



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Posgrado En Ciencias Del Mar Y Limnología

Relación talla de caballito de mar-anfípodo: maximización de las tasas de
ingestión en *Hippocampus erectus*

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
BIOLOGÍA MARINA

PRESENTA:
JORGE ARTURO VARGAS ABÚNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Fernando Nuno Dias Marques Simoes
Facultad De Ciencias, UNAM, Unidad Académica Sisal
COMITÉ TUTOR:

Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldia
Facultad De Ciencias, UNAM

DR. CARLOS ROSAS VÁZQUEZ
Facultad De Ciencias, UNAM, Unidad Académica Sisal

DR. DANIEL ARCEO CARRANZA
Facultad De Ciencias, UNAM, Unidad Académica Sisal

DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA
Facultad De Ciencias, UNAM, Unidad Académica Sisal

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2016



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.



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



RELACIÓN TALLA DE CABALLITO DE MAR-ANFÍPODO:
MAXIMIZACIÓN DE LAS TASAS DE INGESTIÓN EN *Hippocampus
erectus*

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

(Biología marina)

presenta

JORGE ARTURO VARGAS ABÚNDEZ

Director de Tesis

DR. FERNANDO NUNO DIAS MARQUES SIMOES

Comité Tutorial:

DRA. GUILLERMINA ALCARAZ ZUBELDIA

DR. CARLOS ROSAS VÁZQUEZ

DR. DANIEL ARCEO CARRANZA

DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA

Mérida, Yucatán, México, 2016

A mamá, Sergio, Iván, Lupita y Barbarita

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero agradecer al **CONACyT** por otorgarme una beca económica de manutención mensual, la cual me permitió realizar los estudios de maestría. Soy afortunado de haber tenido la oportunidad estudiar para alcanzar el sueño de servir a la sociedad con mi vocación. "Por mi raza hablará el espíritu", **Universidad Nacional Autónoma De México**, es un honor ser uno de tus hijos *alma mater*.

Doy gracias a mi director de tesis el **Dr. Nuno Simoes** por guiarme en el desarrollo del proyecto de maestría, revisar mi escrito, atender cada duda, prestarme sus libros, prestarme sus ideas y prestarme su confianza. Agradezco a mis tutores de tesis, la **Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldia**, el **Dr. Xavier Chiappa Carrara**, el **Dr. Carlos Rosas Vázquez** y el **Dr. Daniel Arceo Carranza** por la revisión al escrito y seguir el desarrollo de esta tesis aportando críticas constructivas que ayudaron a mejorar este trabajo.

Dr. Carlos Rosas Vázquez Rosas gracias por suministrar los anfípodos *Parhyale hawaiensis* y por ofrecerme sus instalaciones que me sirvieron para realizar la toma de fotografías y mediciones de los anfípodos. Gracias a la **M en C. Gemma Martínez** por suministrar los anfípodos *Elasmopus pecteniscrus*.

Agradecimientos a la **M. en C. Gemma Leticia Martínez** por la asistencia técnica en los experimentos, el mantenimiento de los caballitos de mar y la instalación y uso de los sistemas de recirculación, así como también el apoyo técnico en general brindado para la realización de esta tesis.

Expreso mi gratitud a la **Dra. Maite Mascaró Miquelajauregui** por sus revisiones, enseñanzas y sugerencias en los análisis estadísticos y por su invaluable contribución en mi formación académica al criticar constructivamente mis presentaciones orales mediante los seminarios académicos realizados semestralmente en el grupo de trabajo **PIECMO-BDMY**.

A la **M. en C. Iveth Gabriela Palomino Albarrán** y **Patricia M. Balam Uc** gracias por suministrar a la *Artemia* usada para alimentar a los peces y enseñarme técnicas de producción y manteniendo de *Artemia*.

Agradezco al **Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**, así como a la **Unidad Académica Sisal**. La siguiente lista es de las personas que laboran en estos recintos académicos de quienes recibí algún tipo de apoyo administrado o técnico del cual quiero dejar constancia de mi agradecimiento:

César Omar Chiyeán Cámara,

Dr. Gloria Vilaclara Fatjó

Dra. María Patricia Guadarrama Chávez

Gabriela Almaraz Mejía

Guadalupe Godoy Medina

José Roberto Mejía Reyes

M. en C. Diana Juárez Bustos

M. en C. Maribel Badillo Alemán

Mtra. Chantal G. Ruiz Guerrero

Mtra. Karina Cruz Vázquez

No puede faltar una lista de mis **amigos**, quienes de muchas maneras me han apoyado en la realización de esta tesis, gracias:

Abraham Aguilar

Álvaro Barreto

Antar Mijail Pérez

Ariadna Sánchez

Daniela Méndez

Diana Ugalde

Efraín Chávez

Érica Escalante

Giulia Del Vecchio

Humberto López

José Luis Horta

Magui Murúa

Martín Arenas

Nacho Stefanini

Natalia Calvo

Sarai Jerónimo

Yesica Parera

Yolitzin Rodríguez

A esa persona que siempre estuvo a mi lado en las buenas y en las malas en este proceso de aprendizaje lleno de retos y cambios, gracias , **Yasmín Dávila.**

RESUMEN

La acuicultura de caballitos de mar es una alternativa a la pesquería que tiene el objetivo de satisfacer la creciente demanda de estos peces, pero enfrenta serios de problemas de producción debido a la alimentación. Las preguntas centrales de este estudio fueron ¿cuánto alimento consume *Hippocampus erectus*? ¿en cuánto tiempo? y ¿de qué tamaño?. Para responderlas se llevaron a cabo experimentos en el laboratorio utilizando peces de 52 a 121 mm de longitud estándar y como alimento se utilizó anfípodos, ya que este organismo forma la base de la dieta en la mayoría de las especies de caballitos de mar silvestres pero que hoy en día permanece casi inexplorado como alimento. Los resultados mostraron que bajo condiciones controladas los peces ingieren anfípodos que equivalen hasta el 72 % de la abertura bucal de los peces. Se demostró que los peces comen más rápido cuanto más grandes son. Cuando los peces se alimentaron de anfípodos comieron más rápido (menos de 30 minutos) que cuando se alimentaron de *Artemia* (más de 60 minutos). En promedio, cuando los peces se alimentaron con anfípodos grandes ingirieron 10 ± 4 individuos (0.08 ± 0.06 g), mientras que cuando se alimentaron con anfípodos chicos 25 ± 7 individuos (0.06 ± 0.02 g). Finalmente, se obtuvieron las biometrías tanto de los anfípodos como de los peces, mismas que sirven para estimar el tamaño apropiado de anfípodos como alimento. Se concluye que usar el tamaño apropiado de anfípodos aumenta las tasas de ingestión en *H. erectus* y con ello posiblemente la sobrevivencia y el desarrollo de los caballitos de mar en cautiverio.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	IV
ÍNDICE	V
LISTADO DE FIGURAS	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Generalidades de los caballitos de mar	3
2.2 Acuicultura de caballitos de mar.	6
2.3 Generalidades de los Anfípodos	8
2.4 Acuicultura de anfípodos.....	9
2.5 El tamaño de alimento en caballitos de mar y otros peces	11
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS.....	13
3.1. Pregunta general de investigación	13
3.2. Preguntas particulares de investigación.....	13
4. OBJETIVOS	14
4.1.General	14
4.2. Específicos.....	14
5. MATERIAL Y MÉTODOS	15
5.0. Animales experimentales y mantenimiento	15
5.0.1. Caballitos de mar.....	15
5.0.2. Anfípodos.....	15
5.1. Relaciones morfométricas.....	16
5.2. Longitud total máxima y mínima de anfípodos para <i>H. erectus</i>	17
5.3. Saciedad de los caballitos de mar con <i>Artemia</i> y con anfípodos	19
5.3.1. <i>Artemia</i>	19
5.3.2. Anfípodos.....	19
5.4. Maximización de las tasas de ingestión	20
6. RESULTADOS	22
6.0.2. Anfípodos.....	22
6.1. Relaciones morfométricas.....	22
6.2. Longitud total máxima y mínima de anfípodos para <i>H. erectus</i>	23
6.3. Saciedad de los caballitos de mar con <i>Artemia</i> y con anfípodos	24
6.3.1. <i>Artemia</i>	24
6.3.2. Anfípodos.....	25
6.4. Maximización las tasas de ingestión	26
7. DISCUSIÓN	28
7.1. Relaciones morfométricas.....	28
7.2. Longitud total máxima y mínima de anfípodos para <i>H. erectus</i>	29
7.3. Saciedad de los caballitos de mar con <i>Artemia</i> y con anfípodos	29
7.4. Maximización de las tasas de ingestión	30
8. CONCLUSIONES.....	32
9. LITERATURA CITADA.....	33
10. ANEXOS	42
Anexo 1.....	42
Anexo 2.....	49
Anexo 3.....	50

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1. Distribución del caballito de mar lineado *Hippocampus erectus*. Fuente: IUCN (2014). 4
- Figura 2. Supervivencia observada en los primeros 120 días de vida en 12 especies de caballitos de mar cultivados a nivel experimental. Para realizar las graficas se tomaron los datos de supervivencia de la literatura disponible (Wilson y Vincent, 1998; Payne y Rippingale, 2000; Woods, 2000b; a; Shapawi y Purser, 2003; Woods, 2003c; b; Woods, 2003a; Woods y Valentino, 2003; Dzyuba et al., 2006; Job et al., 2006; Lin et al., 2006; Ortega-Salas y Reyes-Bustamante, 2006; Wilson et al., 2006; Martinez-Cardenas y Purser, 2007; Sheng et al., 2007; Garcia y Hilomen-Garcia, 2008; Lin et al., 2008b; Olivotto et al., 2008; Palma et al., 2008; Payne, 2008; Hora y Joyeux, 2009; Lin et al., 2009c; Murugan et al., 2009; Lin et al., 2010; Otero-Ferrer et al., 2010; Xu et al., 2010; Zhang et al., 2010; Celino et al., 2011; Martinez-Cardenas y Purser, 2011; Planas et al., 2012; Willadino et al., 2012; Blanco, 2014; Qin et al., 2014). 6
- Figura 3. Relación entre la longitud total (mm) y el Ln de la anchura (mm) de los anfípodos *Elasmopus pecteniscrus*. 22
- Figura 4. Dos de los individuos de *H. erectus* utilizados para el análisis morfométrico: izquierda = recién nacido; derecha = adulto. 23
- Figura 5. Longitud total (mm) máxima y mínima de anfípodos ingeridos por *H. erectus* de A) 109.3 mm y 114.7 mm y B) 86.9 mm de longitud estándar. Para obtener los datos y por simplicidad, se ofreció en condiciones controladas anfípodos progresivamente chicos a los caballitos de mar "grandes" y anfípodos progresivamente grandes a los caballitos de mar "chicos", suponiendo que la proporción máxima entre la boca de los peces y el tamaño de los anfípodos ingeridos es constante. 24
- Figura 6. Efecto de la talla de *H. erectus* en las tasas de ingestión de *Artemia*. La longitud estándar de *H. erectus* fue de 52 ± 4 mm, 62 ± 4 mm y 74 ± 7 mm y corresponde con las ilustraciones y colores de los puntos y líneas. Las líneas representan la media de cada grupo. A diferencia de la Tabla 2, los datos aquí mostrados se presentan en escala no transformada para facilitar la interpretación. 25
- Figura 7. Efecto de la talla de *H. erectus* en las tasas de ingestión de anfípodos. La longitud estándar de *H. erectus* fue de 90 ± 6 mm y 121 ± 11 mm y corresponde con las ilustraciones y colores de los puntos y líneas. Las líneas representan la media de cada grupo. Los datos se presentan en escala no transformada para facilitar la interpretación. 26
- Figura 8. Ingestión total de individuos (A) y biomasa (g) (B) de anfípodos por *H. erectus* de entre 60 y 110 mm de longitud estándar (mm). Las líneas representan el valor ajustado con el método de mínimos cuadrados para cada talla de anfípodo por medio de un ANCOVA. Para efectuar el ANCOVA, los valores de anfípodos ingeridos se transformaron primero a su valor expresado en raíz cuadrada (sq). Los anfípodos se clasificaron de acuerdo a su anchura: anfípodos chicos= 0.49 ± 0.05 mm; anfípodos medianos= 0.61 ± 0.08 mm; anfípodos grandes: $0.81 \text{ mm} \pm 0.16$ mm; y, se ofrecieron a 48 caballitos de mar a una densidad constante de 150 anfípodos durante 30 minutos. 27

1. INTRODUCCIÓN

Los caballitos de mar son peces morfológicamente únicos que se encuentran sujetos a un mercado internacional que involucra al menos a 176 países y a 28 de las 48 especies reconocidas actualmente (Evanson et al., 2011; Vincent et al., 2011; Vincent et al., 2013). Se estima que al menos siete millones de individuos son extraídos anualmente por captura directa e incidental (Vincent et al., 2011; Vincent et al., 2013). Esto ha provocado un enorme deterioro en las poblaciones silvestres, que son particularmente vulnerables a las alteraciones, ya que los organismos reproductores presentan interacción sexual diaria, muchos son monógamos y se distribuyen en parches (Vincent, 1995; Vincent y Sadler, 1995; Foster y Vincent, 2004; Guest y Craig, 2011).

Para reducir el impacto negativo en las poblaciones silvestres, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, 2002) incluyó dentro del apéndice II a todas las especies de caballitos de mar y estableció el tamaño mínimo de pesca y venta en 10 cm de longitud (CITES, 2004; Martin-Smith et al., 2004). Por su parte, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2014) enlista dentro de alguna categoría de protección a 38 especies de caballitos de mar.

El caballito de mar lineado *Hippocampus erectus* se encuentra en las costas del Atlántico Mexicano y es una de las especies más comercializadas mundialmente. Asimismo, se encuentra en la categoría sujeto a protección especial (Pr) de la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) y como especie prioritaria para México (SEMARNAT, 2014).

Los principales usos de los caballitos de mar se encuentran en la medicina tradicional, la industria de curiosidades y el acuarismo (Evanson et al., 2011). La importancia en el acuarismo se demostró con una cotización de precios de caballitos de mar en tiendas online y consultas personales (Anexo 1). Los peces "criados en cautiverio" mostraron los precios más altos, concordando con los resultados de Alecastro et al. (2005), donde los peces marinos criados en cautiverios son más costosos y demandados. Consistentemente, la acuicultura de caballitos de mar es la estrategia de conservación más importante en este sector (Vincent y Koldewey, 2006; Koldewey y Martin-Smith, 2010).

Gracias a los avances en el cultivo de organismos marinos, varias especies de caballitos de mar han sido criadas en cautiverio exitosamente pero persisten problemas relacionados con las enfermedades y la alimentación (Koldewey y Martin-Smith, 2010; Lin et al., 2010; Sanaye et al., 2013). La baja sobrevivencia de los juveniles es uno de los principales retos del cultivo y está fuertemente ligada a la alimentación (Payne y Rippingale, 2000; Olivotto et al., 2008; Payne, 2008; Murugan et al., 2009; Otero-Ferrer et al., 2010; Willadino et al., 2012).

Los alimentos comúnmente usados son la *Artemia* enriquecida, los rotíferos y los misidáceos. No obstante, estos organismos son pobres en ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) que son esenciales para el desarrollo de los caballitos de mar (Sargent et al., 2002; Faleiro y Narciso, 2010) y presentan bajas tasas de ingestión. Por otro lado, el grupo de los anfípodos resulta un buen alimento potencial debido a que forma la base de la dieta en la mayoría de especies de caballitos de mar (Tipton y Bell, 1988; Teixeira y Musik, 2001; Woods, 2002; Kendrick y Hyndes, 2005; Kitsos et al., 2008; Storero y Gonzalez, 2008; Gurkan et al., 2011), son ricos en PUFAs (Baeza-Rojano et al., 2013b) y se está desarrollando la tecnología de producción (Baeza-Rojano et al., 2011; Baeza-Rojano et al., 2013a; López, 2015), pero existen muchos huecos de información que obstaculizan su uso como alimento para caballitos de mar.

Uno de los factores más importantes en el proceso de alimentación es la talla del alimento, ya que su ingestión depende de la abertura oral de los peces (Shirota, 1970), mismos que, además, regulan sus tasas de ingestión de acuerdo al tamaño (Hunter, 1981).

El objetivo del presente trabajo es obtener la información morfométrica necesaria para estimar el intervalo de tallas de anfípodo que ingiere *Hippocampus erectus* y maximizar las tasas de ingestión.

