



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

Influencia de los cambios ontogénicos en la distancia de ataque y
capacidad de succión de *Hippocampus erectus* en cautiverio

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

LORENA ANDREA GARNICA GÓMEZ



DIRECTOR DE TESIS:

DR. FERNANDO NUNO DIAS MARQUES SIMOES

CIUDAD DE MÉXICO, 2018



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.

1. Datos del alumno
Apellido paterno : Garnica
Apellido materno: Gómez
Nombre(s) : Lorena Andrea
Teléfono 5519065309
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera Biología
Número de cuenta 309237345

2. Datos del tutor:
Grado: Doctor
Nombre(s) : Fernando Nuno
Apellido paterno: Marques Simoes
Apellido materno: Dias

3. Datos del sinodal 1
Grado: Doctora
Nombre(s): Rebeca María
Apellido paterno : López
Apellido materno: Rivas

4. Datos del sinodal 2
Grado: Maestra en ciencias
Nombre(s): Gemma Leticia
Apellido paterno : Martínez
Apellido materno: Moreno

5. Datos del sinodal 3
Grado: Maestro en ciencias
Nombre(s): Ignacio Andrés
Apellido paterno : Morales
Apellido materno: Salas

6. Datos del sinodal 4
Grado: Maestro en ciencias
Nombre(s): David
Apellido paterno : Salinas
Apellido materno: Torres

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar de mi formación, por su gran apoyo, confianza y sacrificio para poder lograr mis sueños.

A H. erectus por enseñarme que aunque las cosas se vean lejos se pueden alcanzar.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por ser mi segunda casa, formarme como profesionista y darme la oportunidad de desarrollar otras habilidades además de las académicas

Al Dr. Nuno, por aceptarme en su grupo de trabajo sin conocerme, brindarme la confianza, conocimiento y el apoyo para realizar este trabajo.

A la Dra. Maite Mascaró por su paciencia y pasión a enseñar, me hizo querer saber más de estadística.

Al Programa de Investigaciones en Ecología y Cultivo de Especies Marinas de Ornato, a mis compañeros del laboratorio, pero sobre todo a la M. en C. Gemma Martínez por su hospitalidad, compañía, la paciencia de enseñarme, darme la oportunidad de hacer mis experimentos y la confianza de cuidar a todos los hijos del iglú.

A mis sinodales, la Dra. Rebeca López, al M. en C. David Salinas y al M. en C. Ignacio Morales por sus revisiones, consejos, correcciones al trabajo y por su compromiso con las clases pues han sido una constante inspiración.

Agradezco a mi madre Ivonne Gómez Mondragón por darme siempre su total atención, por su preocupación y apoyarme incondicionalmente en todas mis locuras, sueños y metas.

A mi padre Enrique Garnica por siempre tratar de comprenderme y apoyarme, por visitarme y alimentar caballitos a mi lado.

A mi hermano Enrique Garnica por cuidarme y a Mara Yaeli por estar en las buenas en las malas y seguir siendo mi fiel amiga a pesar de la distancia

Mis tíos Jorge, Rosa y mis abuelos Bety y Fili por siempre estar al pendiente, por su gran interés y apoyo.

A la familia de amigos que me han acompañado, han hecho tareas, trabajos, exámenes y que toda mi formación académica sea más divertida, Eduardo Sosa y Francisco A. Barajas por cuatro años de prácticas, tareas y amistad. Adanely mi roomie en Sisal que sin ella no hubiera aguantado piquetes sudor y lágrimas. A Adri, Javier y Tane siempre han estado conmigo gracias. Sandy por ser mi gran confidente, entenderme y alentarme. David por este año inspirarme, alentarme, escucharme y leerme.

Gracias a todos por su tiempo y espero disfruten de este trabajo tanto como yo lo hice.

AGRADECIMIENTOS	4
LISTADO DE FIGURAS	6
LISTADO DE TABLAS	6
1. RESUMEN	9
2. INTRODUCCIÓN	10
3. ANTECEDENTES	
3.1 Taxonomía	12
3.2 Importancia del caballito de mar	12
3.3 Hábitat y distribución	14
3.4 Reproducción	15
3.5 Morfología y crecimiento	15
3.5.1 Sistema visual.....	18
3.5.2 Sistema digestivo.....	19
3.6 Conducta alimenticia.....	22
3.6.1 Detección y orientación visual.....	22
3.6.2 Acercamiento.....	22
3.6.3 Posicionamiento.....	22
3.6.4 Ataque	22
3.6.5 Ingestión	23
4. HIPÓTESIS.....	25
5. OBJETIVOS	25
5.1 Objetivos generales	25
5.1 Objetivos particulares.....	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS	
6.1 Mantenimiento en cautiverio de <i>H. erectus</i>	26
6.2 Organismos experimentales.....	27
6.3 Rutinas generales.....	28
6.4 Grabación de la conducta alimenticia	29
6.4.1 Material de grabación	29
6.4.2 Sesiones de grabación.....	30
6.4.3 Análisis de video	31
6.5 Medidas morfométricas	33
6.6 Análisis estadístico.....	36
6.6.1 Éxito de ataque e ingestión	36
6.6.2 Análisis de variables morfométricas y variables de succión	36
6.6.3 Distancia de ataque	36
6.6.4 Ángulo de ataque	36
6.6.5 Velocidad de acercamiento	37
6.6.6 Alometría.....	37
7 RESULTADOS	37
7.1 Éxito de ataque e ingestión.....	37
7.2 Análisis de variables morfométricas, alometría y variables relacionadas con la succión.....	38
7.3 Distancia de ataque.....	40
7.4 Ángulo de ataque.....	42
7.5 Velocidad de acercamiento.....	43
8. DISCUSIÓN	44
9. CONCLUSIONES	49
10. LITERATURA CITADA.....	49
ANEXO	59

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Talla y tasa de crecimiento según la Le de tres especies de caballito de mar.	18
Tabla 2. Organismos experimentales. Características generales de los 17 individuos de <i>H. erectus</i> utilizados en el trabajo. L_e =Longitud estándar, L_{ca} =Longitud de la cabeza, D.S= desviación estándar.....	28
Tabla 3. Crecimiento alométrico de <i>H. erectus</i> . A_o = Área del opérculo, H_i =Distancia hiopercular. L_{ca} =Longitud de la cabeza, L_e =Longitud estándar. N=20.....	39
Tabla 4. Trabajos de <i>H. erectus</i> . Bibliografía revisada de la especie <i>H. erectus</i> la etapa con la que se trabajó y el tema que trata, son 5 los trabajos que hablan sobre morfología y su relación con la alimentación.....	60
Tabla 5. Visión en peces. Bibliografía acerca del desarrollo ontogénico y capacidades de la visión en la clase Actinopterygii.....	62
Tabla 6. Alimentación y distancias de ataque. Bibliografía relacionada con alimentación de la familia Sygnathidae. Dieta=tipo y cantidad de alimento que consumen, Comportamiento= se refiere a información sobre conducta alimenticia y Morfología= describen forma y función de estructuras de succión y su mecánica. Se incluyen dos trabajos que presentan resultados de distancia de ataque a las presas de especies de otras familias.....	63

