las corrientes, esta etapa crítica se debe a su cambio de hábitos de plantónicos a bentónicos. El éxito de su establecimiento depende de que encuentren las condiciones ambientales adecuadas (Gracia, 1992); después de un par de semanas los organismos adquieren una etapa juvenil, la residencia del camarón juvenil en áreas de crianza es variable de acuerdo a la especie y puede permanecer en ellas entre dos y cuatro meses. Después de este tiempo el camarón emigra al ambiente marino y se incorpora a la población adulta, donde los camarones siguen creciendo y alcanza su madures sexual entre los 6 y 8 meses de edad (Gracia, 1992). La duración media del ciclo de vida de los camarones *Penaeus* se encuentra entre los 15 y 20 meses.

#### Anatomía

Una de las características de los crustáceos decápodos, y por lo tanto de los camarones, es que los 6 segmentos cefálicos y los 8 torácicos están unidos en un solo bloque, protegido por un caparazón rígido, en el que se encuentran 13 pares de apéndices: los 5 cefálicos (2 antena y 3 mandíbulas) y los 8 torácicos (3 maxilípedos y 5 pereiópodos).

#### Alimentación

La alimentación del camarón también varía durante el transcurso del ciclo de vida abarcando desde el microplancton y zooplancton en la etapa larvaria hasta otros organismos bentónicos en las etapas juveniles y adulto. Se le puede considerar omnívoro, aunque también ingiere detritus (Gracia *et al*, 1997).



## Hábitat

Los camarones peneidos se encuentran principalmente en zonas intertropicales y subtropicales. Vive la mayor parte del tiempo en zonas influenciadas por deltas, estuarios o lagunas; sobre fondos generalmente fangosos, fango-arenosos o arenosos, ricos en materia orgánica (Gracia, 1992).

Consultado de:

**Gracia, G. A., 1992.** Explotación y manejo del recurso camarón. *Ciencia y Desarrollo*, 18 (106) 82-95.

**Gracia, A., A.R. Vázquez-Bader, F. Arreguín-Sánchez, L.E. Schultz-Ruíz & J.A. Sánchez. 1997.** Ecología de camarones peneidos, p. 127-144. *In* D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo & F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México. Univ. Autón. Campeche, EPOMEX Ser. Cient 7. Campeche, México.