2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de los caballitos de mar

Los caballitos de mar son peces óseos (Teleostei) que pertenecen a la familia Syngnathidae, junto con los peces pipa y peces dragón, al suborden Syngnathoidei, del orden Gasterosteiformes (Nelson, 2006). Esta familia se caracteriza porque el cuerpo de los individuos es elongado y está incrustado en una serie de anillos óseos desde la cabeza hasta la punta de la cola y porque algunas de sus estructuras craneales están fusionadas con estructuras del hocico. La cabeza, cuello y tronco de los caballitos de mar está curvada ventralmente, a diferencia de los demás individuos que conforman la familia Syngnathidae. Los caballitos de mar machos adultos presentan un área especial debajo de la superficie de la parte inferior frontal del tronco denominada marsupio, que funciona como una bolsa receptora de los huevos depositados por la hembra (Lourie et al., 2004). El hocico de los caballitos de mar es tubular con pequeñas mandíbulas en el extremo posterior. Los caballitos de mar carecen de aleta caudal, en su lugar presentan una cola prensil (Lourie et al., 2004; Vincent et al., 2013).

Los caballitos de mar son exclusivamente marinos y se encuentran en zonas costeras tropicales y templadas, entre los 50 ° Norte y 50 ° Sur. La mayoría de las especies se encuentran en la zona intertropical, especialmente en el Océano Indopacífico. Los caballitos de mar se encuentran en aguas superficiales (<30 metros de profundidad), aunque hay registros hasta una profundidad de 100 metros en la especie *Hippocampus minotaur* de Australia. Las especies de aguas templadas habitan principalmente pastos marinos y macroalgas. Mientras que las especies de aguas tropicales habitan arrecifes de coral y zonas estuarinas (Foster y Vincent, 2004).

Los caballitos de mar utilizan su cola para sujetarse del sustrato y pasan la mayor parte del tiempo sujetados. Las estructuras en las que los caballitos de mar salvajes se sujetan son corales, pastos marinos, macroalgas, cnidarios y raíces de manglares. *Hippocampus comes* exhibe preferencia por esponjas dentro de comunidades de pastos marinos, mientras que otras especies parecen no ser selectivas (Foster y Vincent, 2004). Los caballitos de mar son nadadores débiles,

se ha demostrado que son capaces de recorrer distancias hasta de 60 m por día (Caldwell y Vincent, 2013).

En territorio mexicano se distribuye *H. ingens* en el Océano pacífico y *H. zosterae*, *H. reidi* y *H. erectus* en el Océano Atlántico (Lourie et al., 2004). La distribución confirmada de *H. erectus* va desde Nueva Escocia, Canadá, hasta Venezuela, en el Atlántico Occidental (Lourie et al. 2004; Figura 1).



Figura 1. Distribución del caballito de mar lineado *Hippocampus erectus*. Fuente: IUCN (2014).

Los caballitos de mar son depredadores de emboscada (Wassenbergh et al., 2011). Para desadvertir a sus presas, estos realizan movimientos lentos y regulan su coloración mimetizándose con el ambiente (Lin et al., 2009a; Teske y Beheregaray, 2009). La visión de los caballitos de mar se encuentra bien desarrollada desde el nacimiento. Los ojos de los caballitos de mar son móviles e independientes entre sí, que pueden visualizar objetivos específicos con velocidades y direcciones diferentes (Foster y Vincent, 2004). La visión de los caballitos de mar es el principal sentido involucrado en la detección de presas.

Los caballitos de mar y todos los signátidos poseen un sistema de alimentación único, comúnmente denominado alimentación de pivote. A diferencia de otros peces que se alimentan por succión, los signátidos realizan un giro neurocranial en dirección dorsal consiguiendo disminuir la distancia con la presa

justo antes de realizar la succión (Roos et al., 2009; Van Wassenbergh et al., 2009). Durante el giro neurocranial, el hioides amplifica la fuerza y la velocidad de succión mediante un mecanismo de liberación de energía elástica. Adicionalmente, debido a su particular morfología bucal, los caballitos de mar logran reducir aún más la distancia entre el hocico y sus presas, al desplazar un menor volumen de agua (Gemmell et al., 2013).

En vida libre, los caballitos de mar se alimentan de una gran variedad de organismos, de los cuales más del 90 % son crustáceos. Los anfípodos, copépodos, misidáceos y decápodos son los principales grupos incluidos en la dieta de los caballitos de mar (Foster y Vincent, 2004). En la mayoría de las especies de caballitos de mar estudiadas los anfípodos son el grupo dominante en la dieta (Tipton y Bell, 1988; Teixeira y Musik, 2001; Woods, 2002; Kendrick y Hyndes, 2005; Kitsos et al., 2008; Storero y Gonzalez, 2008; Gurkan et al., 2011).

Los caballitos de mar, y los demás signátidos, poseen una característica reproductora única entre los vertebrados, los machos son preñados por las hembras. Las hembras depositan los huevos dentro del marsupio que poseen los machos durante el apareamiento. Dentro del marsupio se lleva a cabo la fecundación y el desarrollo embrionario de las larvas (Stölting y Wilson, 2007). El marsupio brinda a los embriones protección contra depredadores, aireación, equilibrio osmótico y transfiere nutrientes en mayor o menor medida, dependiendo de la especie (Wilson et al., 2001; Carcupino et al., 2002).

Los patrones de apareamiento en signátidos son particularmente diversos debido a la preñez en los machos. La preñez de los machos puede disponerlos como el sexo limitante en la reproducción, por lo que la selección sexual puede operar con mayor fuerza sobre las hembras. Así, en algunas especies de caballitos de mar, la monogamia está favorecida cuando el potencial de apareamiento es muy reducido, debido a poblaciones extremadamente bajas y distribuidas en parches. Por otro lado, la poligamia se presenta en aquellas especies donde la oportunidad de elección de pareja es alta (Rosenqvist y Berglund, 2011).

2.2 Acuicultura de caballitos de mar.

En 1995 los caballitos de mar y peces pipas fueron propuestos como buenos candidatos para acuicultura, básicamente porque éstos peces ponen huevos relativamente grandes, producen crías con desarrollo avanzado, se alimentan de presas relativamente grandes y presentan alto valor comercial (Prein, 1995; Guest y Craig, 2011). Sin embargo, a pesar del desarrollo en los protocolos de cultivo de caballitos de mar en los últimos años, en la mayoría de las especies se ha observado una pobre sobrevivencia (Koldewey y Martin-Smith, 2010). La Figura 2 muestra los patrones de sobrevivencia observados en 12 especies estudiadas experimentalmente.

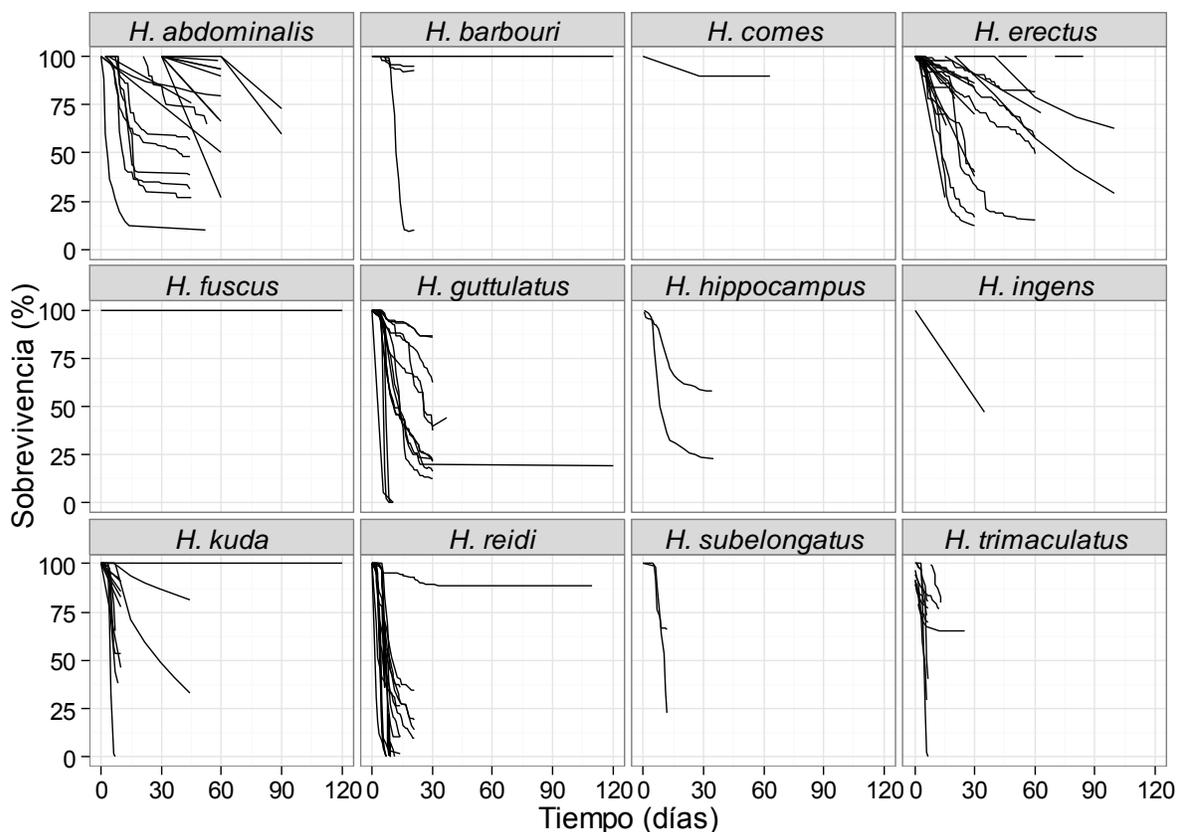


Figura 2. Sobrevivencia observada en los primeros 120 días de vida en 12 especies de caballitos de mar cultivados a nivel experimental. Para realizar las graficas se tomaron los datos de sobrevivencia de la literatura disponible (Wilson y Vincent, 1998; Payne y Ripplingale, 2000; Woods, 2000b; a; Shapawi y Purser, 2003; Woods, 2003c; b; Woods, 2003a; Woods y Valentino, 2003; Dzyuba et al., 2006; Job et al., 2006; Lin et al., 2006; Ortega-Salas y Reyes-Bustamante, 2006; Wilson et al., 2006; Martinez-Cardenas y Purser, 2007; Sheng et al., 2007; Garcia y Hilomen-Garcia, 2008; Lin et al., 2008b; Olivotto et al., 2008; Palma et al., 2008; Payne, 2008; Hora y Joyeux, 2009; Lin et al., 2009c; Murugan et al., 2009; Lin et al., 2010; Otero-Ferrer et al., 2010; Xu et al., 2010; Zhang et al., 2010; Celino et al., 2011; Martinez-Cardenas y Purser, 2011; Planas et al., 2012; Willadino et al., 2012; Blanco, 2014; Qin et al., 2014).

¿Por qué el patrón de sobrevivencia es similar en casi todas las especies de caballitos de mar? y ¿qué lo determina? De manera general, se considera que se atribuye a enfermedades, técnicas de cultivo y deficiencias nutricionales.

Respecto de las enfermedades, los caballitos de mar son particularmente vulnerables al padecimiento llamado burbuja de aire, y es uno de los factores más relacionados con la sobrevivencia de caballitos de mar. Esto se debe a que los caballitos de mar juveniles incorporan fácilmente burbujas de aire cuando ingieren alimento en la superficie del agua (Sanaye et al., 2013). Así, los acuarios con una menor área superficial reducen la incidencia de burbujas de aire (Blanco, 2014).

En los caballitos de mar adultos y subadultos, los cambios en la saturación del aire cercanos la supersaturación incrementan la incidencia de burbujas de aire, al provocar que las burbujas de aire queden atrapadas entre la piel y el esqueleto de los caballitos de mar durante los cambios de saturación de aire debido a la limitada permeabilidad gaseosa de la piel de los caballitos de mar (Sanaye et al., 2013). Otros factores determinantes son la temperatura, intensidad luminosa, fotoperiodo, densidad de cultivo y la alimentación (Lin et al., 2010; Blanco, 2014).

Los requerimientos nutricionales de los caballitos de mar son pobremente conocidos, sin embargo, la composición bioquímica de los caballitos de mar salvajes es un posible indicador de sus requerimientos nutricionales, así como en otros peces marinos (Lin et al., 2009b). Las proteínas componen arriba del 70 % del peso seco en las seis especies de caballitos de mar hasta ahora reportadas (Lin et al., 2008a; Lin et al., 2009b). El contenido lipídico de los caballitos de mar varía dependiendo del estadio de desarrollo y la alimentación (Lin et al., 2009b; Faleiro y Narciso, 2010; Planas et al., 2010). Durante el desarrollo embrionario, las tasas de consumo de ácidos grasos son altas (hasta 67.8 % del contenido total) (Faleiro y Narciso, 2010). Además, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), particularmente ácido eicosapentanoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) son las principales fuentes energéticas en embriones de caballitos de mar (Faleiro y Narciso, 2010). El contenido de PUFAs en las etapas más tempranas de los caballitos de mar es bajo e incrementa con el crecimiento. Teniendo en cuenta que los caballitos de mar no pueden sintetizar *de novo* a éste tipo de ácidos grasos (ácido araquidónico (AA), EPA y DHA), y que son las principales fuentes

energéticas y constituyentes de la membrana lipídica (Sargent et al., 2002), es indispensables proporcionarlos con la dieta de los caballitos de mar (Faleiro y Narciso, 2010).

El tipo y presentación de la dieta para los caballitos de mar es uno de los principales factores que determinan la sobrevivencia de caballitos de mar (Koldewey y Martin-Smith, 2010). Bajos costos de producción, amplio espectro de tallas de la *Artemia* y reducida capacidad de escape ha convertido a la *Artemia* uno de los alimentos más empleados para la alimentación de caballitos de mar, no obstante, pobre digestibilidad ha sido observada en algunas especies de caballitos de mar, particularmente en las etapas más tempranas del desarrollo (Payne y Rippingale, 2000). Aunado a esto, la composición de PUFAs de la *Artemia* es inadecuada para peces marinos, incluidos los caballitos de mar. La *Artemia* enriquecida con emulsiones de ácidos grasos poliinsaturados o microalgas pueden mejorar el perfil de lípidos, pero sin lograr buenas tasas de sobrevivencia y crecimiento comparada con otros alimentos (Shapawi y Purser, 2003; Woods, 2003c; Palma et al., 2011).

El desarrollo del uso de alimento congelado es de gran interés para el cultivo de caballitos de mar, debido a que el alimento congelado es más fácil de adquirir y presenta mayores tiempos de almacenaje, con ello un suministro constante a lo largo del año. Además, la inclusión de alimento congelado en la dieta de caballitos de mar es una alternativa viable al alimento vivo en términos del crecimiento y sobrevivencia de caballitos de mar (Wilson y Vincent, 2000; Woods, 2005; Wilson et al., 2006; Payne, 2008; Lin et al., 2009d).

2.3 Generalidades de los Anfípodos

Los anfípodos son un grupo de Crustáceos Peracáridos pertenecientes al orden Amphipoda (Martin y Davis, 2001). Es el grupo con mayor riqueza de especies, más de 6000. Se encuentran principalmente en aguas marinas, pero también los hay dulceacuícolas y terrestres. La mayoría son bentónicos, pero tienen la capacidad de nadar en la columna de agua. Los anfípodos de agua dulce, principalmente los gamáridos, se encuentran asociados a algas, pueden alcanzar grandes densidades. Aunque muchos son herbívoros, la mayoría son

detritívoros o carroñeros, poco frecuentes son las formas depredadoras, filtradoras y parásitas (Ruppert y Barnes, 1996).

La mayoría de sus miembros presentan cuidado parental extendido, en diversas modalidades, ya sea con estructuras incubadoras modificadas llamadas marsupios, compartiendo sus refugios, o transportando a las crías sobre el cuerpo (Thiel, 2003).

La riqueza de especies de anfípodos reportada para México comprende 69 familias, 279 géneros y 724 especies (Windfield, 2008). Las especies reportadas para el Golfo de México son 348 (LeCroy et al., 2009).

Los anfípodos se encuentran entre los organismos más diversos y con mayor número de individuos y biomasa por unidad de área (Page et al., 2007). Por ejemplo, Cunha et al. (2000) encontraron una densidad máxima de 2×10^5 individuos m^{-2} y una biomasa seca libre de cenizas de $62 \text{ g } m^{-2}$ en ecosistemas estuarinos en Ria de Aveiro, Portugal. Sin embargo, la biomasa y número de individuos varía espacial y temporalmente, principalmente en respuesta a la temperatura y salinidad, así como el tipo de sustrato y estructura de la comunidad (Holbrook y Schmitt, 1992; Cunha et al., 2000; Page et al., 2007; Baeza-Rojano et al., 2014).