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Bibliografía de <i>H. erectus</i> . Proporción en bibliografía de los temas alimentación y conducta.....	13
Figura 2. Distribución de <i>H. erectus</i> (Modificado de Lourie, <i>et al.</i> , 2004).....	14
Figura 3. Dimorfismo sexual en <i>H. erectus</i> (Tomado de Lourie <i>et al.</i> , 2004).	15
Figura 4. Diferentes patrones de coloración de <i>H. erectus</i> . La misma especie puede presentar diferentes patrones, los cuales se pueden dar como adaptaciones según el entorno o como mensajes en contextos reproductivos (Fotografías tomadas en el laboratorio de PIECEMO por Lorena Garnica y Gemma Martinez).	16
Figura 5. Diferencias morfológicas entre cría y adulto de <i>H. erectus</i> . Se puede observar los cambios proporcionales que experimentan las diferentes estructuras de los caballitos de mar (Tomado de Vargas, 2014).	18
Figura 6. Anatomía de <i>H. reidi</i> relacionada a los aparatos visual y alimenticio. (i) Vista lateral Beige=hueso, rojo=músculo, naranja=tendón, (Tomado de Van Wassenbergh, <i>et al.</i> , 2009a).....	21
Figura 7. Funcionamiento del mecanismo de catapulta en <i>H. reidi</i> . El color azul claro representa la mandíbula inferior que cubre el ligamento mandibulhoide y en naranja son los músculos que proporcionan energía a los ligamentos. Los círculos representan las uniones entre los huesos. A. Durante la fase de preparación, los músculos epaxiales y probablemente el esternohyoideo-hipaxial se contraen, los tendones están estirados	

sin causar ningún movimiento del esqueleto y almacenando energía elástica, el hioide evita que rote. B. Simultáneamente al desbloqueo del hioide ocurre la rotación explosiva del neurocraneo hacía arriba, la apertura del hocico y la fase de succión. (Tomado de Van Wassenbergh et al., 2014).....	21
Figura 8. Observación de la presa. A y B son organismos de <i>H. erectus</i> en etapa juvenil, mientras que C y D son adultos. En todas las etapas mantienen la vista fija a la presa, ya sea nauplio o adulto de <i>Artemia</i> durante todo el evento de alimentación. (Tomadas por Lorena Garnica).....	24
Figura 9. Estrategia de pivote en <i>H.reidi</i> . A) Cabeza e hioide antes del pivoteo. B) El hioide, señalado con una flecha se desbloquea generando el pivoteo, simultáneamente el hocico se abre, circulado. C) El movimiento dorsal de la cabeza es generado por el mecanismo de catapulta (Modificado de Roos, et al., 2009).....	24
Figura 10. Sistemas de mantenimiento para el cultivo de reproductores de <i>H. erectus</i> . En las instalaciones de PIECEMO en Sisal, Yucatán se encuentran 6 sistemas de mantenimiento cada uno cuenta con 6 peceras de 100 litros. En la imagen se pueden observar dos sistemas de mantenimiento, la línea roja diferencia cada sistema.....	26
Figura 11. Sistema de cría de recién nacidos de <i>H. erectus</i> . Este sistema tiene capacidad para 12 peceras de 11 litros, tiene la ventaja de poder trabajar con circulación o sin ella.	27
Figura 12. Material de grabación e iluminación. A. Cámara Canon Vixia montada en tripié. B. Pecera con micro-peceras para juveniles. C. Plásticos separadores. D. Iluminación durante las sesiones de grabación.	30
Figura 13. Medición de presa y distancia de ataque. A) Longitud total de la presa, <i>Artemia</i> adulta B) Distancia de ataque= distancia más corta entre la punta del hocico del caballito de mar y la estructura de la presa más cercana a ese punto, tomada el <i>frame</i> inmediatamente anterior a la rotación dorsal y la succión (ataque).....	32
Figura 14. Medición del ángulo y velocidad de acercamiento. A) Ángulo a la presa, en su última posición en el <i>frame</i> inmediatamente anterior a la succión, formado por la corona, la punta del hocico y la presa. B) Velocidad de acercamiento, imagen combinada para medir la distancia de acercamiento y calcular la velocidad de acercamiento (mm/s), el caballito a la derecha es del <i>frame</i> 1 y a la izquierda del <i>frame</i> de ataque, la presa se encuentra señalada con un círculo rojo.	33
Figura 15. Organismos de <i>H. erectus</i> de diferentes tallas utilizados para las medidas morfométricas. Para calcular el área del opérculo se diseccionó la estructura de los ejemplares, los cuales no fueron sacrificados, se utilizaron organismos previamente fallecidos por distintas causas y guardados acorde a la normativa para especies amenazadas.	34
Figura 16. Morfología de <i>H erectus</i> . A) Medidas morfométricas. B) La longitud estándar es la suma de la longitud del cuerpo y la longitud de la cabeza. C) Estructuras involucradas en la succión de las presas (Modificado de Lourie et al., 1999).	35

Figura 17. Morfometría de estructuras de succión. A) Esqueleto de caballito y distancia hiopercular (distancia entre el hioide distendido y la espina inferior de la mejilla). B) Opérculo, área delimitada en rojo.....	35
Figura 18. Porcentaje de éxito de ataque e ingestión por grupos de edad. Los grupos de edad representados en el eje horizontal, la leyenda de cada gráfica contiene el número de ataques o ataques exitosos totales que se realizaron en cada grupo de edad y cada columna tiene el número de ataques exitosos o ingestiones. Las definiciones de ataque, ataque exitoso y éxito de ingestión están definidas en la sección 6.3.4 Análisis de videos. A) Gráfico de éxito de ataques. B) Gráfico de éxito de ingestiones.	38
Figura 19. PCA de variables morfométricas y variables de succión. El PC1 separa por edades a los 17 organismos experimentales, los diferentes colores son los grupos de edad arbitrarios en los que se clasificaron. Todas las variables están correlacionadas con este primer componente. Los triángulos verdes y azules junto con los cuadrados son el grupo que se nombró como J (Juveniles) y el grupo A representado por los círculos grises y rombos rojos. PC= Componente principal, Lh= Longitud hocico, Le= Longitud estándar, Lca= Longitud cabeza, P= longitud de presas.	40
Figura 20. Distancia de ataque de <i>H. erectus</i> con respecto a la longitud estándar. A. Cada punto representa un ataque efectuado por alguno de los 18 organismos experimentales. El color los identifica según la categoría de grupo de edad, a los que se les dio diferentes presas; a los juveniles (J) metanauplios y a los adultos (A) artemia adulta. B. La gráfica muestra el ajuste de un modelo aditivo generalizado (GAM), la línea proyecta el modelo con el mejor indicador según el Criterio de Información de Akaike es decir es un modelo con el que se puede estimar la distancia de ataque si se conoce la longitud estándar del organismo	41
Figura 21. Ángulo de ataque de <i>H. erectus</i> con respecto a la longitud estándar. La imagen de la esquina muestra el ángulo que se midió, dando una idea de cómo es posición de la cabeza antes y después de su rotación dorsal para atacar a la presa.	42
Figura 22. Velocidad de acercamiento respecto a los grupos de edad de <i>H. erectus</i> . Los primeros tres grupos de edad representados en la gráfica son el grupo que se definió como juveniles y los dos grupos de edad restantes son los adultos	43
Figura 23. Distancia y tiempo de acercamiento de <i>H. erectus</i> a la presa. A) Distancia de acercamiento (mm) con respecto a los organismos experimentales, cada hilera de puntos representa un organismo (A, B, C... ver Tabla 2), únicamente están marcados los organismos E, J y O, y cada punto es una medida registrada. B) Tiempo de acercamiento (s) con respecto a los organismos experimentales.....	44

Hippocampus erectus es una especie de caballito de mar categorizada como vulnerable por CITES, su cultivo es una alternativa para satisfacer la demanda del mercado de la acuariofilia por animales del medio natural. El cultivo tiene una limitante, la alimentación. Principalmente durante las etapas tempranas de crecimiento ya que son críticas dada su alta mortalidad, pues en estas etapas la mecánica de captura de presas y el sistema visual no están completamente desarrollados, por ende la eficiencia de captura es menor.