2.4 Acuicultura de anfípodos

Recientemente, los anfípodos han sido declarados como candidatos para producción como alimento en acuicultura (Woods, 2009; Baeza-Rojano et al., 2013b; Baeza-Rojano et al., 2014). Las ventajas de los anfípodos como alimento están justificadas básicamente por su particular historia de vida y composición nutrimental. Respecto de su historia de vida, como se mencionó anteriormente, algunas especies pueden alcanzar una alta biomasa por unidad de área, pero además, pueden ser tolerantes a variaciones y fluctuaciones de parámetros fisicoquímicos, colonizar estructuras artificiales y alimentarse casi de cualquier tipo de material biológico, por ejemplo, los desechos biológicos de estanques de cultivo (Holbrook y Schmitt, 1992; Cunha et al., 2000; Page et al., 2007; Woods, 2009; Baeza-Rojano et al., 2014; López, 2015).

Respecto de su composición nutrimental, las proteínas, lípidos y cenizas conforman alrededor del 90 % del peso seco en la mayoría de las especies estudiadas (Kawashima et al., 1999; Suontama et al., 2007; Baeza-Rojano et al., 2014). Particularmente, la composición lipídica de los anfípodos ha despertado gran interés en acuicultura (Woods, 2009). Esto se debe a que los anfípodos marinos contienen una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácido eicosapentanoico, 20:5(n-3), y ácido docosahexaenoico, 22:6(n-3) (Kawashima et al., 1999; Baeza-Rojano et al., 2014), mismos que son considerados esenciales en los peces marinos y otros organismos, debido a que los peces no pueden sintetizarlos *de novo* (Sargent et al., 1997; Faleiro y Narciso, 2010; Vite-García et al., 2014).

Estudios recientes sugieren que la incorporación de los anfípodos en la dieta de organismos marinos podría mejorar el crecimiento y sobrevivencia (Suontama et al., 2007; Woods, 2009; Baeza-Rojano et al., 2013b). En cefalópodos, el efecto de los anfípodos vivos en las tasas de crecimiento y sobrevivencia resultan similares a los alimentos tradicionalmente usados (Baeza-Rojano et al., 2010; Baeza-Rojano et al., 2013b), a pesar de que la presentación de los anfípodos podría haber sido zootécnicamente subóptima en comparación con los tratamientos comparados. Asimismo, en salmón (*Salmo salar*) y lenguado del atlántico (*Hippoglossus hippoglossus*), la incorporación de anfípodos como ingredientes en comparación con harina de pescado tienen una buena digestibilidad y perfil de ácidos grasos poliinsaturados, altas tasas de crecimiento, y probablemente una mayor palatabilidad (Suontama et al., 2007). En caballitos de mar, la inclusión de anfípodos en la dieta incrementó su fertilidad (Storero y González, 2009). Los anfípodos son positivamente seleccionados por los caballitos de mar al ser ofrecidos con otros tipos de organismos presentes en la dieta natural de los caballitos de mar (Felício et al., 2006; Murugan et al., 2009).

El cultivo de anfípodos se realiza principalmente en centros de investigación (Woods, 2009) y en algunas tiendas de mascotas de la ciudad de México (observación personal). En la literatura no existen antecedentes de comercialización de anfípodos, sin embargo, una búsqueda Web (www.google.com) usando "amphipods for sale" como palabras de búsqueda

confirma que la comercialización de anfípodos es común en las tiendas online especializadas.

En cultivo, los anfípodos pueden alcanzar altas densidades poblacionales en relativamente poco tiempo (Baeza-Rojano et al., 2013a). Se sabe que las tasas de crecimiento de los anfípodos están relacionadas con la temperatura, salinidad, temporada del año, cantidad de alimento, sexo y especies (Cunha et al., 2000; Baeza-Rojano et al., 2013a; López, 2015). Es por esto que sólo unas pocas especies de anfípodos de las familias Gammaridae y Caprellidae han sido propuestas como mejores candidatas para la acuicultura (Woods, 2009; Baeza-Rojano et al., 2013a; López, 2015).

Los anfípodos caprélidos y gamáridos presentan diferencias morfológicas y nutrimentales que son relevantes en acuicultura. En cuanto a su composición nutrimental, los caprélidos en comparación con los gamáridos parecen ser más ricos en ácidos graso poliinsaturados, fosfolípidos y lípidos polares, mismos que están relacionados con el éxito de cultivo en algunos organismos marinos (Baeza-Rojano et al., 2014). En contraparte, los caprélidos presentan mayor proporción de cenizas que los gamáridos probablemente debido a que los caprélidos son más alargados y delgados, presentando así una mayor proporción de área superficial/volumen corporal (Woods, 2009; Baeza-Rojano et al., 2014). Altos contenidos de cenizas están relacionados con bajos niveles de digestibilidad (Woods, 2009). En ambos grupos de anfípodos la longitud total se encuentran aproximadamente entre 1-10 mm (Baeza-Rojano et al., 2011; López, 2015), sin embargo, las diferencias en sus dimensiones morfológicas podrían imponer limitaciones durante el proceso de ingestión en sus depredadores.

2.5 El tamaño de alimento en caballitos de mar y otros peces

El tamaño de alimento es un factor crítico en peces que ingieren presas enteras (Hunter, 1981). En cautiverio, el tamaño de alimento generalmente usado para alimentar caballitos de mar de especies grandes como *H. guttulatus* e *H. kuda* está muy por debajo de la máxima capacidad de los caballitos de mar (Payne y Ripplingale, 2000; Celino et al., 2011; Blanco, 2014). Mientras que, en especies pequeñas o relativamente pequeñas al nacer como *H. reidi* el tamaño de alimento generalmente sobrepasa la capacidad de los caballitos de mar para ingerirlos

(Souza-Santos et al., 2013). Por eso, las tasas de ingestión en los caballitos de mar dependen fundamentalmente del tamaño del alimento, pero también del tamaño del caballito de mar (Celino et al., 2011; Souza-Santos et al., 2013).

El intervalo de tallas de alimento que los peces pueden ingerir incrementa con el aumento en talla de los peces (Shirota, 1970). En otras palabras, los peces más grandes pueden ingerir presas mayores sin perder la capacidad para ingerir presas chicas (Scharf et al., 2000). La talla máxima de alimento que los peces pueden ingerir se puede estimar calculando la proporción entre las dimensiones de la boca con las dimensiones del alimento (Scharf et al., 2000). Celino et al. (2011), Souza-Santos et al. (2013) y Blanco (2014) compararon la talla máxima de alimento teórica con la talla de presa seleccionada por caballitos de mar desde un rango de tamaños ofrecidos, demostrando que los caballitos de mar seleccionan a las presas de mayor tamaño dentro del rango ofrecido.

Sin embargo, en estos trabajos no se consideró el factor nivel de saciedad, el cual afecta fuertemente a la selección del tamaño de presas (Gill, 2003). Este factor está incluido en la Teoría del Forrajeo Óptimo, la cual predice que los animales tienen que decidir cuándo, dónde, qué y qué tanto alimentarse (Gill, 2003). Los peces hambrientos ingieren presas grandes para compensar la deficiencia de alimento, porque la ingestión de alimento se vuelve cada vez más importante que otras actividades rutinarias de los peces conforme el estómago se vacía (Gill, 2003). El nivel de hambre o saciedad es controlado por las señales enviadas desde el cerebro en respuesta al llenado estomacal o intestinal (Gill, 2003).

El nivel de hambre puede estimarse a partir de la información de llenado estomacal en los peces (Gill, 2003). Asimismo, la cavidad estomacal o intestinal limita la cantidad de biomasa que los peces pueden ingerir. La cantidad de alimento (Sheng et al., 2007) y el tiempo ocurrido necesarios para saciar a los caballitos de mar son pobremente conocidos, a pesar de que este es un factor determinante en la selección del tamaño de alimento y de las tasas de ingestión.

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

3.1. Pregunta general de investigación

¿De qué manera la talla de *H. erectus* y de los anfípodos como alimento modulan las tasas de ingestión en *H. erectus*?

3.2. Preguntas particulares de investigación

1. ¿Cómo es la morfometría bucal de *H. erectus*?

Hipótesis: Si *H. erectus* está adaptado para ingerir alimento relativamente grande, presentará crecimiento alométrico positivo de la anchura de hocico.

2. ¿Qué longitud total mínima y máxima de anfípodos congelados ingiere *H. erectus* de 86.9 a 114.7 mm de longitud estándar?

Hipótesis: Si la estructura bucal de *H. erectus* delimita la talla de anfípodos que puede ingerir, los anfípodos que sobrepasen la talla de la boca de *H. erectus* no podrán ser ingeridos.

3. ¿Cómo afecta la talla de *H. erectus* (52 a 74 mm de longitud estándar) al tiempo necesario para alcanzar la saciedad alimentándose de *Artemia*?

Hipótesis: Si *H. erectus* a los 52 mm de longitud estándar ya ha desarrollado sus habilidades para ingerir *Artemia*, alcanzará la saciedad a una velocidad similar que individuos de mayor talla (74 mm).

4. ¿Cómo afecta la talla de *H. erectus* (90 a 121 mm de longitud estándar) al tiempo necesario para alcanzar la saciedad alimentándose de anfípodos?

Hipótesis: Si *H. erectus* a los 90 mm de longitud estándar ya ha desarrollado sus habilidades para ingerir anfípodos, alcanzará la saciedad a una velocidad similar que individuos de mayor talla (121 mm).

5. ¿Cómo afecta la talla de los anfípodos como alimento congelado a las tasas de ingestión en *H. erectus* de 65.5 a 100.6 mm de longitud estándar?

Hipótesis: Si el valor del alimento para *H. erectus* incrementa con la talla, entonces *H. erectus* ingerirá mayor biomasa (anfípodos) a mayor talla de alimento, dentro del rango de tallas de alimento que puede ingerir.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Maximizar las tasas de ingestión de anfípodos congelados en *Hippocampus erectus*, manipulando la talla de los anfípodos y los caballitos de mar.

4.2. Específicos

1. Describir la morfología bucal y general de *H. erectus* recién nacidos hasta adultos mediante modelos de crecimiento alométrico.
2. Identificar las tallas mínima y máxima de anfípodos que ingiere exitosamente *H. erectus* de 86.9 a 114.7 mm de longitud estándar.
3. Conocer las tasas de ingestión de *Artemia* en *H. erectus* de 52 a 74 mm de longitud estándar.
4. Conocer las tasas de ingestión de anfípodos congelados en *H. erectus* de 90 a 121 mm de longitud estándar.
5. Establecer las tallas de anfípodos que maximicen las tasas de ingestión de cantidad de individuos y biomasa de anfípodos en *H. erectus* desde 60 hasta 110 mm de longitud estándar.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.0. Animales experimentales y mantenimiento

5.0.1. Caballitos de mar

Ocho caballitos de mar adultos *Hippocampus erectus* (siete machos y una hembra, de los cuales tres machos estaban preñados) fueron colectados en la laguna de Chelem, Yucatán, y trasladados al laboratorio húmedo del Programa de Investigaciones en Ecología y Cultivo de Especies Marinas de Ornato (PIECEMO), de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM, entre Enero, 2012, y Agosto, 2014. Una proporción de caballitos de mar fue utilizada para realizar experimentos distintos al presente.

Los caballitos de mar adultos se mantuvieron en dos sistemas de recirculación, uno compuesto por acuarios de 100 litros y el otro por acuarios de 14 litros. Una estructura de cuerda de polipropileno fue provista dentro de cada acuario como sustrato para los caballitos de mar. El rebosadero de cada acuario se construyó con malla de 125 μm para retener el alimento dentro de los acuarios. Los reservorios de los sistemas fueron provistos con filtración mecánica (5 μm) y biológica. La filtración biológica fue realizada con bolas de plástico perforadas y una cama de coral molido.

Los caballitos de mar nacidos en el laboratorio (nombrados de aquí en adelante como F1) fueron mantenidos en el sistema con acuarios de vidrio de 14 litros. Los caballitos de mar se alimentaron con nauplios de *Artemia*, metanauplios de *Artemia*, *Artemia* adulta y una mezcla de *Artemia* adulta y anfípodos descongelados cuando medían aproximadamente de longitud estándar 7-15 mm, 15-40 mm, 40-65 mm y 65 mm en adelante, respectivamente. El material fecal y alimento no ingerido se sifoneó diariamente por las mañanas.

5.0.2. Anfípodos

Anfípodos *Elasmopus pecteniscrus* se colectaron de un sistema de flujo continuo compuesto por 6 estanques al aire libre de 6 m de diámetro y 0.8 m de altura del área de maduración de pulpos de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM (Domingues et al., 2012). En los estanques éstos anfípodos son abundantes. Los anfípodos recién colectados se desinfectaron con formol diluido a 10 mgL^{-1} y luego enjuagados con

agua de mar desinfectada. Posteriormente, los anfípodos se filtraron con redes de acuario de 2 mm, 1 mm y 500 μm . Los anfípodos que atravesaron por la malla de 500 μm se descartaron de este experimento. Los tres grupos de anfípodos obtenidos se empacaron por separado en bolsas plásticas y congelados con un refrigerador comercial a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la realización del experimento (experimento de la sección 7.4). La longitud total y anchura promedios de los anfípodos retenidos se estimó mediante mediciones morfométricas obtenidas de 20 anfípodos de cada grupo. La relación entre la longitud total y anchura de los anfípodos se obtuvo con un análisis de regresión lineal efectuado en los 60 datos obtenidos de anchura transformados con logaritmo natural. Los datos morfométricos se obtuvieron de imágenes digitales tomadas a los anfípodos en vista lateral y dorsal con una cámara Nikon D90 (resolución de 4,288 x 2,848 pixeles) y medidas con el software ImageJ (W. Rasband, National Institute of Health, Bethesda, Maryland, USA). La longitud total de los tres grupos de anfípodos fue diferente (ANOVA: $F_{2, 20} = 34.79$, $p < 0.05$). El peso promedio de cada grupo de anfípodos se estimó midiendo 50 individuos de cada grupo con una balanza analítica Adventurer, Ohaus, con precisión de 0.0001 g.

Anfípodos *Parhyale hawaiiensis* se colectaron de 2 estanques con biofloc de 6 m de diámetro y 0.8 m de altura. Los estanques se utilizaron para cultivar anfípodos con motivos experimentales y como fuente de alimento para caballitos de mar de PIECEMO. Los anfípodos recién colectados se desinfectaron, empacaron, conservaron y midieron con el mismo procedimiento descrito en el párrafo anterior. Los anfípodos se filtraron con tamices 1.4 mm, 1 mm y 710 μm . En el experimento de la sección 5.3.2 se utilizaron anfípodos retenidos por el tamiz de 1 mm. En el experimento de la sección 5.2, los anfípodos se seleccionaron libremente con base en el tamaño de anfípodo.

5.1. Relaciones morfométricas

Ciento cuarenta y siete caballitos de mar silvestres y F1 se fijaron en alcohol al 70 % y posteriormente se midieron. Para medirlos, se fotografiaron digitalmente con una cámara Nikon D90 vista lateral y dorsal. En cada imagen digital se midieron las siguientes estructuras con el software ImageJ siguiendo las recomendaciones de Lourie (2003): longitud de la cabeza (HL), distancia desde la

punta de la boca (mandíbula superior) hasta el punto medio del anillo cleitral; longitud del tronco (TrL), distancia curvada desde punto medio del anillo cleitral hasta el punto medio lateral del último anillo del tronco; longitud de la cola (TaL), distancia desde el punto medio lateral del último anillo del tronco hasta la punta de la cola; longitud estándar (SL), sumatorio de la HL + TrL + TaL; longitud del hocico (SnL), distancia desde la punta de la boca (mandíbula superior) hasta el tubérculo preorbital; altura del hocico (SnH), distancia más estrecha entre las superficies dorsal y ventral del hocico; anchura del hocico (SnW), distancia más estrecha entre las superficies laterales del hocico.

Las relaciones morfométricas se describieron mediante modelos de crecimiento alométrico con las siguientes ecuaciones, $y = aSL^b$ y $y = aHL^b$, donde a y b son constantes. Los modelos se ajustaron con el método de cuadrados mínimos a partir de datos transformados con logaritmo en base 10. En la primera ecuación se relacionó a la SL con las demás estructuras medidas. En la segunda ecuación únicamente se relacionó a la SnL, SnW y SnH con la HL. Cada coeficiente de alometría obtenido (b) se evaluó con una prueba de t de la forma siguiente $t = \frac{\text{pendiente} - 1}{e.e}$ (Sokal y Rohlf, 2012) para distinguir si los coeficientes son diferentes de uno (isometría). Los valores mayores de uno indican crecimiento alométrico positivo, es decir, la estructura del caballito de mar es proporcionalmente más grande conforme éste aumenta en longitud (la SL o HL de acuerdo con el modelo). Mientras que, valores menores de uno indican crecimiento alométrico negativo, es decir, la estructura del caballito de mar se vuelve proporcionalmente más chica a menores longitudes (la SL o HL de acuerdo con el modelo).

5.2. Longitud total máxima y mínima de anfípodos para *H. erectus*

Las longitudes máxima y mínima y las proporciones relativas de anfípodos descongelados que pueden ingerir los caballitos de mar de 86.9 y 114.7 mm de longitud estándar se establecieron a través de la medición de los intentos de captura de *Parhyale hawaiensis*. Un intento de captura exitoso se definió como la captura de un anfípodo en el primer intento de captura, mientras que un intento de captura no exitoso como la incapacidad de captura de un anfípodo en el primer intento de captura.

Por simplicidad, se ofreció anfípodos progresivamente chicos a los caballitos de mar "grandes" y anfípodos progresivamente grandes a los caballitos de mar "chicos" de la siguiente manera. Para conocer la longitud máxima de los anfípodos capturados, se registraron cinco intentos de captura de anfípodos de entre 8.9 mm y 14.2 mm de longitud total por dos caballitos de mar de 86.9 mm de longitud estándar. Para conocer la longitud mínima de los anfípodos capturados, se registraron ocho intentos de captura de anfípodos con tamaños de entre 2.3 mm y 7.1 mm de longitud total, usando dos caballitos de mar de 109.3 mm y 114.7 mm de longitud estándar. Los resultados obtenidos se usaron para estimar las proporciones relativas existentes. Esta estimación se obtuvo dividiendo la anchura de anfípodo entre la anchura de hocico del caballito de mar, la proporción resultante se presenta en porcentaje.

La longitud estándar de los caballitos de mar se obtuvo a partir de fotografías digitales tomadas en un ángulo de 90° a los animales mantenidos por un tiempo pegados lateralmente al vidrio del acuario. Se utilizó el software ImageJ para efectuar las mediciones. Este método permite la medición de los animales sin necesidad de anestesiarlos o sacrificarlos. La anchura del hocico de los peces se estimó con los coeficientes obtenidos de la regresión lineal entre la SL y SnW.

Los caballitos de mar se colocaron individualmente en acuarios experimentales de 14 litros (sección 5.0.1) 18 h antes de las pruebas y permanecieron en ayuno hasta el inicio de las mismas. Antes de introducir cada anfípodo a los acuarios éstos se midieron con el mismo método de la sección 5.0.2 y se seleccionaron con base en su longitud total. Una estructura de cuerda de polipropileno fue provista dentro de los acuarios como sustrato para los caballitos de mar. Un intento de captura por día fue evaluado en los caballitos de 86.9 mm y dos intentos de captura por día en los caballitos de mar de 109.3 mm y 114.7 mm, esto debido a que hay evidencias de que la ingestión de hasta una presa puede afectar la conducta alimenticia en peces, cuando la presa es proporcionalmente grande (Gill, 2003). Todas las pruebas fueron realizadas a las 10:00 hrs.

Debido al reducido número de observaciones realizadas, la información se presenta únicamente de forma descriptiva y gráfica. Sin embargo, esta información

representa un primer intento para definir las longitudes máxima y mínima de anfípodos como alimento para caballitos de mar.

5.3. Sacidad de los caballitos de mar con *Artemia* y con anfípodos

5.3.1. *Artemia*

Siete días antes del experimento tres grupos de caballitos de mar F1 clasificados por su longitud estándar (52 ± 4 mm [n=8], 62 ± 4 mm [n=7] y 74 ± 7 mm [n=8]) se colocaron individualmente en acuarios de 14 litros con las características descritas en la sección 5.0.1. Las pruebas consistieron en alimentar a cada caballito de mar ofreciendo una densidad constante de 150 individuos de *Artemia* adulta viva durante dos horas. Cada prueba inició una a la vez a las 09:00, 11:00 o 13:00 hrs., manteniendo a los peces con 18 hrs. de ayuno. Durante las pruebas los acuarios se mantuvieron con aireación débil pero suficiente para mantener a los individuos de *Artemia* dispersos en todo el acuario sin afectar la conducta alimenticia de los caballitos de mar. Se registró cada *Artemia* efectivamente ingerida por observación directa e inmediatamente se repuso en el tanque experimental.

La temperatura y la salinidad se mantuvieron en 26.2 ± 0.8 °C y 37.5 ± 0.7 ppt. La concentración de amonio, nitritos y nitratos de los acuarios experimentales se mantuvieron por debajo de 0.2 mg l⁻¹, 0.05 mg l⁻¹ y 0.6 mg l⁻¹ respectivamente. Al finalizar las observaciones los caballitos de mar se midieron siguiendo el método descrito en la sección 5.2. El peso promedio de los individuos de *Artemia* se estimó tomando el peso húmedo de 15 muestras con 10 individuos de *Artemia* con una balanza analítica Adventurer, Ohaus, con precisión de 0.0001 g.

El efecto del tiempo y la longitud estándar de los caballitos de mar en las tasas de ingestión (Individuos de *Artemia*^{-10 min}) se analizó con un ANCOVA usando el software estadístico R 3.1.0 (R Core Team, 2014). Previamente al análisis, los resultados de las tasas de ingestión fueron transformados con logaritmo natural + 1.

5.3.2. Anfípodos

Siete días antes del experimento dos grupos de caballitos de mar F1 clasificados por su longitud estándar (90 ± 6 mm [n=7] y 121 ± 11 mm [n=6]) se

colocaron individualmente en acuarios de 14 litros con las características descritas en la sección 5.0.1. Las pruebas consistieron en alimentar a cada pez a una densidad constante de 100 anfípodos congelados de 7.6 ± 0.9 mm de longitud total, 7.3 mg de peso seco, durante 30 minutos. El peso de los anfípodos se estimó a partir de la relación entre la longitud total y el peso húmedo (López, 2015). Cada prueba inició una a la vez a las 10:00, 10:30 o 11:00 hrs., manteniendo a los peces con 18 hrs. de ayuno.

Se registró cada anfípodo efectivamente ingerido por observación directa e inmediatamente se repuso en el tanque experimental. La temperatura y la salinidad se mantuvieron en 26 ± 0.8 °C y 37.1 ± 0.5 ppt. La concentración de amonio, nitritos y nitratos de los acuarios experimentales se mantuvieron por debajo de 0.2 mg l^{-1} , 0.05 mg l^{-1} y 0.6 mg l^{-1} respectivamente. Al finalizar las observaciones los caballitos de mar se midieron siguiendo el método descrito en la sección 5.2.

Se analizó con una regresión de Poisson el efecto de la frecuencia de alimentación y su relación con la longitud de los caballitos de mar en las tasas de ingestión de anfípodos (individuos de anfípodos cada 3 minutos). Para hacer esto, los datos de las tasas de ingestión se transformaron primero a su valor expresado como logaritmo natural.

5.4. Maximización de las tasas de ingestión

Tres grupos de anfípodos congelados se clasificaron por su anchura (chicos: 0.49 ± 0.05 mm; medianos: 0.61 ± 0.08 ; grandes: $0.81 \text{ mm} \pm 0.16$ mm) y se ofrecieron a 48 caballitos individualizados de entre 60.5 y 110.6 mm de longitud estándar, con el fin de evaluar si la talla de los anfípodos afecta a las tasas de ingestión de igual manera a *H. erectus* de diferentes tallas.

Para aclimatar a *H. erectus*, se alimentó a los peces 2 veces al día (12:00 y 16:00 h) con una mezcla de anfípodos (33 %) y *Artemia* (67 %) descongelados por treinta días antes de realizar el experimento. Una vez cumplido este lapso y 19 h antes del experimento los peces fueron colocados individualmente en los acuarios experimentales en donde permanecieron en ayuno hasta el inicio de las pruebas. Los acuarios experimentales mantuvieron las mismas características descritas en la sección 5.3. La temperatura, salinidad, amonio, nitritos y nitratos de los acuarios

experimentales se mantuvieron en 26.5 ± 0.5 °C, 37.2 ± 0.5 ppt, <0.2 mg l⁻¹, <0.05 mg l⁻¹, <0.6 mg l⁻¹, respectivamente.

Seis caballitos de mar se analizaron por día y de forma simultánea a las 10:00 horas. Al comenzar las pruebas, 150 anfípodos descongelados se introdujeron en los acuarios experimentales. Los caballitos de mar se retiraron de los acuarios pasados 30 minutos de alimentación. El tiempo de alimentación y la cantidad de anfípodos se determinaron con base en los resultados del experimento 7.3.2. Las tasas de ingestión se calcularon restando 150 al número de anfípodos sobrantes en cada acuario. Estas se utilizaron como número y biomasa (g) de anfípodos ingeridos. El peso se obtuvo multiplicando la cantidad de anfípodos ingeridos por el peso promedio estimado del tamaño de anfípodos correspondiente.

El efecto del tamaño de los anfípodos (chicos, medianos y grandes) y la longitud estándar de los caballitos de mar (60.5 mm-110.6 mm) en las tasas de ingestión de individuos y biomasa (g) fue analizado con ANCOVA usando el software estadístico R 3.1.0. Previo al análisis, los resultados de las tasas de ingestión se transformaron a raíz cuadrada.

6. RESULTADOS

6.0.2. Anfípodos

La longitud total promedio (\pm desviación estándar) de los anfípodos *Elasmopus pecteniscrus* chicos, medianos y grandes obtenidos fue de 6.1 ± 0.6 , 7 ± 0.6 y 8.7 ± 1.1 mm, respectivamente, mientras que la anchura fue de 0.47 ± 0.04 , 0.59 ± 0.04 y 0.84 ± 0.13 mm, respectivamente. La relación entre la longitud total y anchura de los anfípodos se muestra en la Figura 3. El peso promedio de los anfípodos chicos, medianos y grandes obtenidos fue de 2.2 mg, 4.7 mg y 8.6 mg, respectivamente.

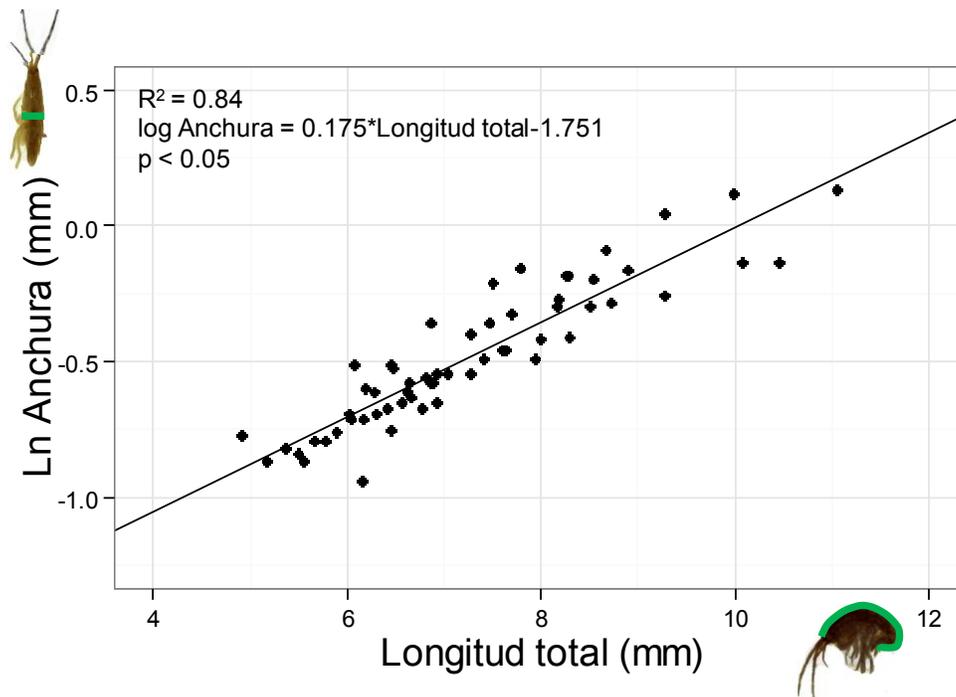


Figura 3. Relación entre la longitud total (mm) y el Ln de la anchura (mm) de los anfípodos *Elasmopus pecteniscrus*.

6.1. Relaciones morfométricas

La TrL, TaL y SnW mostraron un crecimiento alométrico positivo con respecto a la SL y HL. Por el contrario, La HL, SnL y SnH mostraron un crecimiento alométrico negativo con respecto a la SL y HL, a excepción de la SnL que mostró un crecimiento isométrico respecto a la HL. En las fotografías de la

Figura 4 se observa la morfología entre un recién nacido y un adulto de *H. erectus*. Los valores de las pendientes e interceptos mostradas en la Tabla 1 son útiles para estimar la longitud de las estructuras medidas en *H. erectus*.

Tabla 1. Relaciones morfométricas y modelos de crecimiento alométrico *H. erectus*. Todos los datos fueron transformados con logaritmo en base 10. Para rechazar isometría (Pendiente=1), la pendiente fue evaluada con una prueba de t, después de someterse a la siguiente ecuación, $t = \frac{\text{pendiente} - 1}{e.e}$, donde e. e = error estándar de la pendiente. HL= longitud de la cabeza, SL= longitud estándar, SnH= altura del hocico, SnL= longitud del hocico, SnW= anchura del hocico, TaL= longitud de la cola y TrL= longitud del tronco.

Variable y	Variable x	N	Intercepto	Pendiente	e. e.	r ²	P
HL	SL	96	-0.4333	0.8619	0.01	0.99	<0.0001
TrL	SL	96	-0.5724	1.0344	0.01	0.99	<0.0001
TaL	SL	96	-0.4089	1.0519	0.01	0.99	<0.0001
SnL	SL	96	-0.7995	0.8379	0.02	0.96	<0.0001
SnH	SL	96	-1.1433	0.7744	0.01	0.98	<0.0001
SnW	SL	96	-0.5464	1.0611	0.03	0.91	<0.05
SnL	HL	96	-0.3831	0.9768	0.01	0.98	>0.05
SnH	HL	96	-0.7483	0.8930	0.01	0.98	<0.0001
SnW	HL	96	-0.9774	1.0600	0.03	0.93	<0.05



Figura 4. Dos de los individuos de *H. erectus* utilizados para el análisis morfométrico: izquierda = recién nacido; derecha = adulto.

6.2. Longitud total máxima y mínima de anfípodos para *H. erectus*

La talla máxima de anfípodo que los 2 caballitos de mar de 86.9 mm (chicos) capturaron exitosamente fue de 10.6 mm de longitud total (Figura 5, B), obteniendo una proporción de anchura de anfípodo/anchura de hocico de caballito de mar del 72 %. Usando esta proporción, la longitud total de anfípodo máxima estimada para los caballitos de 114.7 es 14.1 mm. Los dos caballitos de mar de 109.3 mm y 114.7 mm capturaron exitosamente a los 8 anfípodos ofrecidos de 3 mm-7.1 mm de longitud total (Figura 5, A); es decir, en los caballitos más grandes no fue identificada una talla mínima de anfípodo.

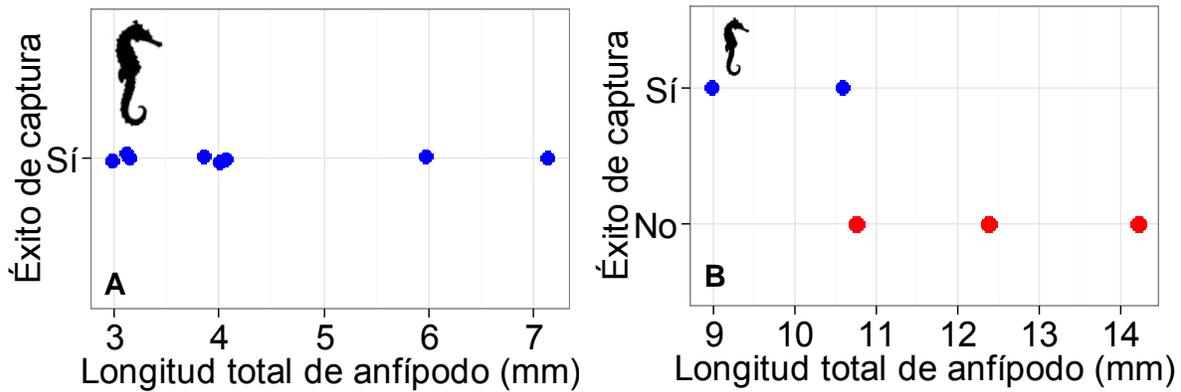


Figura 5. Longitud total (mm) máxima y mínima de anfípodos ingeridos por *H. erectus* de A) 109.3 mm y 114.7 mm y B) 86.9 mm de longitud estándar. Para obtener los datos y por simplicidad, se ofreció en condiciones controladas anfípodos progresivamente chicos a los caballitos de mar "grandes" y anfípodos progresivamente grandes a los caballitos de mar "chicos", suponiendo que la proporción máxima entre la boca de los peces y el tamaño de los anfípodos ingeridos es constante.