Las modificaciones ontogénicas en el crecimiento y desarrollo de los huesos, músculos y tendones de caballitos de mar podrían afectar variables fundamentales del proceso de captura de presas.

El presente trabajo pone a prueba las hipótesis; a) la distancia de ataque y la velocidad de acercamiento aumentarían proporcionalmente con el crecimiento del área del opérculo y la distancia hiopercular; y b) el ángulo de ataque mantendría un rango estable durante el desarrollo. Para probar estas hipótesis se grabaron 18 organismos de 5 a 760 días de nacidos los cuales se alimentaron con metanauplios y adultos de *Artemia* según su etapa de desarrollo. Además se tomaron medidas morfológicas de 20 organismos de diferentes tamaños para poder describir las alometrías.

Los resultados mostraron un incremento en la distancia de ataque y de la velocidad de acercamiento conforme aumenta el tamaño del caballito de mar y se dan los cambios alométricos de diferentes estructuras. La mecánica y estrategia de ataque no cambia, se demostró indirectamente con la medida del ángulo de ataque.

Cabe mencionar que el número de ataques exitosos logrados aumentaron de manera proporcional al tamaño de los caballitos de mar, siendo siempre mayor de 79%. Después de lograr un ataque exitoso, la proporción de ataques que resultaron en ingestión de la presa fue más variable, indicando otros procesos involucrados además de los exclusivamente relacionados con el tamaño del animal.

Además el crecimiento alométrico de las estructuras relacionadas con el mecanismo de succión de presas, apoyan la hipótesis de una mayor capacidad de succión como consecuencia del incremento en el área opercular.

2 INTRODUCCIÓN

Los caballitos de mar son peces que han sido reconocidos desde hace muchos años por su singular morfología parecida a los caballos, su hocico alargado y a su excepcional reproducción en la que los machos llevan a cabo la gestación de los embriones (Vincent, 1996).

Las poblaciones del género *Hippocampus* tienen baja densidad, fecundidad moderada a baja y dispersión reducida pues sólo habitan ambientes costeros (sistemas arrecifales, praderas de pasto marino o algas) o lugares a los que pueden sujetarse. Éstas características ecológicas no ayudan a su conservación, sumándole la pérdida de su hábitat, la pesca incidental y la pesca directa para comercializarlos para la medicina tradicional china, recuerdos en lugares turísticos y para acuarismo, han impactado las ya reducidas poblaciones (Baum y Vincent, 2004; Martínez 2011). Es por eso que en la conferencia en Santiago, Chile del 2002 la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES) declaró a todas las especies del género *Hippocampus* en amenaza y las incluyó al Apéndice II, logrando que 176 países participantes implementaran políticas públicas para regular la exportación de caballitos de mar (CITES, 2002).

Al ser una especie carismática el interés por el estudio y desarrollo de su cultivo creció a finales del siglo pasado (Vincent, *et al.*, 2013). El cultivo de caballitos de mar es una medida que ayuda a aminorar los efectos de las amenazas, siendo una opción para la conservación en campo con programas de restauración de poblaciones y en el mercado de la acuariofilia de ornato, modificando tendencias de demanda, seleccionando animales resistentes a las condiciones de cautiverio y con mayor valor comercial.

Algunas especies como *H. ingens* (Reyes y Ortega, 1999), *H. reidi* (Giraldo y Polanía, 2005), *H. abdominalis* (Martínez, 2011) e *H. erectus* (Lin, *et al.*, 2008) se han logrado mantener y reproducir en cautiverio sin embargo existen limitantes como, la baja sobrevivencia en las primeras etapas de vida, la baja fecundidad en cautiverio, la tasa de crecimiento menor a las reportadas en el medio natural, mayor vulnerabilidad a enfermedades y requerimientos específicos de alimento vivo o fresco congelado, pues estos organismos no aceptan alimentos inertes (pellets u hojuelas) (Ospina, *et al.*, 2011).

En la acuicultura la alimentación óptima es un aspecto básico que debe considerarse a partir de etapas tempranas pues su eficiencia suele reducir la mortalidad e incrementar su crecimiento (Cunha y Planas, 1999). La mayoría de crías de peces tienen distintas formas de alimentarse durante su ontogenia debido a la metamorfosis que tienen, pero los caballitos eclosionan del marsupio del macho desarrollados, listos para alimentarse (Roos, *et al.*, 2009).

La crías de caballitos de mar tienen una morfología funcional (Leysen, *et al.*, 2011), la cinemática de captura (Roos, *et al.*, 2011) y una estrategia casi tan eficiente como un adulto (Wassenbergh, *et al.*, 2009). Los cambios que ocurren tras ser expulsados del marsupio son fundamentalmente cambios alométricos (Choo y Liew 2006). El desarrollo de estructuras como el hocico, el aumento del tamaño corporal, la velocidad de nado, la maduración del sistema nervioso y la agudeza visual en conjunto con aprendizaje los vuelve más exitosos en la captura de sus presas, influyendo directamente en la composición de la dieta (Scharf, *et al.*, 2000).

El caballito de mar suele ser un depredador de emboscada, es decir que aprovecha las ventajas de un alto grado de camuflaje y buena visión para pasar desapercibido y atacar de la siguiente forma; primero detecta a su presa y fija sus ojos en ella, se aproxima ventralmente y se acomoda hasta acercar su hocico debajo de la presa, realiza el ataque que consiste en un movimiento explosivo de la cabeza denominado “pivoteo”, por último ingiere a la presa por succión (Gemmell, *et al.*, 2013). El éxito de captura de la presa de caballito de mar va a depender de la relación tamaño de presa, diámetro del hocico, la capacidad de succión y la distancia mínima que el caballito requiere para lanzar un ataque exitoso (Qin, *et al.*, 2014; Van Wassenbergh, *et al.*, 2008). Estas variables tendrán necesariamente una relación con variables morfométricas y por lo tanto deben cambiar a lo largo del crecimiento y desarrollo de juveniles a adultos.

La descripción y entendimiento de la relación entre variables morfométricas y la eficiencia de ataque ayudará a conocer el modelo biológico y dará paso a diseñar protocolos de cultivo efectivos. El propósito de este trabajo fue describir los cambios morfométricos que ocurren en *H. erectus* y cómo influyen en la capacidad de succión, distancia de ataque, velocidad del acercamiento y ángulo de ataque.

Características generales de los caballitos de mar

3.1 Taxonomía

Los caballitos de mar son peces de la clase Osteichthyes y forman parte de la familia Syngnathidae junto con los dragones de mar y los peces pipa (Ahnesjö y Craig, 2011), se caracterizan por tener hocico en forma tubular, no presentan aletas pélvicas y a veces la caudal, sus demás aletas son reducidas (Lourie, *et al.*, 1999).

El género *Hippocampus* se conforma por 33 especies descritas hasta el momento, los caballitos de mar tienen su cuerpo cubierto por placas óseas y se mantiene erguido al nadar pues tienen su cabeza en un ángulo de noventa grados con respecto a su tronco (Wassenbergh, *et al.*, 2011) y una cola prensil en lugar de aleta caudal (Lourie, *et al.*, 2004).

3.2 Importancia del caballito de mar

Los caballitos de mar juegan un papel sustancial en la estructura de algunas comunidades bentónicas, al ser carnívoros voraces de crustáceos, larvas de peces y plancton. Al nacer son presas muy fáciles y de adultos sus depredadores son algunos peces como los lenguados, meros y pez globo o hasta de cangrejos (Rosa *et al.*, 2005).