6.3. Saciedad de los caballitos de mar con *Artemia* y con anfípodos

6.3.1. *Artemia*

Las tasas de ingestión de *Artemia* en *H. erectus* disminuyeron durante las dos horas experimentales ($F_{1,22} = 184.613$, $p < 0.05$), pero disminuyeron a mayor tasa en los caballitos de mar grandes ($F_2 = 4.8$, $p < 0.05$). Los valores estimados para las tasas de ingestión del presente experimento se encuentran en la Tabla 2. El tiempo promedio en el que los caballitos de mar ingirieron la mitad de la *Artemia* fue de 38 minutos. Después de ese tiempo, las tasas de ingestión disminuyeron desde 8 individuos de *Artemia*/10min a los 30 minutos hasta 4 individuos de *Artemia*/10min a los 60 minutos (Figura 6). El valor máximo de ingestión en los 23 caballitos analizados fue de 80 individuos de *Artemia*, el equivalente a 0.223 g, y el promedio para caballitos de mar chicos, medianos y grandes, fue de 0.023 g, 0.162 ± 0.058 g y 0.173 ± 0.048 g, respectivamente.

Tabla 2. Estimaciones de las tasas de ingestión de *Artemia* en *H. erectus* obtenidas con un ANCOVA usando el tiempo (120 min) como covariable y la talla de *H. erectus* como variable categórica. Para efectuar el ANCOVA, los datos de las tasas de ingestión se transformaron primero a su valor expresado en logaritmo natural + 1. La longitud estándar de *H. erectus* chico, mediano y grande fue de 52 ± 4 mm, 62 ± 4 mm y 74 ± 7 mm, respectivamente.

Parámetro	<i>H. erectus</i> chico		<i>H. erectus</i> mediano		<i>H. erectus</i> grande	
	Valor estimado	P	Valor estimado	p	Valor estimado	p
Intercepto	2.006	<0.05	0.558	<0.05	0.953	<0.05
Pendiente	-0.01	<0.05	-0.013	>0.05	-0.017	<0.05

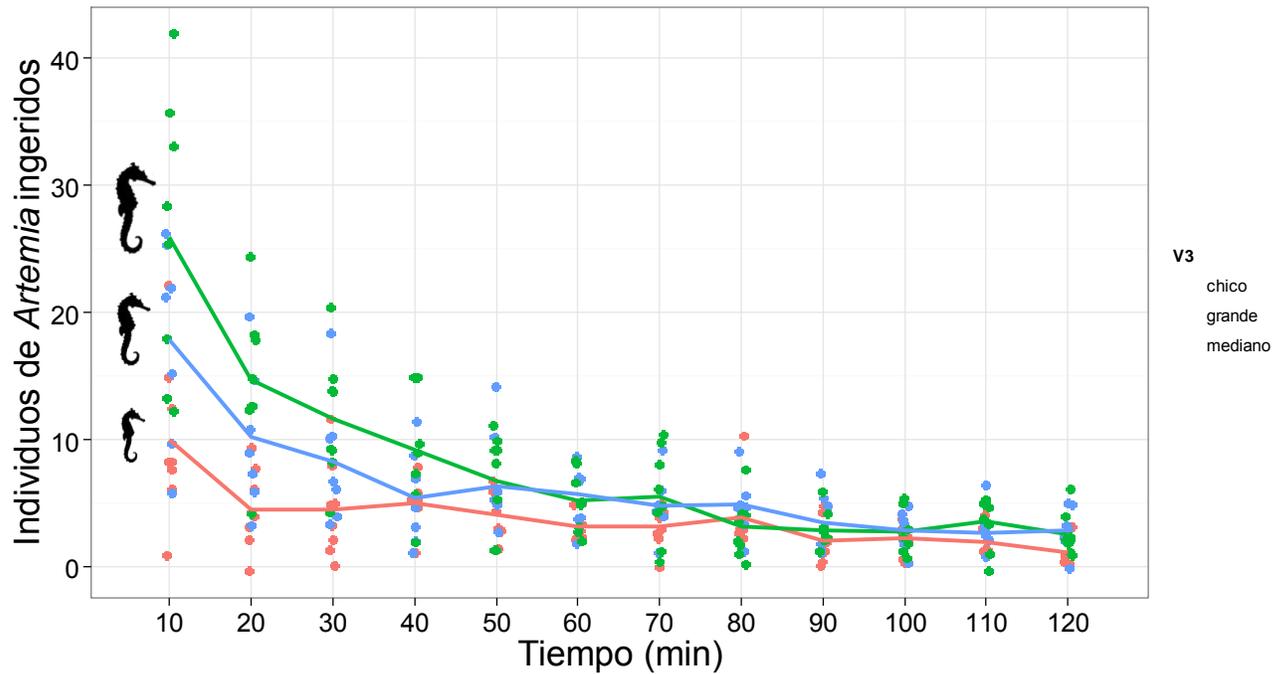


Figura 6. Efecto de la talla de *H. erectus* en las tasas de ingestión de *Artemia*. La longitud estándar de *H. erectus* fue de 52 ± 4 mm, 62 ± 4 mm y 74 ± 7 mm y corresponde con las ilustraciones y colores de los puntos y líneas. Las líneas representan la media de cada grupo. A diferencia de la Tabla 2, los datos aquí mostrados se presentan en escala no transformada para facilitar la interpretación.

6.3.2. Anfípodos

Las tasas de ingestión de anfípodos en los caballitos de mar disminuyeron significativamente durante los 30 minutos experimentales ($Z_{1,53} = -3.148$, $p < 0.05$), pero sin diferencias entre los dos grupos de talla estudiados (Figura 7). La ecuación que describe a las tasas de ingestión es $\ln \text{tasas de ingestión} = 1.45 - 0.23x$. Después de 27 minutos de alimentación ninguno de los caballitos de mar ingirió más anfípodos. El número de anfípodos ingeridos máximo registrado fue de 40, que equivale a 0.29 g. El promedio y desviación estándar del número de individuos de anfípodos ingeridos por peces de 90 ± 6 mm y 121 ± 11 mm fue de 15 ± 6 y 30 ± 8 , respectivamente.

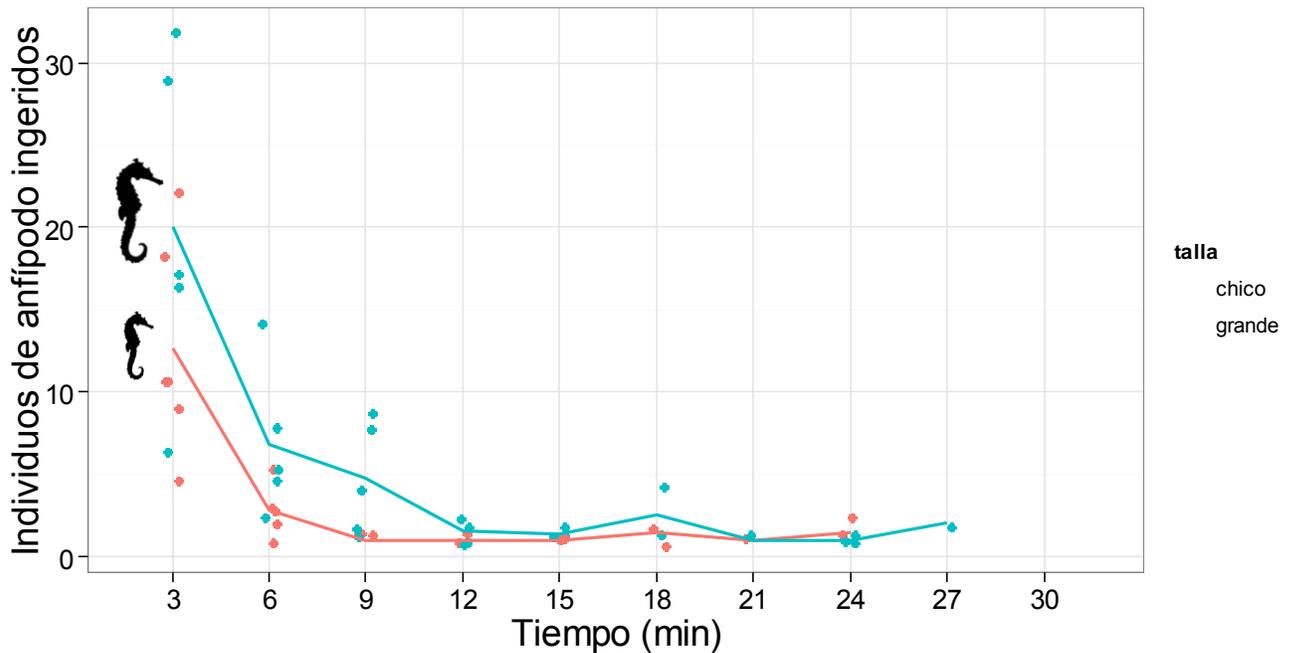


Figura 7. Efecto de la talla de *H. erectus* en las tasas de ingestión de anfípodos. La longitud estándar de *H. erectus* fue de 90 ± 6 mm y 121 ± 11 mm y corresponde con las ilustraciones y colores de los puntos y líneas. Las líneas representan la media de cada grupo. Los datos se presentan en escala no transformada para facilitar la interpretación.

6.4. Maximización las tasas de ingestión

La biomasa de anfípodos ingeridos por los caballitos de mar incrementó significativamente con la talla de los caballitos de mar ($F_{1,47} = 33.084$, $p < 0.05$), con la talla de los anfípodos ($F_{2,16} = 11.527$, $p < 0.05$) y con la interacción ($F_{2,16} = 3.278$, $p < 0.05$) (Figura 8[Biomasa]). Los caballitos de mar alimentados con anfípodos grandes, medianos y chicos ingirieron en promedio 0.085 ± 0.057 , 0.070 ± 0.029 , 0.057 ± 0.022 g de biomasa.

El número de anfípodos ingeridos incrementó significativamente con el incremento en talla de los caballitos de mar ($F_{1,47}=51.548$, $p < 0.05$) y disminuyó con el incremento en el tamaño de anfípodo ($F_{2,16}=37.783$, $p < 0.05$), sin interacción entre ambos factores ($F_{2,16} = 1.614$, $p > 0.05$) (Figura 8[Individuos]). Los caballitos de mar alimentados con anfípodos grandes, medianos y chicos ingirieron en promedio 9.9 ± 4.3 , 15 ± 6.2 , 24.7 ± 7.4 individuos de anfípodo.

30
tus

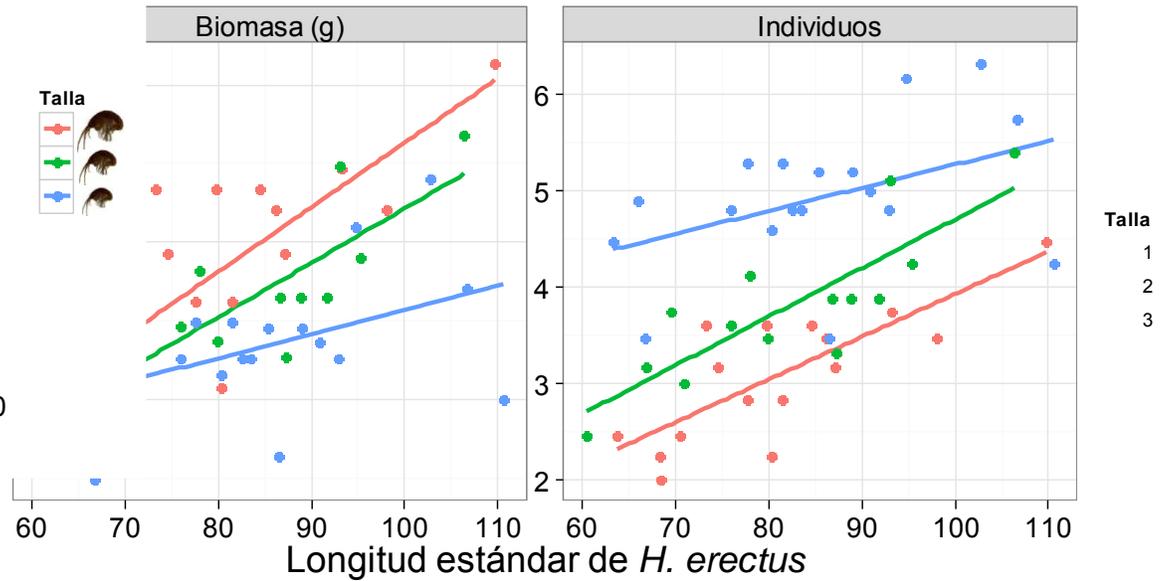


Figura 8. Ingestión total de individuos (A) y biomasa (g) (B) de anfípodos por *H. erectus* de entre 60 y 110 mm de longitud estándar (mm). Las líneas representan el valor ajustado con el método de mínimos cuadrados para cada talla de anfípodo por medio de un ANCOVA. Para efectuar el ANCOVA, los valores de anfípodos ingeridos se transformaron primero a su valor expresado en raíz cuadrada (sq). Los anfípodos se clasificaron de acuerdo a su anchura: anfípodos chicos= 0.49 ± 0.05 mm; anfípodos medianos= 0.61 ± 0.08 mm; anfípodos grandes: $0.81 \text{ mm} \pm 0.16$ mm; y, se ofrecieron a 48 caballitos de mar a una densidad constante de 150 anfípodos durante 30 minutos.

7. DISCUSIÓN

7.1. Relaciones morfométricas

El crecimiento alométrico de los organismos vivos es una respuesta a variables genéticas, fisiológicas y funcionales interrelacionadas (Shingleton, 2010). La morfología del hocico en los caballitos de mar está estrechamente relacionada con la captura de alimento (Leysen et al., 2011). En *H. reidi*, el hocico pasa de ser corto y ancho en los primeros meses de vida a largo y angosto en su forma juvenil y adulta (Roos et al., 2010; Roos et al., 2011). En el presente estudio, el largo de hocico de *H. erectus* mostro un crecimiento isométrico y el ancho de hocico un crecimiento alométrico positivo. Diversos trabajos han demostrado que, determinados por la longitud y diámetro relativos del hocico, existe un equilibrio entre la velocidad y tiempo de succión con el volumen de succión y la energía requerida (Roos et al., 2010; Roos et al., 2011). Por lo tanto las diferencias morfológicas entre *H. reidi* e *H. erectus* indudablemente afectan la dinámica de succión.

Además, estas diferencias morfométricas podrían estar relacionadas con las estrategias de forrajeo en caballitos de mar. Los individuos recién nacidos de *H. erectus* se sujetan del sustrato a más temprana edad que otras especies de caballitos de mar como *H. reidi* (Simoes, comunicación personal). Esta conducta podría favorecer la inclusión de organismos epibentónicos en la dieta desde temprana edad (Costa et al., 2008). En caballitos de mar *H. erectus* menores a 60 mm, los anfípodos y después los copépodos son los grupos más importantes en la dieta (Teixeira y Musik, 2001). Considerando que los anfípodos son en general de tamaños mayores que los copépodos, hocicos más anchos como en *H. erectus* favorecen la ingesta de anfípodos.

La comparación morfométrica de caballitos de mar basada en la literatura debe ser cuidadosamente realizada (Lourie, 2003). El presente trabajo ofrece información que puede utilizarse para estimar diferentes estructuras morfológicas de *H. erectus*. Las estructuras asociadas al aparato bucal tomadas aquí difieren de las tomadas en algunos trabajos previos. Por ejemplo, mientras que en este trabajo se midió el hocico, Blanco (2014) midió la abertura bucal y Souza-Santos et al. (2013) siguió la metodología de Shirota (1970). Es posible que de haber

seguido la metodología utilizada por Blanco (2014), las relaciones morfométricas del hocico resultaran ligeramente diferentes, debido a que la boca de *H. erectus* parece tener crecimiento alométrico negativo en relación al diámetro del hocico (observación personal).

7.2. Longitud total máxima y mínima de anfípodos para *H. erectus*

La talla máxima y mínima de alimento para caballitos de mar es casi desconocida, a pesar de la importancia que tiene en acuicultura. En peces que se alimentan por succión, la proporción entre la talla máxima del alimento con las dimensiones de la abertura bucal es aproximadamente de 0.75 % (Shirota, 1970; Scharf et al., 2000). Con este argumento, Celino et al. (2011) sugirieron que probablemente existe la misma proporción en caballitos de mar. En el presente estudio, la proporción máxima del tamaño de presa fue del 72 %. Esta proporción puede ser preliminarmente útil para estimar la talla de alimento máxima en caballitos de mar. Sin embargo, más estudios son necesarios, particularmente en las primeras etapas del desarrollo, debido a que los caballitos de mar presentan crecimiento alométrico (Roos et al., 2010; Roos et al., 2011), cambios ontogenéticos de alimentación y porque existen más variables que determinan la selección del tamaño del alimento (Murugan et al., 2009; Celino et al., 2011; Blanco, 2014).

Respecto a la talla mínima, los caballitos de mar de 86.9 mm a 114.7 mm lograron ingerir los anfípodos más chicos ofrecidos (2.3 mm). Por lo tanto, debido a que la talla mínima reportada para la especie de anfípodo usada es de 1.5 mm (López, 2015), ésta talla puede utilizarse para alimentar caballitos de mar de las tallas aquí analizadas.

7.3. Saciedad de los caballitos de mar con *Artemia* y con anfípodos

El nivel de saciedad en peces está relacionado con el llenado estomacal debido a que éste regula la conducta alimenticia mediante señales bioquímicas (Gill, 2003). La evaluación de las tasas de ingestión y llenado estomacal permiten conocer el nivel de saciedad (Gill, 2003). Actualmente, en caballitos de mar, sólo un estudio ha reportado la cantidad de alimento que produce saciedad, siendo éste en caballitos de mar recién nacidos (Sheng et al., 2007).

El tiempo de alimentación es de gran interés en acuicultura de caballitos de mar (Gill, 2003). Aunque no existen reportes del tiempo de alimentación apropiado para caballitos de mar, el tiempo previamente utilizado va desde una a cinco horas (Olivotto et al., 2008; Willadino et al., 2012; Souza-Santos et al., 2013). En el presente estudio, las tasas de ingestión de *Artemia* disminuyeron exponencialmente durante dos horas de experimentación. En cambio, las tasas de ingestión de anfípodos cesaron completamente después de 27 minutos de experimentación. Esta diferencia puede deberse a dos motivos. Primero, diferencias nutrimentales y ecoevolutivas entre anfípodos y *Artemia*. La composición de ácidos grasos poliinsaturados de los anfípodos es mayor que el de *Artemia* (Lin et al., 2008a; Dhont et al., 2013), particularmente en EPA y DHA (Baeza-Rojano et al., 2013b), los cuales son esenciales en la reproducción al ser la principal fuente energética durante el desarrollo embrionario de los caballitos de mar así como sucede en otros peces marinos (Sargent et al., 2002; Faleiro y Narciso, 2010). Además, Los anfípodos forman parte de la dieta natural de los caballitos de mar, mientras que la *Artemia* no. Segundo, diferencias de talla entre anfípodos y *Artemia* usados. Los anfípodos fueron más cercanos al tamaño de presa óptimo (e.i. proporción 0.6), lo probablemente estimuló la motivación alimenticia (Gill, 2003), además de que la biomasa aportada por unidad de ingestión fue mayor.

7.4. Maximización de las tasas de ingestión

El desarrollo de alimentos congelados, alternativos y de tallas apropiadas son de gran interés en el cultivo de caballitos de mar (Woods, 2003b; Woods y Valentino, 2003; Palma et al., 2008; Payne, 2008; Lin et al., 2009c; Thuong y Hoang, 2013). La talla de alimento afecta fuertemente a las tasas de ingestión en peces que se alimentan por succión (Hunter, 1981). Los peces necesitan ingerir suficientes partículas de alimento para satisfacer sus demandas energéticas (Hunter, 1981). En ese sentido, Souza-Santos et al. (2013) sugirieron que las tasas de ingestión en número de presas dependen de la relación de talla entre caballitos de mar y el alimento. Los resultados del presente estudio confirman lo anterior demostrando que las tasas de ingestión de biomasa de anfípodos congelados en *H. erectus* de 60.5 mm hasta 110.6 mm de longitud estándar incrementaron con la talla de anfípodo.

De acuerdo con Gill (2003), el llenado gástrico (*e.i.* nivel de saciedad) en relación a las reservas energéticas en los peces, determinan la motivación alimenticia. Por tanto, con un tiempo suficiente los caballitos de mar deberían de ingerir igual biomasa de anfípodos independientemente del tamaño, ya que el valor de las presas como alimento está influenciado por el nivel de saciedad. El tiempo para alimentar caballitos de mar reportado en estudios previos va de 1 a 5 horas (Olivotto et al., 2008; Willadino et al., 2012; Souza-Santos et al., 2013), mientras que en el presente estudio fue de 30 minutos. Este tiempo experimental fue definido con base en los resultados del experimento de saciedad con anfípodos, en cual el 93 % de los anfípodos fue ingerido en los primeros 12 minutos y ninguno después de 27 minutos. Por lo tanto, el tiempo no pudo limitar la ingestión total de biomasa.

Los resultado obtenidos sugieren que los caballitos de mar podrían ingerir mayor biomasa de alimento cuando la talla se encuentra cercana a la talla óptima de presa teórica (Hunter, 1981). Esto está parcialmente apoyado por estudios previos que han demostrado que los caballitos de mar seleccionan presas más grandes conforme estos crecen (Hora y Joyeux, 2009; Murugan et al., 2009; Celino et al., 2011; Souza-Santos et al., 2013), al igual que otros peces (Johnson et al., 2012), e ignoran presas chicas (Hora y Joyeux, 2009).

8. CONCLUSIONES

Este trabajo demostró que la talla de anfípodo afecta a las tasas de ingestión en el caballito de mar *Hippocampus erectus*, aún cuando éstos tienen capacidad de compensar la biomasa ingerida con el número de anfípodos ingeridos. Complementariamente, la talla de anfípodos máxima que pueden ingerir los caballitos de mar fue identificada por primera vez para el género, y representa información básica útil para estimar el tamaño de alimento para caballitos de mar. Para tal fin, éste trabajo ofrece además información biométrica tanto de *H. erectus* como de los anfípodos gamáridos *Elasmopus pecteniscrus*. La importancia de los anfípodos como fuente alimenticia es apoyada aquí por las observaciones de tiempo de saciedad, donde los anfípodos saciaron a los caballitos de mar en menor tiempo que la *Artemia*, alimento comúnmente usado a pesar de sus desventajas nutricionales.

9. LITERATURA CITADA

- Alecastro, L.A., Degner, R.L. y SLarkin, S.L., 2005. Hobbyists' preferences for marine ornamental fish: A discrete choice analysis of ecolabeling and selected product attributes. *SPC Live Reef Fish Information Bulletin*. 15: 19-22.
- Baeza-Rojano, E., García, S., Garrido, D., Guerra-García, J.M. y Domingues, P., 2010. Use of amphipods as alternative prey to culture cuttlefish (*Sepia officinalis*) hatchlings. *Aquaculture*. 300(1-4): 243-246.
- Baeza-Rojano, E., Guerra-García, J.M., Cabezas, M.P. y Pacios, I., 2011. Life history of *Caprella grandimana* (Crustacea: Amphipoda) reared under laboratory conditions. *Marine Biology Research*. 7(1): 85-92.
- Baeza-Rojano, E., Calero-Cano, S., Hachero-Cruzado, I. y Guerra-García, J.M., 2013a. A preliminary study of the *Caprella scaura* amphipod culture for potential use in aquaculture. *Journal of Sea Research*. 83: 146-151.
- Baeza-Rojano, E., Domingues, P., Guerra-García, J.M., Capella, S., Noreño-Barroso, E., Caamal-Monsreal, C. y Rosas, C., 2013b. Marine gammarids (Crustacea: Amphipoda): a new live prey to culture *Octopus maya* hatchlings. *Aquaculture Research*. 44(10): 1602–1612.
- Baeza-Rojano, E., Hachero-Cruzado, I. y Guerra-García, J.M., 2014. Nutritional analysis of freshwater and marine amphipods from the Strait of Gibraltar and potential aquaculture applications. *Journal of Sea Research*. 85: 29-36.
- Blanco, C.A., 2014. Rearing of the seahorse *Hippocampus guttulatus*: key factors involved in growth and survival. Tesis de Doctorado. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca, pp. 218.
- Caldwell, I.R. y Vincent, A.C.J., 2013. A sedentary fish on the move: effects of displacement on long-snouted seahorse (*Hippocampus guttulatus* Cuvier) movement and habitat use. *Environmental Biology of Fishes*. 96(1): 67-75.
- Carcupino, M., Baldacci, A., Mazzini, M. y Franzoi, P., 2002. Functional significance of the male brood pouch in the reproductive strategies of pipefishes and seahorses: a morphological and ultrastructural comparative study on three anatomically different pouches. *Journal of Fish Biology*. 61(6): 1465-1480.
- Celino, F.T., Hilomen-Garcia, G.V. y DelNorte-Campos, A.G.C., 2011. Feeding selectivity of the seahorse, *Hippocampus kuda* (Bleeker), juveniles under laboratory conditions. *Aquaculture Research*. 43(12): 1804-1815.
- CITES, 2002. Twelfth meeting of the Conference of the Parties, Amendments to Appendices I and II of CITES, Santiago, Chile.
- CITES, 2004. Seahorse and other members of the family Syngnathidae (decision 12.54), Twentieth meeting of the Animals Committee, Johannesburg (South Africa).

- Costa, A.L., Diniz, A.d.F., Martins, I.Z., Vendel, A.L., Oliveira, T.P.R. y Rosa, I.M.D.L., 2008. Assessing diet composition of seahorses in the wild using a non destructive method: *Hippocampus reidi* (Teleostei: Syngnathidae) as a study-case. *Neotropical Ichthyology*. 6(4): 637-644.
- Cunha, M.R., Moreira, M.H. y Sorbe, J.C., 2000. The amphipod *Corophium multisetosum* (Corophiidae) in Ria de Aveiro (NW Portugal). II. Abundance, biomass and production. *Marine Biology*. 137(4): 651-660.
- Dhont, J., Dierckens, K., Støttrup, J., Van Stappen, G., Wille, M. y Sorgeloos, P., 2013. Rotifers, *Artemia* and copepods as live feeds for fish larvae in aquaculture. en: Allan, G., Burnell, G. (Eds.), *Advances in Aquaculture Hatchery Technology*. Woodhead Publishing, pp. 157-202.
- Domingues, P., López, N. y Rosas, C., 2012. Preliminary trials on the use of large outdoor tanks for the on-growing of *Octopus maya* juveniles. *Aquaculture Research*. 43(1): 26-31.
- Dzyuba, B., VanLook, K.J.W., Cliffe, A., Koldewey, H.J. y Holt, W.V., 2006. Effect of parental age and associated size on fecundity, growth and survival in the yellow seahorse *Hippocampus kuda*. *The Journal of Experimental Biology*. 209: 3055-3061.
- Evanson, M., Foster, S., Wiswedel, S. y Vincent, A., 2011. Tracking the international trade of seahorses (*Hippocampus* species). *The Fisheries Centre*, pp. 104.
- Faleiro, F. y Narciso, L., 2010. Lipid dynamics during early development of *Hippocampus guttulatus* seahorses: Searching for clues on fatty acid requirements. *Aquaculture*. 307(1-2): 56-64.
- Felício, A., Rosa, I., Souto, A. y Freitas, R.A., 2006. Feeding behavior of the longsnout seahorse *Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933. *Journal of Ethology* 24(3): 219-225.
- Foster, S.J. y Vincent, A.C.J., 2004. Review paper: Life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management. *Journal of Fish Biology*. 65(1): 1-61.
- Garcia, L.M.B. y Hilomen-Garcia, G.V., 2008. Grow-out of juvenile seahorse *Hippocampus kuda* (Bleeker; Teleostei: Syngnathidae) in illuminated sea cages. *Aquaculture Research*. 40(2): 211-217.
- Gemmell, B.J., Sheng, J. y Buskey, E.J., 2013. Morphology of seahorse head hydrodynamically aids in capture of evasive prey. *Nature*. 4: 1-8.
- Gill, A.B., 2003. The dynamics of prey choice in fish: the importance of prey size and satiation. *Journal of Fish Biology*. 63: 105-116.
- Guest, A. y Craig, J.F., 2011. Editorial: The biology of Syngnathidae: pipefishes, seadragons and seahorses. *Journal of Fish Biology*. 78(6): 1597-1602.
- Gurkan, S., Taskavak, E., Sever, T.M. y Akalin, S., 2011. Gut contents of two european seahorses *Hippocampus hippocampus* and *Hippocampus*

- guttulatus* in the aegean sea, coasts of Turkey. Pakistan Journal of Zoology. 43(6): 1197-1201.
- Holbrook, S.J. y Schmitt, R.J., 1992. Causes and consequences of dietary specialization in surfperches: patch choice and intraspecific competition. Ecology. 73(2): 402-412.
- Hora, M.S.C. y Joyeux, J.-C., 2009. Closing the reproductive cycle: Growth of the seahorse *Hippocampus reidi* (Teleostei, Syngnathidae) from birth to adulthood under experimental conditions. Aquaculture. 292(1-2): 37-41.
- Hunter, R., 1981. Feeding ecology and predation on marine larvae in marine fish larvae. en: Lasker, R. (Ed.), Marine Fish Larvae: morphology, ecology and relation to fisheries. University of Washington, Seattle, pp. 34-77.
- IUCN. 2014. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. Consultada el 01/11/2015, desde www.redlist.org.
- Job, S., Buu, D. y Vincent, A.C.J., 2006. Growth and Survival of the Tiger Tail Seahorse, *Hippocampus comes*. Journal of the World Aquaculture Society. 37(3): 322-327.
- Johnson, A.F., Valls, M., Moranta, J., Kenkins, S.R., Hiddink, J.G. y Hinz, H., 2012. Effect of prey abundance and size on the distribution of demersal fishes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 69: 191-200.
- Kawashima, H., Takeuchi, I. y Ohnishi, M., 1999. Fatty Acid Compositions in Four of Caprellid Amphipod Species (Crustacea) from Otsuchi and Mutsu Bays in Northern Japan. Journal of Japan Oil Chemists' Society. 48(6): 595-599,626.
- Kendrick, A. y Hyndes, G., 2005. Variations in the dietary compositions of morphologically diverse syngnathid fishes. Environmental Biology of Fishes. 72(4): 415-427.
- Kitsos, M.-S., Tzomos, T., Anagnostopoulou, L. y Koukouras, A., 2008. Diet composition of the seahorses, *Hippocampus guttulatus* Cuvier, 1829 and *Hippocampus hippocampus* (L., 1758) (Teleostei, Syngnathidae) in the Aegean Sea. Journal of Fish Biology. 72(6): 1259-1267.
- Koldewey, H.J. y Martin-Smith, K.M., 2010. A Global review of seahorse aquaculture. Aquaculture. 302(3-4): 131-152.
- LeCroy, S.E., Gasca, R., Windfield, I., Ortiz, M. y Escobar-Briones, E., 2009. Amphipoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico. en: Felder, D.L., Camp, D.K. (Eds.), Gulf of Mexico-Origin, Waters, and Biota. Texas A&M University Press, USA, pp. 941-972.
- Leysen, H., Roos, G. y Adriaens, D., 2011. Morphological variation in head shape of pipefishes and seahorses in relation to snout length and developmental growth. Journal of Morphology. 272(10): 1259-1270.