Por otro lado los caballitos de mar han sido admirados desde hace siglos por su singular anatomía, por ejemplo fueron mencionados en la mitología griega y romana como símbolo de fuerza y poder, también tuvieron un significado místico para los europeos, asiáticos y los celtas.

En países asiáticos tienen un alto valor pues son medicina tradicional, se consideran un remedio para mejorar la función renal y la disfunción eréctil (CAPLOG, 2014)

También son de gran importancia en el mercado de peces ornamentales y se venden como recuerdos de viaje en zonas costeras, lo cual ha implicado la extracción irracional de su ambiente natural. Estos organismos se enfrentan además con la destrucción de su hábitat y son parte de la captura accidental por las redes de arrastre (Vincent, *et al.*, 2011).

A partir del año 2004 la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES) tomó medidas incluyendo a todas las especies del género *Hippocampus* en el Apéndice II, logrando que los 176 países participantes implementaran políticas públicas para limitar la exportación y evitar daños a las poblaciones.

En la revisión bibliográfica para este estudio de 392 trabajos científicos publicados sobre Symgnatidos, el 34% investiga sobre aspectos relacionados con el cultivo de especies de la familia, enfocándose principalmente en las dietas, su sobrevivencia y crecimiento. El 22% hablan sobre su reproducción en vida silvestre, el resto (44%) hablan sobre su taxonomía, conservación o fisiología. *H. erectus* es la tercera especie más estudiada del género, de los 35 trabajos que le corresponden, sólo ocho abordaron el tema relacionado a los hábitos alimenticios y en sólo dos de ellos se encontró información relacionada a la conducta alimenticia de estos peces (

Figura 1).

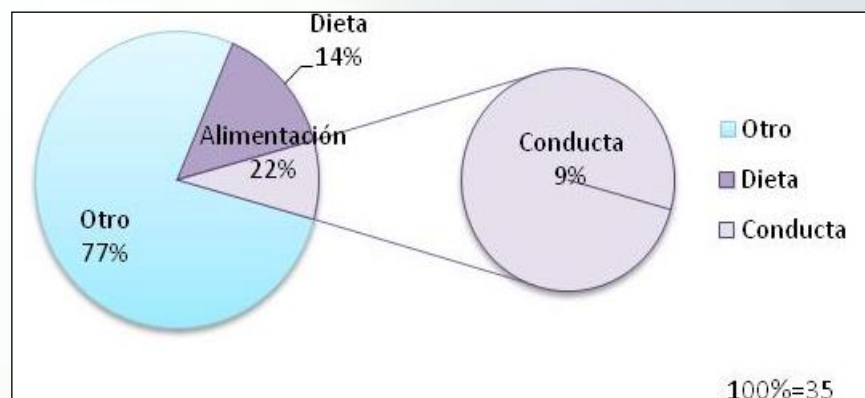


Figura 1. Bibliografía de *H. erectus*. Proporción en bibliografía de los temas alimentación y conducta.

3.3 Hábitat y distribución

El género *Hippocampus* se distribuye en bajas densidades (aproximadamente 0.51 organismos/m²) y en forma de parche, es decir que la mayoría de las poblaciones presentan agregaciones pequeñas separadas entre sí, en grupos de 2-4 individuos (Lourie, *et al.*, 2004).

Los caballitos de mar habitan aguas marinas poco profundas con pastos marinos, manglares, macroalgas, estuarios o arrecifes de coral a los que puedan sujetarse (Woodall, *et al.*, 2009) en regiones tropicales y templadas (hasta los 50° de latitud N y S) (Lourie, *et al.*, 2004).

H. erectus se ha encontrado en *Sargassum* flotante, pastos marinos y esponjas, hasta un máximo de 73 metros de profundidad en países americanos con costa hacia el Atlántico (Figura 2) (Lourie, *et al.*, 2004).



Figura 2. Distribución de *H. erectus* (Modificado de Lourie, *et al.*, 2004)

3.4 Reproducción

Los caballitos de mar presentan dimorfismo sexual, el macho es más largo y tiene un marsupio o bolsa incubadora en el abdomen. Mientras que la hembra tiene un ovopositor o estructura con la que transfiere los huevos (Figura 3)(Rosa *et al.*, 2005).

La reproducción comienza con el cortejo, cuando el área ventral y lateral de los organismos cambia de color, realizan una danza a través de la columna de agua y la hembra deposita los huevos dentro del marsupio del macho, ahí son fecundados y se desarrollan los embriones durante un mes o más, después el macho expulsa a las crías gracias a contracciones musculares (Ospina *et al.*, 2011; Roos *et al.*, 2011).

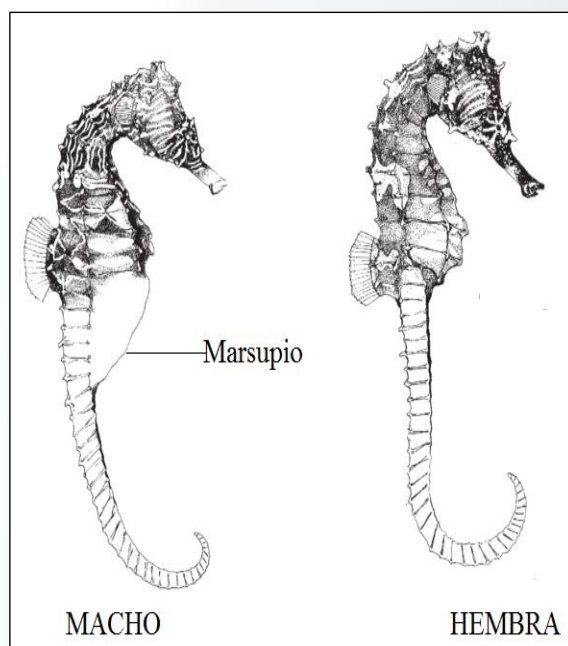


Figura 3. Dimorfismo sexual en *H. erectus* (Tomado de Lourie *et al.*, 2004).

3.5 Morfología y crecimiento

La morfología en los caballitos de mar es muy diferente a otros peces, su cuerpo está cubierto por placas óseas, se mantiene erguido al nadar, tienen su cabeza en un ángulo de noventa grados con respecto a su tronco (Wassenbergh, *et al.*, 2011) y una cola prensil en lugar de aleta caudal (Lourie, *et al.*, 2004).

La especie estudiada en este trabajo *Hippocampus erectus* Perry, 1810 (Figura 4), posee una corona grande con espinas o bordes filosos, puede desarrollar finas extensiones

de piel en la cabeza y el dorso (Lourie, *et al.*, 2004). Su coloración va desde el gris cenizo, anaranjado, café, amarillo, rojo o negro, con patrones de líneas blancas alrededor del cuello y la parte dorsal del cuerpo, estos patrones se pueden dar como adaptaciones a la coloración del entorno o como mensajes en contextos reproductivos (Dias, *et al.*, 2002).



Figura 4. Diferentes patrones de coloración de *H. erectus*. La misma especie puede presentar diferentes patrones, los cuales se pueden dar como adaptaciones según el entorno o como mensajes en contextos reproductivos (Fotografías tomadas en el laboratorio de PIECEMO por Lorena Garnica y Gemma Martínez).

El tamaño promedio de *H. erectus* al nacer varía de 7 a 9 mm., llegan a crecer entre 160 a 200 mm. Cabe mencionar que el desarrollo que tienen dentro del marsupio de los padres les proporciona a los caballitos de mar recién nacidos un progreso del sistema músculo-esquelético, pues son capaces de capturar a sus presas. Sin embargo requieren de un periodo de diferenciación, crecimiento y maduración para mejorar su desempeño en la captura de presas (Choo y Liew, 2006).