- Lin, Q., Junyi, L., Gao, Y., Shen, L., Cai, J. y Luo, J., 2006. The effect of temperature on gonad, embryonic development and survival rate of juvenile seahorses, *Hippocampus kuda* Bleeker. *Aquaculture*. 254(1-4): 701-713.
- Lin, Q., Lin, J., Lu, J. y Li, B., 2008a. Biochemical Composition of Six Seahorse Species, *Hippocampus* sp., from the Chinese Coast. *Journal of the World Aquaculture Society*. 39(2): 225-234.
- Lin, Q., Lin, J. y Zhang, D., 2008b. Breeding and juvenil culture of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture*. 277(3-4): 287-292.
- Lin, Q., Lin, J. y Huang, L., 2009a. Effects of substrate color, light intensity and temperature on survival and skin color change of juvenile seahorses, *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture*. 298: 157-161.
- Lin, Q., Lin, J. y Wang, C., 2009b. Biochemical composition of the wild and cultured seahorses, *Hippocampus kuda* Bleeker and *Hippocampus trimaculatus* Leach. *Aquaculture Research*. 40(6): 710-719.
- Lin, Q., Lin, J., Zhang, D. y Wang, Y., 2009c. Weaning of juvenile seahorses *Hippocampus erectus* Perry, 1810 from live to frozen food. *Aquaculture*. 291(3-4): 224-229.
- Lin, Q., Zhang, D. y Lin, J., 2009d. Effects of light intensity, stocking density, feeding frequency and salinity on the growth of sub-adult seahorses *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture*. 292(1-2): 111-116.
- Lin, Q., Lin, J. y Huang, L., 2010. Effects of light intensity, stocking density and temperature on the air-bubble disease, survivorship and growth of early juvenile seahorse *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture Research*. 42(1): 91-98.
- López, H.I., 2015. Potencial de los anfípodos marinos *Parhyale hawaiiensis* y *Elasmopus pecteniscrus* para su uso como alimento vivo en acuicultura. Tesis de Maestría, Laboratorio de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Mérida, Yucatán.
- Lourie, S.A., 2003. Measuring seahorses. Project Seahorse, Fisheries Centre, University of British Columbia.
- Lourie, S.A., Foster, S.J., Cooper, E.W.T. y Vincent, A.C.J., 2004. A Guide to the Identification of Seahorses. University of British Columbia and World Wildlife Fund, Washington.
- Martin-Smith, K.M., Samoilys, M.A., Meeuwig, J.J. y Vincent, A.C.J., 2004. Collaborative development of management options for an artisanal fishery for seahorses in the central Philippines. *Ocean & Coastal Management*. 47(3-4): 165-193.
- Martin, J.W. y Davis, G.E., 2001. An updated clasification of the recent crustacea. Natural History Museum of Los Angeles County, USA.

- Martinez-Cardenas, L. y Purser, G.J., 2007. Effect of tank colour on *Artemia* ingestion, growth and survival in cultured early juvenile pot-bellied seahorses (*Hippocampus abdominalis*). *Aquaculture*. 264(1-4): 92-100.
- Martinez-Cardenas, L. y Purser, G.J., 2011. Effect of stocking density and photoperiod on growth and survival in cultured early juvenile pot-bellied seahorses *Hippocampus abdominalis* Lesson, 1827. *Aquaculture Research*. 43(10): 1536-1549.
- Murugan, A., Dhanya, S., Sreepada, R.A., Rajagopal, S. y Balasubramanian, T., 2009. Breeding and mass-scale rearing of three spotted seahorse, *Hippocampus trimaculatus* Leach under captive conditions. *Aquaculture*. 290(1-2): 87-96.
- Nelson, J.S., 2006. *Fishes of the world*, fourth ed. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Olivotto, I., Avella, M.A., Sampaolesi, G., Piccinetti, C.C., Ruiz, P.N. y Carnevali, O., 2008. Breeding and rearing the longsnout seahorse *Hippocampus reidi*: Rearing and feeding studies. *Aquaculture*. 283(1-4): 92-96.
- Ortega-Salas, A.A. y Reyes-Bustamante, H., 2006. Fecundity, survival, and growth of the seahorse *Hippocampus ingens* (Pisces: Syngnathidae) under semi-controlled conditions. *Revista de Biología Tropical*. 54(4): 1099-1102.
- Otero-Ferrer, F., Molina, L., Socorro, J., Herrera, R., Fernández-Palacios, H. y Izquierdo, S.M., 2010. Live prey first feeding regimes for short-snouted seahorse *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1759) juveniles. *Aquaculture Research*. 41(9): 1-12.
- Page, H., Dugan, J., Schroeder, D., Nishimoto, M., Love, M. y Hoesterey, J., 2007. Trophic links and condition of a temperate reef fish: comparisons among offshore oil platform and natural reef habitats. *Marine Ecology Progress Series*. 344: 245-256.
- Palma, J., Stockdale, J., Correi, M. y Andrade, J.P., 2008. Growth and survival of adult long snout seahorse (*Hippocampus guttulatus*) using frozen diets. *Aquaculture*. 278(1-4): 55-59.
- Palma, J., Bureau, D.P. y Andrade, J.P., 2011. Effect of different *Artemia* enrichments and feeding protocol for rearing juvenile long snout seahorse, *Hippocampus guttulatus*. *Aquaculture*. 318(3-4): 439-443.
- Payne, M.F. y Rippingale, R.J., 2000. Rearing West Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*. *Aquaculture*. 188(3-4): 353-361.
- Payne, M.F., 2008. Rearing the Coral Seahorse, *Hippocampus Barbouri*, on Live and Inert Prey, *Marine Ornamental Species*. Blackwell Publishing Company, pp. 289-296.
- Planas, M., Quintas, P., Chamorro, A. y Silva, C., 2010. Female maturation, egg characteristics and fatty acids profile in the seahorse *Hippocampus guttulatus*. *Animal Reproduction Science*. 122(1-2): 66-73.

- Planas, M., Blanco, A., Chamorro, A., Valladares, S. y Pintado, J., 2012. Temperature-induced changes of growth and survival in the early development of the seahorse *Hippocampus guttulatus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 438(0): 154-162.
- Prein, M., 1995. Aquaculture potential of seahorses and pipefishes. *NAGA, The ICLARM Quarterly*. 8(1): 20-21.
- Qin, G., Zhang, Y., Huang, L. y Lin, Q., 2014. Effects of water current on swimming performance, ventilation frequency, and feeding behavior of young seahorses (*Hippocampus erectus*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 461(0): 337-343.
- R Core Team. 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.1.0). Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing.
- Roos, G., Van Wassenbergh, S., Herrel, A. y Aerts, P., 2009. Kinematics of suction feeding in the seahorse *Hippocampus reidi*. *The Journal of Experimental Biology*. 212: 3490-3498.
- Roos, G., Van Wassenbergh, S., Herrel, A., Adriaens, D. y Aerts, P., 2010. Snout allometry in seahorses: insights on optimisation of pivot feeding performance during ontogenetic. *The Journal of Experimental Biology*. 213: 2184-2193.
- Roos, G., Van Wassenbergh, S., Aerts, P., Herrel, A. y Adriaens, D., 2011. Effects of snout dimensions on the hydrodynamics of suction feeding in juvenile and adult seahorses. *Journal of Theoretical Biology*. 269(1): 307-317.
- Rosenqvist, G. y Berglund, A., 2011. Sexual signals and mating patterns in Syngnathidae. *Journal of Fish Biology*. 78(6): 1-15.
- Ruppert, E.E. y Barnes, R.D., 1996. *Zoología de los invertebrados*, Sixth ed. Mc Graw-Hill Interamericana, México, D. F.
- Sanaye, S.V., Pawar, H.B., Murugan, A., Sreepada, R.A., T, S. y Ansari, Z.A., 2013. Diseases and parasites in cultured yellow seahorse, *Hippocampus kuda* (Bleeker, 1852). *Fishing Chimes*. 32(11): 65-67.
- Sargent, J.R., McEvoy, L.A. y Bell, J.G., 1997. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*. 155(1-4): 117-127.
- Sargent, J.R., Tocher, D.R. y Bell, G.J., 2002. The Lipids. en: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), *Fish Nutrition*. Elsevier Science, USA, pp. 181-265.
- Scharf, F.S., Juanes, F. y Rountree, R.A., 2000. Predator size - prey size relationships of marine fish predators: interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-nich breadth. *Marine Ecology Progress Series*. 208: 229-248.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión,

exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.

- SEMARNAT. 2014. Especies prioritarias para la conservación en México. Diario Oficial de la Federación.
- Shapawi, R. y Purser, G.J., 2003. The value of Enriched *Artemia* in Supporting Growth and Survival of Juvenile Pot-bellied Seahorses *Hippocampus abdominalis*. Journal of the World Aquaculture Society. 34(4): 533-541.
- Sheng, J., Lin, Q., Chen, Q., Shen, L. y Lu, J., 2007. Effect of starvation on the initiation of feeding, growth and survival rate of juvenile seahorses, *Hippocampus trimaculatus* Leach and *Hippocampus kuda* Bleeker. Aquaculture. 271(1-4): 469-478.
- Shingleton, A.W., 2010. Allometry: the study of biological scaling. Nature Education Knowledge. 3(10): 2.
- Shirota, A., 1970. Studies on the mouth size of fish larvae. Fresh Water Biological Association. 36(99): 353-368.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J., 2012. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research, 4 ed. W. H. Freeman, New York.
- Souza-Santos, L.P., Regis, C.G., Mélo, R.C.S. y Cavalli, R.O., 2013. Prey selection of juvenile seahorse *Hippocampus reidi*. Aquaculture. 404-405(0): 35-40.
- Stölting, K.N. y Wilson, A.B., 2007. Male pregnancy in seahorses and pipefish: beyond the mammalian model. BioEssays. 29(9): 884-896.
- Storero, L.P. y Gonzalez, R.A., 2008. Feeding habits of the seahorse *Hippocampus patagonicus* in San Antonio Bay (Patagonia, Argentina). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 88(7): 1503-1508.
- Storero, L.P. y González, R.A., 2009. Prey Selectivity and Trophic Behavior of the Patagonian Seahorse, *Hippocampus patagonicus*, in Captivity. Journal of the World Aquaculture Society. 40(3): 394-401.
- Suontama, J., Karlsen, Ø., Moren, M., Hemre, G.I., Melle, W., Langmyhr, E., Mundheim, H., RingØ, E. y Olsen, R.E., 2007. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods. Aquaculture Nutrition. 13(4): 241-255.
- Teixeira, R.L. y Musik, J.A., 2001. Reproduction and food habits of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Teleostei: Syngnathidae) of Chesapeake bay, Virginia. Revista Brasileira de Biología. 61(1): 79-90.
- Teske, P.R. y Beheregaray, L.B., 2009. Evolution of seahorses' upright posture was linked to Oligocene expansion of seagrass habitats. Biology Letters. 5: 521-523.

- Thiel, M., 2003. Extended parental care in crustaceans - an update. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76: 205-218.
- Thuong, T.D. y Hoang, T., 2013. Rearing the spotted seahorse *Hippocampus kuda* by feeding live and frozen copepods collected from shrimp ponds. *Aquaculture Research*. n/a-n/a.
- Tipton, K. y Bell, S.S., 1988. Foraging patterns of two syngnathid fishes: importance of harpacticoid copepods. *Marine Ecology Progress Series*. 47: 31-43.
- Van Wassenbergh, S., Roos, G., Genbrugge, A., H., L., Aerts, P., Adriaens, D. y Herrel, A., 2009. Suction is kid's play: extremely fast suction in newborns seahorses. *Biology Letters*. 5: 200-203.
- Vincent, A.C.J., 1995. A role for daily greeting in maintaining seahorse pair bonds. *Animal Behaviour*. 49(1): 258-260.
- Vincent, A.C.J. y Sadler, L.M., 1995. Faithful pair bonds in wild seahorses, *Hippocampus whitei*. *Animal Behaviour*. 50(6): 1557-1569.
- Vincent, A.C.J. y Koldewey, H.J., 2006. An Uncertain Future for Seahorse Aquaculture in Conservation and Economic Contexts. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo, Panay, Philippines.
- Vincent, A.C.J., Foster, S.J. y Koldewey, H.J., 2011. Conservation and management of seahorses and other Syngnathidae. *Journal of Fish Biology*. 78(6): 1681-1724.
- Vincent, A.C.J., Sadovy de Mitcheson, Y.J., Fowler, S.L. y Lieberman, S., 2013. The role of CITES in the conservation of marine fishes subject to international trade. *Fish and Fisheries*. 1-30.
- Vite-Garcia, N., Simoes, N., Arjona, O., Mascaro, M. y Palacios, E., 2014. Growth and survival of *Hippocampus erectus* (Perry, 1810) juveniles fed on *Artemia* with different HUFA levels. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 42(1): 150-159.
- Wassenbergh, S.V., Roos, G. y Ferry, L., 2011. An adaptative explanation for the horse-like shape of seahorse. *Nature Communications*. 2(164).
- Wilson, A.B., Vincent, A.C.J., Ahnesjö, I. y Meyer, A., 2001. Male pregnancy in Seahorses and Pipefishes (Family Syngnathidae): Rapid Diversification of Paternal Brood Pouch Morphology Inferred From A Molecular Phylogeny. *The Journal of Heredity*. 92(2): 159-166.
- Wilson, M.J. y Vincent, A.C.J., 1998. Preliminary success in closing the life cycle of exploited seahorse species, *Hippocampus* spp., in captivity. *Aquarium Sciences and Conservation*. 2(4): 179-196.
- Wilson, M.J. y Vincent, A.C.J., 2000. Preliminary success in closing the life cycle of exploited seahorses species, *Hippocampus* spp., in captivity. *Aquarium Sciences and Conservation*. 2: 179-196.

- Wilson, Z., Carter, C.G. y Purser, G.J., 2006. Nitrogen budgets for juvenile big-bellied seahorse *Hippocampus abdominalis* fed *Artemia*, mysids or pelleted feeds. *Aquaculture*. 255(1-4): 233-241.
- Willadino, L., P., S.-S.L., Mélo, R.C.S., Brito, A.P., Barros, C.S., Araújo-Castro, C.M.V., Galvão, D.B., Gouveia, A., Regis, C.G. y Cavalli, R.O., 2012. Ingestion rate, survival and growth of newly released seahorse *Hippocampus reidi* fed exclusively on cultured live food items. *Aquaculture*. 360-361: 10-16.
- Windfield, I., 2008. Catálogo taxonómico de especies de México, Anfípodos (Crustáceos). en: Ocegueda, S., Llorente-Bousquets, J. (Eds.), *Capital natural de México*. CONABIO, México, pp. 46-63.
- Woods, C.M.C., 2000a. Improving initial survival in cultured seahorses, *Hippocampus abdominalis* Leeson, 1827 (Teleostei:Syngnathidae). *Aquaculture*. 190: 377-388.
- Woods, C.M.C., 2000b. Preliminary observations on breeding and rearing the seahorse *Hippocampus abdominalis* (Teleostei: Syngnathidae) in captivity. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 34(3): 475-485.
- Woods, C.M.C., 2002. Natural diet of the seahorse *Hippocampus abdominalis*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 36(3): 655-660.
- Woods, C.M.C., 2003a. Effect of stocking density and gender segregation in the seahorse *Hippocampus abdominalis*. *Aquaculture*. 218: 167-176.
- Woods, C.M.C., 2003b. Growth and survival of juvenile seahorse *Hippocampus abdominalis* reared on live frozen and artificial foods. *Aquaculture*. 220(1-4): 287-298.
- Woods, C.M.C., 2003c. Effect of varying *Artemia* enrichment on growth and survival of seahorses, *Hippocampus abdominalis*. *Aquaculture*. 220: 537-548.
- Woods, C.M.C. y Valentino, F., 2003. Frozen mysids as an alternative to live *Artemia* in culturing seahorses *Hippocampus abdominalis*. *Aquaculture Research*. 34(9): 757-763.
- Woods, C.M.C., 2005. Growth of cultured seahorses (*Hippocampus abdominalis*) in relation to feed ration. *Aquaculture International*. 13(4): 305-314.
- Woods, C.M.C., 2009. Caprellid amphipods: An overlooked marine finfish aquaculture resource? *Aquaculture*. 289(3-4): 199-211.
- Xu, Y., Lin, J. y Chen, S., 2010. Polyculture of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* Perry, 1810 with two species of macroalgae in aquaria. *Acta Oceanologica Sinica*. 29(1): 26-32.
- Zhang, D., Zhang, Y., Lin, J. y Lin, Q., 2010. Growth and survival of juvenile lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Perry), at different stocking densities. *Aquaculture Research*. 42(1): 9-13.

10. ANEXOS

Anexo 1.

Precios en pesos de caballitos de mar (MXN) ordenados por epíteto específico del género *Hippocampus* para consumidor final y al por menor obtenidos mediante consultas on-line y personales. Para calcular la equivalencia de monedas extranjeras a pesos se consultó el sitio web <http://www.xe.com/>. La talla es está en pulgadas (in). El encabezado "legal" indica si el vendedor presenta autorización de comercialización expedida por el CITES, y , si los organismos proceden de México, número de aprovechamiento autorizado por la SEMARNAT. La fecha se refiere a la de las conversiones y consultas de las fuentes. Se indican datos adicionales en los encabezados de acuerdo con la información proporcionada por los vendedores.

Especie	Precio	Talla	Coloración	Origen	Procedencia	Alimentación	Fecha	Fuente
<i>H. abdominalis</i>	1539	5	Café	Cautiverio	USA	Misis congelados	30/03/13	http://www.ebay.com/
<i>H. abdominalis</i>	1468	4	-	Cautiverio	Hawái	Misis congelados	09/06/13	http://www.seahorse.com/
<i>H. abdominalis</i>	386	-	-	Cautiverio	Tasmania	Alimento	09/06/13	http://www.seahorse-australia.com.au/
<i>H. abdominalis</i>	1461	3-4	Gris	Cautiverio	USA	Misis congelados / <i>Artemia</i>	14/06/13	http://www.ebay.com/
<i>H. barbouri</i>	4309	2-2.5	Amarillo	Salvaje	-	-	30/03/13	http://www.bluezooaquatics.com/
<i>H. barbouri</i>	784	-	-	Cautiverio	Tasmania	Alimento congelado	09/06/13	http://www.seahorse-australia.com.au/
<i>H. barbouri</i>	1162	-	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorsesource.com/
<i>H. barbouri</i>	1455	2.75	-	Cautiverio	Irlanda	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorseaquariums.com/store/
<i>H. barbouri</i>	1027	3	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/

<i>H. barbouri</i>	1626	-	-	-	Francia	-	-	16/06/13	http://www.marinelife.com/
<i>H. comes</i>	923	2.5-4.5	Negro	Salvaje	-	-	-	30/03/13	http://www.bluezooaquatics.com/
<i>H. comes</i>	902	3-4	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	-	10/06/13	http://www.seahorsesource.com/
<i>H. comes</i>	776	3-4	-	Cautiverio	USA	Misis congelados / <i>Artemia</i>	-	12/06/13	http://www.seahorselab.com/
<i>H. comes</i>	1293	4.5-6	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	-	12/06/13	http://www.seahorselab.com/
<i>H. comes</i>	1024	2.7-3.1	-	Salvaje	Sri Lanka	-	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/
<i>H. erectus</i>	765	2.75	-	Cautiverio	México	Copépodos congelados	-	28/01/13	http://www.liveaquaria.com/
<i>H. erectus</i>	893	3	-	Cautiverio	México	Copépodos congelados	-	28/01/13	http://www.liveaquaria.com/
<i>H. erectus</i>	862	2-3	Amarillo	Cautiverio	-	Misis congelados	-	30/03/13	http://www.aquacon.com/
<i>H. erectus</i>	554	2-3	Negro	Cautiverio	-	Misis congelados	-	30/03/13	http://www.aquacon.com/
<i>H. erectus</i>	1724	2-3	-	-	Indopacífico	-	-	30/03/13	http://www.freshmarine.com/
<i>H. erectus</i>	923	4*	Negro	Salvaje	Florida	-	-	30/03/13	http://www.ebay.com/
<i>H. erectus</i>	3694	4	Colorido	Cautiverio	Hawái	-	-	30/03/13	http://www.seahorse.com/
<i>H. erectus</i>	769	4	Colorido	Cautiverio	Hawái	-	-	30/03/13	http://www.seahorse.com/
<i>H. erectus</i>	493	3	Negro	Salvaje	USA	<i>Artemia</i>	-	05/04/13	http://www.livebrineshrimp.com/

<i>H. erectus</i>	246	2.75	Negro	Cautiverio	USA	<i>Artemia</i>	05/04/13	http://www.livebrineshrimp.com/
<i>H. erectus</i>	300	3	Varios	Salvaje	México	<i>Artemia</i>	06/04/13	Mercado Morelos, D. F. Consulta personal
<i>H. erectus</i>	1102	3	-	Cautiverio	UK	Misis congelados	10/06/13	http://www.simplyseahorses.co.uk/
<i>H. erectus</i>	838	3	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorsesource.com/
<i>H. erectus</i>	645	-	Negro	Cautiverio	Florida	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorsecorral.com/
<i>H. erectus</i>	1548	-	Amarillo	Cautiverio	Florida	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorsecorral.com/
<i>H. erectus</i>	968	-	-	Cautiverio	USA	Alimento congelado	10/06/13	http://www.seahorsesandsandcastles.com/
<i>H. erectus</i>	1669	2.5-3	Naranja	Cautiverio	USA	Misis congelados / <i>Artemia</i>	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/
<i>H. erectus</i>	770	2.5-3	Gris	Cautiverio	USA	Misis congelados / <i>Artemia</i>	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/
<i>H. erectus</i>	898	4.5-5.5	Gris	Cautiverio	USA	Misis congelados	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/
<i>H. erectus</i>	1026	3*	Gris	Cautiverio	USA	Misis congelados	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/
<i>H. erectus</i>	646	3-4.5	-	Cautiverio	USA	Misis congelados / <i>Artemia</i>	12/06/13	http://www.seahorselab.com/
<i>H. erectus</i>	1295	-	Negro/plata	Salvaje	Atlántico	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/
<i>H. erectus</i>	1017	3	Gris	Cautiverio	USA	Misis congelados / <i>Artemia</i>	14/06/13	http://www.ebay.com/
<i>H. erectus</i>	1869	-	-	Cautiverio	Alemania	-	16/06/13	http://www.shop-meeresaquaristik.de/

<i>H. sp.</i>	500	3	Café	Cautiverio	México	<i>Artemia</i>	06/04/13	Mercado Morelos, D. F. Consulta personal
<i>H. sp.</i>	450	4	Negro	Salvaje	México	<i>Artemia</i>	06/04/13	Mercado Morelos, D. F. Consulta personal
<i>H. sp.</i>	1200	4	Varios	Cautiverio	Aguascalientes	-	27/04/13	http://www.mercadolibre.com.mx/
<i>H. sp.</i>	650	-	-	-	México	Alimento vivo	27/04/13	http://www.mercadolibre.com.mx/
<i>H. sp.</i>	500	4	Negro	Salvaje	México	-	12/06/13	http://www.mercadolibre.com.mx/
<i>H. sp.</i>	600	-	-	Cautiverio	Oaxaca	<i>Artemia</i> congelados	14/06/13	http://www.mercadolibre.com.mx/
<i>H. sp.</i>	650	3	Negro/amarillo	-	D.F.	-	14/06/13	http://www.mercadolibre.com.mx/
<i>H. sp.</i>	650	-	-	-	D.F.	-	14/06/13	http://www.mercadolibre.com.mx/
<i>H. ingens</i>	400	3.5	Café	Salvaje	Acapulco	-	06/04/13	Mercado Morelos, D. F. Consulta personal
<i>H. ingens</i>	1468	3	Colorido	Cautiverio	Hawái	Misis congelados / <i>Artemia</i>	09/06/13	http://www.seahorse.com/
<i>H. ingens</i>	1021	1.5-4	Varios	Cautiverio	-	Misis congelados	09/06/13	http://www.liveaquaria.com/
<i>H. ingens</i>	902	4	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorsesource.com/
<i>H. kelloggi</i>	344	1.5-2.5	Café	Salvaje	-	Misis y <i>Artemia</i> congelados	30/03/13	http://www.petco.com/
<i>H. kuda</i>	357	3	-	Cautiverio	Sri Lanka	<i>Artemia</i>	30/03/13	http://www.liveaquaria.com/
<i>H. kuda</i>	738	3	Negro	Cautiverio	USA	Misis congelados	30/03/13	http://www.saltwaterfish.com/

<i>H. kuda</i>	972	4.5-5	-	Cautiverio	USA	Misis y copépodos congelados	31/03/13	http://www.aquacorals.com/
<i>H. kuda</i>	680	2.75	Negro	-	Buenos Aires	-	01/04/13	http://aquariumdepot.com.ar/
<i>H. kuda</i>	800	3	Naranja	Salvaje	México	<i>Artemia</i>	06/04/13	Mercado Mixhuca, D. F. Consulta personal
<i>H. kuda</i>	1200	3*	Naranja	Salvaje	México	<i>Artemia</i>	06/04/13	Mercado Mixhuca, D. F. Consulta personal
<i>H. kuda</i>	752	2.75	Negro	Cautiverio	UK	-	27/04/13	http://www.aquaticstoyourdoor.co.uk/
<i>H. kuda</i>	663	-	Varios	Cautiverio	Tasmania	Alimento congelado	09/06/13	http://www.seahorse-australia.com.au/
<i>H. kuda</i>	781	3	-	Cautiverio	UK	Misis congelados	10/06/13	http://www.simplyseahorses.co.uk/
<i>H. kuda</i>	709	-	-	Cautiverio	USA	Alimento congelado	10/06/13	http://www.seahorsesource.com/
<i>H. kuda</i>	839	-	-	Cautiverio	USA	Alimento congelado	10/06/13	http://www.seahorsesandsandcastles.com/
<i>H. kuda</i>	1712	4	Colorido	Cautiverio	Irlanda	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorseaquariums.com/store/
<i>H. kuda</i>	938	2.7-3.1	Negro	Salvaje	Australia	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/
<i>H. kuda</i>	484	2	Negro	-	Francia	-	16/06/13	http://www.poisson-or.com/
<i>H. kuda</i>	552	2	Amarillo	-	Francia	-	16/06/13	http://www.poisson-or.com/
<i>H. reidi</i>	554	3.5-4.5	Negro	Cautiverio	Brasil	Alimento congelado	30/03/13	http://www.aquacon.com/
<i>H. reidi</i>	1385	3.5-4.5	Rojo/Naranja	Cautiverio	Brasil	Alimento congelado	30/03/13	http://www.aquacon.com/

<i>H. reidi</i>	1345	4	Amarillo	Cautiverio	UK	-	27/04/13	http://www.aquaticstoyourdoor.co.uk/
<i>H. reidi</i>	1936	-	-	Cautiverio	USA	Alimento congelado	10/06/13	http://www.seahorsesandsandcastles.com/
<i>H. reidi</i>	1198	2.75	-	Cautiverio	Irlanda	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorseaquariums.com/store/
<i>H. reidi</i>	1370	4	-	Cautiverio	Irlanda	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorseaquariums.com/store/
<i>H. reidi</i>	898	3	Marrón	Cautiverio	USA	Misis congelados	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/
<i>H. reidi</i>	2052	5-7	Marrón	Cautiverio	USA	Misis congelados	11/06/13	http://www.southwatchseahorse.com/
<i>H. reidi</i>	890	3.1-3.5	Negro	Salvaje	Sri Lanka	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/
<i>H. reidi</i>	1139	2.7-3.1	Amarillo	Salvaje	Sri Lanka	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/
<i>H. reidi</i>	2128	4.7-5.1	Naranja	Salvaje	Sri Lanka	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/
<i>H. reidi</i>	500	3	Varios	Cautiverio	USA	<i>Artemia</i>	13/06/13	Acuario coral fish Consulta personal
<i>H. reidi</i>	1120	-	-	Cautiverio	Alemania	-	16/06/13	http://www.shop-meeresaquaristik.de/
<i>H. whiteii</i>	677	-	Café	Cautiverio	Australia	Alimento congelado	05/04/13	http://www.seahorse-australia.com.au/
<i>H. zosterae</i>	377	2.75	-	-	-	-	30/03/13	http://www.reefs2go.com/
<i>H. zosterae</i>	71	-	-	Salvaje	USA	-	30/03/13	http://www.mysaltwaterfishstore.com/
<i>H. zosterae</i>	139	2.75	-	Salvaje	USA	-	05/04/13	http://www.seahorseworld.com/

<i>H. zosterae</i>	510	0.5-1.5	Varios	Salvaje	Mar Caribe	<i>Artemia</i> /copépodos	09/06/13	http://www.liveaquaria.com/
<i>H. zosterae</i>	226	1	-	Cautiverio	USA	Misis congelados	10/06/13	http://www.seahorsesource.com/
<i>H. zosterae</i>	180	-	-	Cautiverio	Florida	Nauplios de <i>Artemia</i>	10/06/13	http://www.seahorsecorral.com/
<i>H. zosterae</i>	258	-	-	Cautiverio	Florida	Nauplios de <i>Artemia</i>	10/06/13	http://www.seahorsecorral.com/
<i>H. zosterae</i>	258	-	-	Cautiverio	USA	Alimento congelado	10/06/13	http://www.seahorsesandsandcastles.com/
<i>H. zosterae</i>	984	-	-	Salvaje	Atlántico	-	12/06/13	http://www.tiendadecaballitos.es/

Analysis of the survival of newborn seahorses: preliminary results



Arturo Vargas ¹, Nuno Simões ², Mascaró Maite ²

¹ Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Unidad Académica Sisal, UAS. Puerto de Abrego s/n, 97356, Sisal, Yucatán, México. artur_pez@hotmail.com
² Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI Sisal), UNAM Facultad de Ciencias, Puerto de Abrego s/n, 97356, Sisal, Yucatán, México. ns@ciencias.unam.mx; mimm@ciencias.unam.mx

Introduction

Seahorse aquaculture have been proposed in order to reduce pressure on wild populations due to demand as curio and aquarium animals. However, it faces with low survival of the juveniles, which is poorly understood. The aim of this study is analyze the survival of 12 seahorse spp. on the first 120 days post hatch based on the available literature.

Materials and methods

Data about seahorse survivorship were directly extracted from 31 reports, mainly peer reviewed articles, which have available information from either graphs or numerical data during the first 120 days of life. To extract data point values from graphs the Grab it software were used. The survivorship were related with the time and seahorse species with a logistic regression.

Results

According to the model, the initial survival probability in *Hippocampus reidi* and *H. abdominalis* had the lowest values while *H. barbouri*, *H. hippocampus* and *H. subelongatus* had the highest. Significant interactions among species were detected.

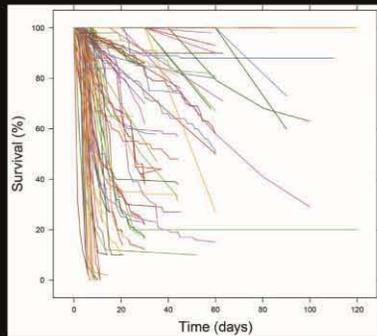


Fig 1 Survival of 12 seahorse species reared under laboratory conditions reported in 31 studies.

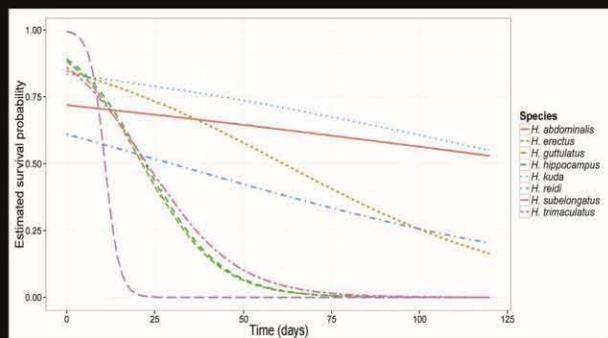


Fig 2 Estimated survival probability of 8 seahorse species based on the above information.

Discussion

Low survivorship in most of the species were predicted even though the large variability associated. It is interesting that newborn seahorse size could difficultly influence seahorse survivorship, as *H. abdominalis* which is a large species had the second lowest survival probability.



Università Politecnica delle Marche

Dipartimento Scienze della Vita e dell'Ambiente



Ancona, November 2015

To whom it May Concern

I have had the pleasure to host Mr Arturo Vargas in my lab for 3 months (September 2015-November 2015). He has spent the time carrying out research on the effects of yeast extracts on zebrafish welfare and on marine ornamental fish and invertebrates culturing.

Much of time was spent in learning our culturing/laboratory techniques and in teaching my students his methods for marine ornamentals maintenance. As a result, Mr Vargas developed techniques to deliver yeast extracts to zebrafish larvae both via water and via zooplankton. In addition, he gained expertise in RNA extraction from fish tissues, cDNA synthesis, Real Time PCR and histology analysis as well as ex situ organ cultures. During his stay he also took care of the fish facility feeding the fish, collecting the embryos and feeding the larvae.

His time here has been very productive and I would gladly invite him back to work in my lab. Mr Vargas added research and intellectual stimulus to our group sharing his nice Mexican culture and we will miss him so much when he leaves.

We wish him the very best in his future endeavors and hope to have other chances for collaborating.

Sincerely,
Dr Olivotto Ike

Di.S.V.A.
Via Breccie Bianche
60131 ANCONA
Tel. 0712204747-4331
www.univpm.it