Choo y Liew (2006) y Hora y Joyeux (2009) observaron en *H. kuda* e *H. reidi* respectivamente, que durante los primeros días de nacidos la tasa de crecimiento es alta y después de 90 días comienza a disminuir. En *H. erectus* no se tiene un registro de la tasa de crecimiento (Tabla 1) pero Lin, *et al.*, (2009) observaron en los primeros 50 días una tasa de alimentación alta, definiéndola como el número de presas consumidas en una hora después de un ayuno de 12 horas, 50 días después la tasa de alimentación disminuye, lo

cual se refleja en su crecimiento, el patrón es parecido a la tasa de crecimiento descrita para *H. kuda* e *H. reidi* .

Los cambios morfológicos durante el crecimiento de las crías tras ser expulsados del marsupio son diferentes alometrías, (Kanou, 2001; Roos, *et al.*, 2010) es decir las diferencias proporcionales de una medida morfométrica en relación con otra medida de referencia (Gould, 1966; Shingleton, 2010).

Se ha registrado que al nacer los caballitos de mar tienen la cabeza relativamente grande en proporción con todo el cuerpo y su crecimiento es alométrico negativo. La cabeza, donde se encuentran todas las estructuras anatómicas de las cuales depende en gran medida el éxito o fracaso de un ataque a una presa crece proporcionalmente más lento que el resto del cuerpo. Y la cola es proporcionalmente pequeña al nacer y su crecimiento es alométrico positivo, crece más rápido que el resto del cuerpo (Leysen, *et al.*, 2011; Van Wassenbergh, *et al.*, 2009a).

Para *H. erectus* Vargas (2014) registró que el largo del hocico tiene un crecimiento isométrico con respecto a la longitud de la cabeza y crecimiento alométrico negativo con respecto a la longitud estándar, es decir que el hocico se vuelve pequeño proporcionalmente con respecto a la longitud del cuerpo durante su desarrollo, pero con respecto a la cabeza va creciendo en la misma proporción, podría decirse que si aumenta un centímetro la longitud de la cabeza el largo del hocico también aumenta un centímetro (Choo y Liew, 2006). (Figura 5).



Figura 5. Diferencias morfológicas entre cría y adulto de *H. erectus*. Se puede observar los cambios proporcionales que experimentan las diferentes estructuras de los caballitos de mar (Tomado de Vargas, 2014).

Tabla 1. Talla y tasa de crecimiento según la Le de tres especies de caballito de mar.

L_e = Longitud estándar

	<i>H. reidi</i>	<i>H. kuda</i>	<i>H. erectus</i>
L_e al nacer (mm)	8.2 ± 0.5	9.33 ± 0.7	7-9
$L_e > 70$ días (mm)	83.8 ± 3.5	119.35 ± 6.0	73.1 ± 3.1
Tasa de crecimiento (mm/día)			
0-21 días	0.68	0.74	
22-50 días	1.16	0.74	
>50 días	0.71	0.46	
Autor	(Hora y Joyeux, 2009)	(Choo y Liew, 2006)	(Lin, et al., 2009)

3.5.1 Sistema visual

El sistema visual de los peces ha sido estudiado con el fin de conocer cómo ven en el medio líquido, varios autores como Blaxter (1968), Hairston, *et al.*, (1982) y Hemmings (1966) describieron la anatomía de este sistema en peces muy distintos a los *Hippocampus* (Tabla 5 en Anexos).

La visión es uno de los sentidos principales para el buen desempeño de la alimentación, la mayoría de los peces tienen una etapa larval pelágica en la cual comienzan con habilidades limitadas como la visión (Cobcroft, *et al.*, 2001). El campo visual en las crías de caballitos de mar es muy reducido en sus primeros días, se ha asociado a la visión de los humanos debajo del agua. Durante su desarrollo ontogénico mejoran progresivamente la sensibilidad, el campo visual y como consecuencia aumenta su sobrevivencia y dispersión. Debido a esto en cultivo es importante proporcionar la densidad de presas adecuada para aumentar la probabilidad de contacto con presas y así minimizar el costo energético involucrado en la captura del alimento (Batty y Hoyt, 1995; Leis, 2010).

Desde que son liberados del marsupio, los ojos de los caballitos de mar tienen movimientos independientes y rápidos (Douglas y Mustafa, 1990). La visión después de la etapa de crecimiento puede ser binocular en áreas frontales, es decir que los ojos se mueven de forma coordinada o monocular, se cruzan en un punto de unión, así localizan y rastrean a sus presas (Mosk, 2004). También presentan estructuras para direccionar la luz a la fovea, que es la parte más importante para la resolución, su agudeza visual es efectiva y tienen una longitud focal muy larga a comparación de cualquier otro pez (Mosk *et al.*, 2007).

3.5.2 *Sistema digestivo*

Los Syngnathidos no tienen dientes o estructuras para masticar por lo que las presas llegan completas al estómago. Su intestino es muy angosto y el tracto digestivo corto, lo que significa que no absorben los suficientes nutrientes y tienen que alimentarse constantemente de suficientes presas. (Woods, 2002).

A diferencia de otros peces algunos huesos y músculos del hocico son alargados y constituyen un mecanismo llamado “catapulta” por su parecido en el funcionamiento (Figura 6). El mecanismo de catapulta les permite tener la energía necesaria para hacer movimientos rápidos e inesperados.

Van Wassenbergh, *et al.*, 2009a estudiaron en *H. reidi* que este mecanismo funciona de la siguiente manera, los músculos epaxial y posiblemente el esternohioideo-hipaxial generan energía al contraerse que es almacenada en los tendones unidos a la cabeza

(Figura 7A). Los tendones funcionan como una liga, al estar estirados no causan ningún movimiento esquelético, pero cuando el sistema de bloqueo/desbloqueo, formado por el hioide, libera la energía después de que el material deja de tener tensión, se produce la rotación explosiva del neurocraneo. En este momento la rotación del hioide y otros huesos generan tensión en el ligamento mandibulohioide el cual provoca la apertura del hocico (Figura 7B) (Van Wassenbergh, *et al.*, 2014).

La energía liberada tras la apertura del hocico y el ensanchamiento de éste genera un flujo de agua del exterior al interior de la boca y esófago que logra succionar a sus presas (Botero, 2004). La velocidad de succión se incrementa cuando la expansión del hocico es más amplia, Roos *et al.* (2009) observaron que el volumen del hocico es reducido por su forma a comparación de otros peces, pero la velocidad y aceleración con la que fluye el agua es alta, por esa razón aunque la presa esté relativamente lejos del hocico la corriente de agua lleva a la presa dentro de ella.

Cabe mencionar que el sistema alimenticio de las crías posee un estado de desarrollo avanzado o sea es funcional tal que comienzan a comer dos horas después de nacer, aún así sufren cambios morfológicos significativos durante la ontogenia que perfeccionan la capacidad y eficiencia del sistema (Wassenbergh *et al.*, 2009). Estos cambios repercuten en la cinemática de la alimentación, Roos, *et al.* (2009 y 2010) comprobaron que los recién nacidos de *H. reidi* son casi cuatro veces más rápidos que los adultos para rotar su cabeza pero el ángulo de rotación disminuye conforme se desarrollan.

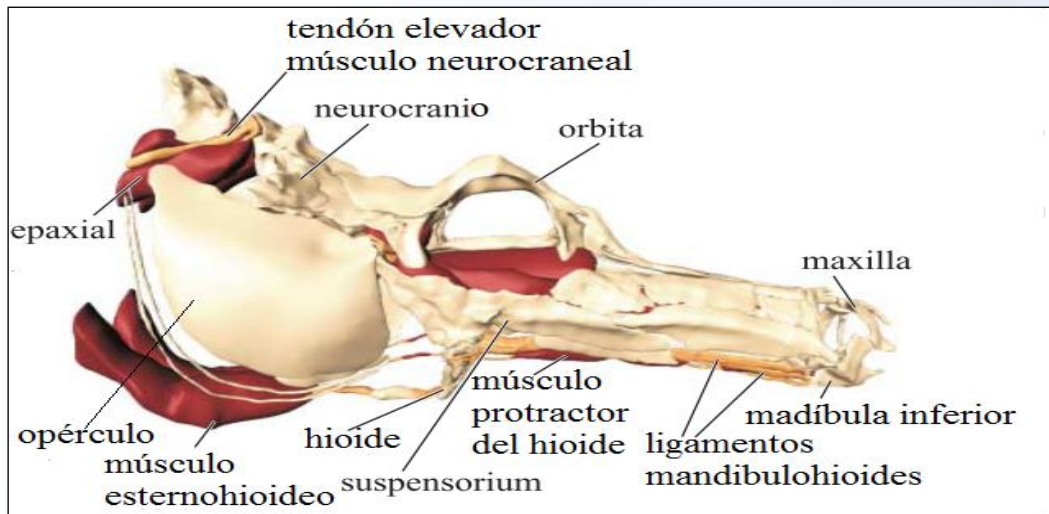


Figura 6. Anatomía de *H. reidi*. Huesos, tendones y ligamentos involucrados en la mecánica de captura. (i) Vista lateral Beige=hueso, rojo=músculo, naranja=tendón, (Tomado de Van Wassenbergh, *et al.*, 2009a).

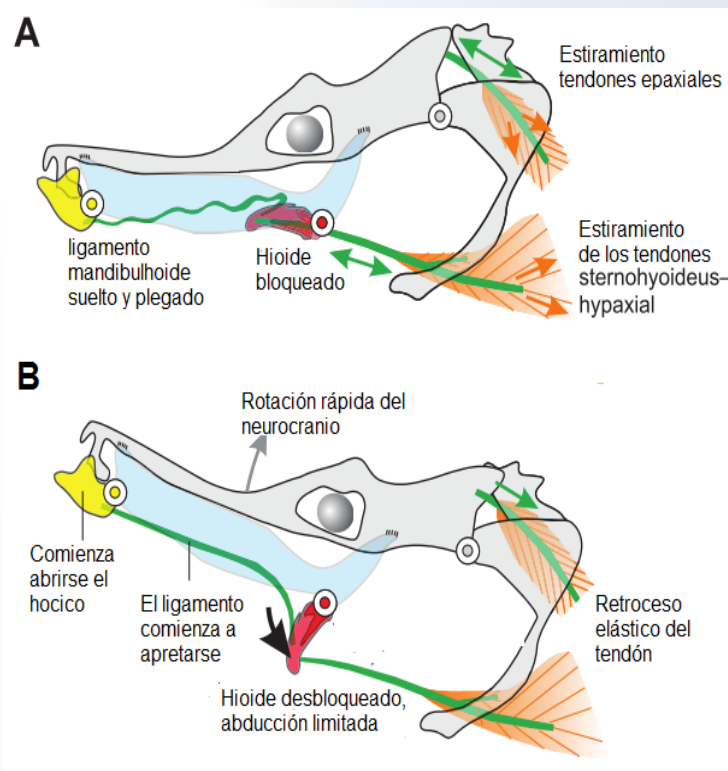


Figura 7. Funcionamiento del mecanismo de catapulta en *H. reidi*. El color azul claro representa la mandíbula inferior que cubre el ligamento mandibulhoide y en naranja son los músculos que proporcionan energía a los ligamentos. Los círculos representan las uniones entre los huesos. A. Durante la fase de preparación, los músculos epaxiales y probablemente el esternohyoideo-hipaxial se contraen, los tendones están estirados sin causar ningún movimiento del esqueleto y almacenando energía elástica, el hioide evita que rote. B. Simultáneamente al desbloqueo del hioide ocurre la rotación explosiva del neurocraneo hacia arriba, la apertura del hocico y la fase de succión (Tomado de Van Wassenbergh *et al.*, 2014).

3.6 Conducta alimenticia

En el medio natural, los caballitos de mar se alimentan sobretodo de pequeños crustáceos como, anfípodos, misidáceos, palemonidos y copépodos, pero también de larvas de peces o incluso poliquetos y otros invertebrados. Algunas de estas presas suelen ser veloces, ágiles y muy sensitivas, (Teixeira y Musick, 2001; Zhang, *et al.*, 2011). Para capturarlas usan una estrategia llamada alimentación de “pivote” o “pivoteo” cuya secuencia se describe a continuación: (Dower, *et al.*, 1997; Felicio, *et al.*, 2006).

3.6.1 Detección y orientación visual:

El organismo identifica a su presa, direccionando sus ojos hacia ella y hace una inspección visual, mientras mantiene la misma posición, el caballito tiende a bajar el hocico, posicionándolo cerca de la región ventral de su cuerpo (Figura 8).

3.6.2 Acercamiento:

Aproxima su cuerpo de forma lenta y ventralmente hacia la presa ya sea nadando con sus aletas pectorales y la dorsal, o estirando su cuerpo (Leysen, *et al.*, 2011). La forma cilíndrica y delgada del hocico minimiza la perturbación hidrodinámica y les permite acercar la punta del mismo lo suficiente a la presa sin ser detectados, para que pueda ser llevada dentro del hocico gracias a la corriente generada por la succión (Roos *et al.*, 2011).

3.6.3 Posicionamiento

El animal se acomoda hasta acercarse a la presa sobre la punta de su hocico y se mantiene en esta posición por unos segundos, el tronco y la cola no se mueven. (Felicio, *et al.*, 2006). Gemmell (2013) describió que la orientación de la cabeza hacia su presa es consistente después del acercamiento pues la cabeza y la punta del hocico mantienen un ángulo de 124° con respecto al centro de la presa.

3.6.4 Ataque

Una vez en posición, el caballito de mar realiza el “pivoteo” el cual consiste en un movimiento explosivo únicamente de la cabeza, rotándola dorsalmente y directamente a la presa, causado por el mecanismo de catapulta, mientras que el tronco se mantiene inmóvil. Se ha comprobado que este método le permite atacar a mayor distancia a sus presas. En comparación con los peces que tienen la cabeza alineada al cuerpo, esta estrategia de

emboscada es altamente efectiva ya que incluso pueden mantenerse sujetos al sustrato a esperar y atacar a su presa (Qin *et al.*, 2014; Van Wassenbergh *et al.*, 2008).

Anatómicamente el ataque inicia con la rotación del hioide descrito el sistema de bloqueo/desbloqueo (Figura 9A), después el neurocráneo rota dorsalmente y el hocico comienza a abrirse, si no se coordinan estos movimientos puede dar lugar a que la presa se aleje (Figura 9B). La presa es succionada y transportada dentro del hocico, generando un sonido característico (“clic”) Los caballitos con sus cabezas alargadas, alcanzan mayor distancia de los que solamente utilizan la protusión de la mandíbula (Roos, *et al.*, 2009).

3.6.5 Ingestión

Tras la succión la presa se ingiere, aunque hay ocasiones en las que el caballito escupe a la presa después de unos segundos de haberla succionado (Roos, *et al.*, 2010; Van Wassenbergh, *et al.*, 2008). Una posible explicación a esta conducta frecuente en organismos de cultivo es que la presa no sea palatable o que llegue a atorarse en el canal mandibular una vez que la presión de succión ha terminado, por lo que el regreso de los músculos, tendones y huesos a la situación inicial, termina expulsándola (Vargas y Simoes, com. Pers).

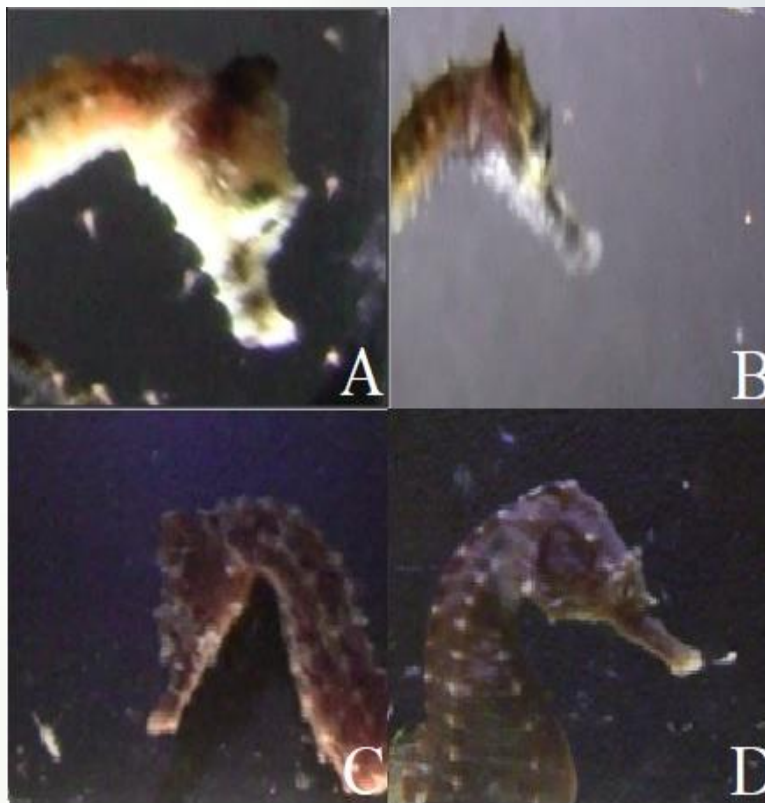


Figura 8. Observación de la presa. A y B son organismos de *H. erectus* en etapa juvenil, mientras que C y D son adultos. En todas las etapas mantienen la vista fija a la presa, ya sea nauplio o adulto de *Artemia* durante todo el evento de alimentación. (Tomadas por Lorena Garnica)

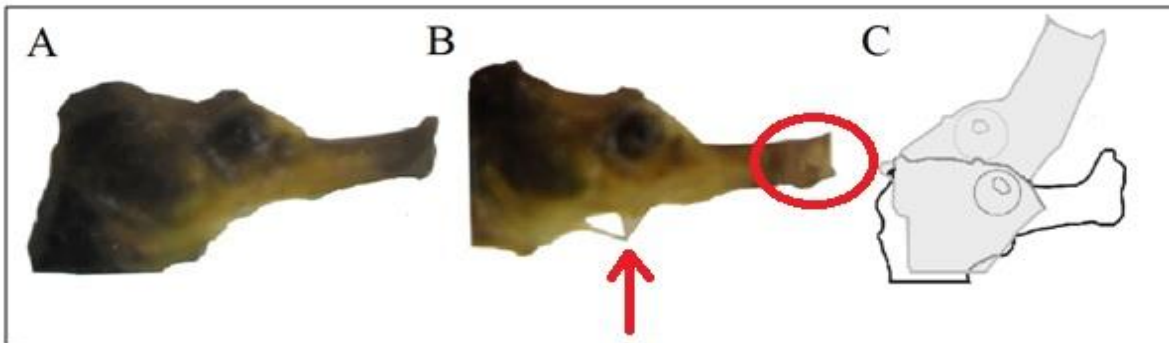


Figura 9. Estrategia de pivoteo en *H. reidi*. A) Cabeza e hioide antes del pivoteo. B) El hioide, señalado con una flecha se desbloquea generando el pivoteo, simultáneamente el hocico se abre, circulado. C) El movimiento dorsal de la cabeza es generado por el mecanismo de catapulta (Modificado de Roos, *et al.*, 2009).

4 HIPÓTESIS

Los caballitos de mar recién nacidos son muy parecidos a un adulto, pero las modificaciones de las proporciones del hocico a lo largo del crecimiento podrían afectar variables del proceso de captura de presas, dado que están directamente relacionadas con el mecanismo y estrategia de alimentación. Teniendo en cuenta lo anterior, se predice que para *H erectus*:

- ❖ La distancia de ataque aumenta proporcionalmente a la longitud estándar, al área del opérculo y la distancia hiopercular de los caballitos de mar.
- ❖ La velocidad de acercamiento aumentará proporcionalmente a la longitud estándar
- ❖ El ángulo de ataque se mantiene a lo largo del crecimiento y los cambios ontogénicos.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivos generales

Contribuir a la descripción de la capacidad de succión y captura de presas de *Hippocampus erectus* y su relación con los cambios morfométricos durante la ontogenia, en cautiverio.

5.2 Objetivos Particulares

- Medir la distancia de ataque de *H. erectus* en diferentes edades.
- Calcular la velocidad de acercamiento de los organismos hacia sus presas
- Medir el ángulo entre la cabeza y la presa al momento del ataque en ejemplares de diferentes etapas de desarrollo.
- Medir el área opercular y el sistema hiopercular de *H. erectus* en diferentes tallas.
- Relacionar la alometría de las estructuras (opérculo, sistema hiopercular) con las variables involucradas en la capacidad de succión.

6.1 Mantenimiento en cautiverio de *H. erectus*

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio del Programa de Investigaciones en Ecología y Cultivo de Especies Marinas de Ornato (PIECEMO), en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en el puerto de Sisal, Yucatán. El laboratorio cuenta con diferentes sistemas de cultivo de caballitos de mar:

- Sistema de mantenimiento de reproductores; está conformado por 6 acuarios de vidrio de aproximadamente 100 litros cada una, miden 50 cm largo x 28 cm ancho x 71 cm alto, este es un sistema de recirculación con un método de filtración mecánica (filtro de bolsa de 25 μm) y biológica (biobolas, arena, roca viva) (Figura 10). El laboratorio de PIECEMO cuenta con 6 sistemas de mantenimiento.



Figura 10. Sistemas de mantenimiento para el cultivo de reproductores de *H. erectus*. En las instalaciones de PIECEMO en Sisal, Yucatán se encuentran 6 sistemas de mantenimiento cada uno cuenta con 6 peceras de 100 litros. En la imagen se pueden observar dos sistemas de mantenimiento, la línea roja diferencia cada sistema.

- Sistema de cría de recién nacidos; consta de 12 peceras que pueden mantenerse en recirculación o sin ella. Cada acuario de 11 litros, mide 27.5 cm largo x 17 cm ancho x 23 cm alto; cuentan con una salida que desemboca en un reservorio de agua en donde

mantiene un sistema de filtración semejante al descrito anteriormente, en este sistema las crías permanecen por un lapso de 2 a 3 meses (Figura 11).

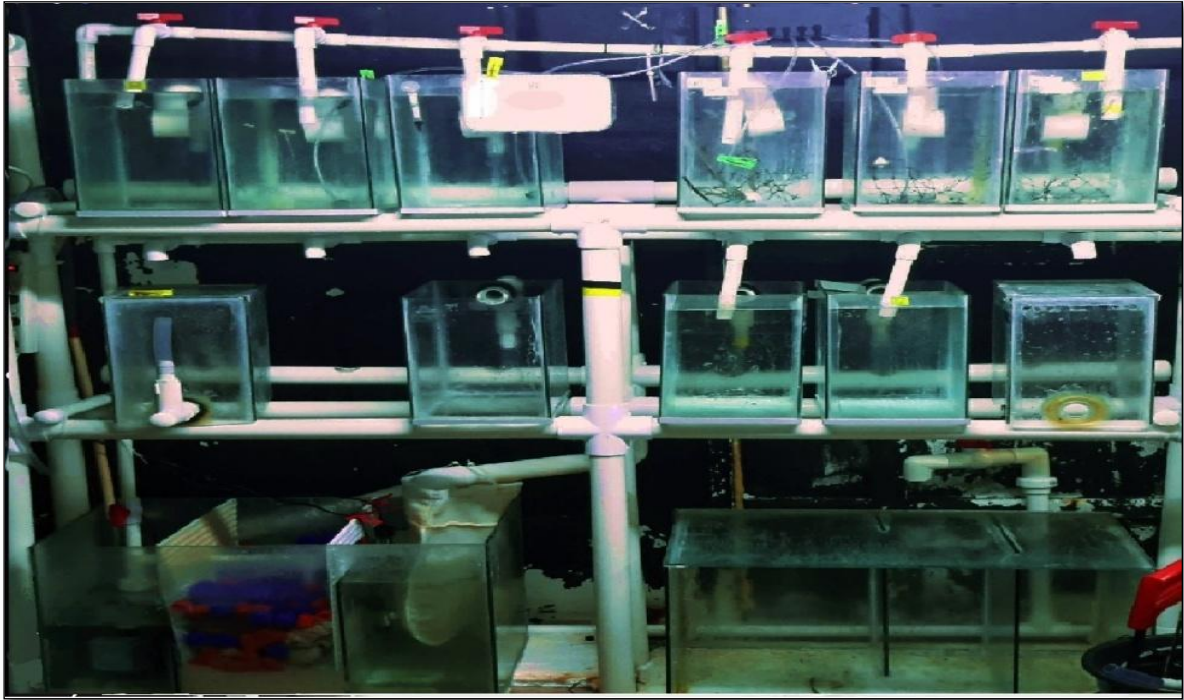


Figura 11. Sistema de cría de recién nacidos de *H. erectus*. Este sistema tiene capacidad para 12 acuarios de 11 litros, tiene la ventaja de poder trabajar con circulación o sin ella.

6.2 Organismos experimentales

Se utilizaron 17 organismos de diferentes edades clasificados en la Tabla 2, todos nacieron en el laboratorio de PIECEMO a partir de reproductores silvestres capturados en la laguna de Chelem, Yucatán bajo diferentes permisos autorizados por la Dirección General de Vida Silvestre para el proyecto de investigación “Biología del caballito de mar *Hippocampus erectus* (Perry 1810)” con los números de oficio SGPA/DGVS/12741/13 y SGPA/DGVS/10959/15.

Tabla 2. Organismos experimentales. Características generales de los 17 individuos de *H. erectus* utilizados en el trabajo. L_e =Longitud estándar, L_{ca} =Longitud de la cabeza, D.S.= desviación estándar.

Clasificación	Edad (días)	Organismo	# veces grabado	Sexo	L_e (mm) Media \pm D.S	L_{ca} (mm) Media \pm D.S	Longitud promedio de presas (mm)	Tipo de presa	
Juveniles (J)	5-15.	A	1	-					
		B	8	-					
		C	17	-	18.62 \pm 1.79	4.05 \pm 0.73	0.38	Nauplios	
		D	7	-					
		E	7	-					
	25-35.	F	11	-					
		G	8	-	27.87 \pm 2.73	5.53 \pm 0.54	0.33	Metanauplios	
		H	11	-					
		I	10	-					
		J	7	-					
55-85	K	18	-	43.88 \pm 4.27	8.80 \pm 1-04	0.98	Metanauplios		
	L	15	-						
	Adultos (A)	365	M	29	H	90.92 \pm 16.79	17.44 \pm 3-30	3.16	<i>Artemia</i> adulta
			N	11	H				
		760	O	19	M				
P	9		H	134.11 \pm 11.16	26.07 \pm 2.57	4.16	<i>Artemia</i> adulta		
		Q	12	H					

6.3 Rutinas generales

El presente estudio se realizó en el sistema de mantenimiento previamente descrito (Figura 10), en el cual el agua se mantuvo con una salinidad de 35 ± 1 ppm, temperatura de $25 \pm 1^\circ$ C y un fotoperiodo de 8/16 controlado con “timers”.

Diariamente se llevó a cabo la extracción de desechos y alimento sobrante a través de sifón. Aproximadamente un 10% del agua desechada a través de este método era repuesta con agua marina filtrada, lo cual permitió mantener los parámetros fisicoquímicos recomendados para la especie (pH: 8.2, Nitritos: ≤ 12.5 (mg/L), Nitratos: ≤ 12.5 (mg/L), Amonio 0 (mg/L)).

Los caballitos fueron alimentados tres veces al día, a las 10:00 am, 2:00 pm y 6:00 pm. Los adultos fueron alimentados con *Artemia* adulta vitaminada (complejos B y C), enriquecida con un concentrado de DHA (Selco, INVE) y anfípodos marinos de la especie

Parhyale hawaiensis. En esta etapa los organismos se alimentan con una ración de entre el 8 y 10% del peso húmedo por toma.

Los juveniles se alimentaron en los mismos horarios, proporcionándoles nauplios de *Artemia* vivos y recién eclosionados durante los primeros 20 días. A partir de los 21 y hasta los 60 días los organismos se alimentaron con metanauplios de *Artemia* vivos enriquecidos. La ración en estas etapas durante cada alimentación fue de dos a tres nauplios o un metanauplio por mililitro.

6.4 Grabación de la conducta alimenticia

6.4.1 Material de grabación

El registro de la conducta de alimentación de los caballitos de mar en cada etapa de desarrollo se llevó a cabo con una cámara de video Canon Vixia HF M300 Full HD de 3.89 Mega pixeles resolución de 1920x1080 y 29 cuadros por segundo. Para mayor calidad en los videos, la cámara se colocaba en un tripieé (Figura 12A). Con el fin de evitar obstáculos visuales, producidos por la sal o algún otro contaminante, se tuvo precaución de limpiar el vidrio exterior antes de cada grabación.

En la cara interior de una pecera se colocaron dos estructuras hechas de vidrio a manera de “micro-pecera” de 3.5 cm largo x 0.8 cm ancho x 2.6 cm alto con el fin de colocar ahí a los juveniles y obtener el video con vista lateral del organismo, como se sugiere en trabajos previos para evitar error de profundidad de campo (Roos, *et al.*, 2009) (Figura 12B). Los adultos se grabaron utilizando un plástico negro para limitar su espacio y obtener el plano deseado (Figura 12C) con el fin de obtener la iluminación correcta, en las peceras en donde se llevaron a cabo las filmaciones, se emplearon dos lámparas: una lámpara de luz blanca de 20 Watts en la parte superior y otra portátil de LEDS señalando al organismo (Figura 12; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**D). Se empleó además un fondo negro en las peceras lo cual ayudó a distinguir mejor a las presas en la columna de agua.

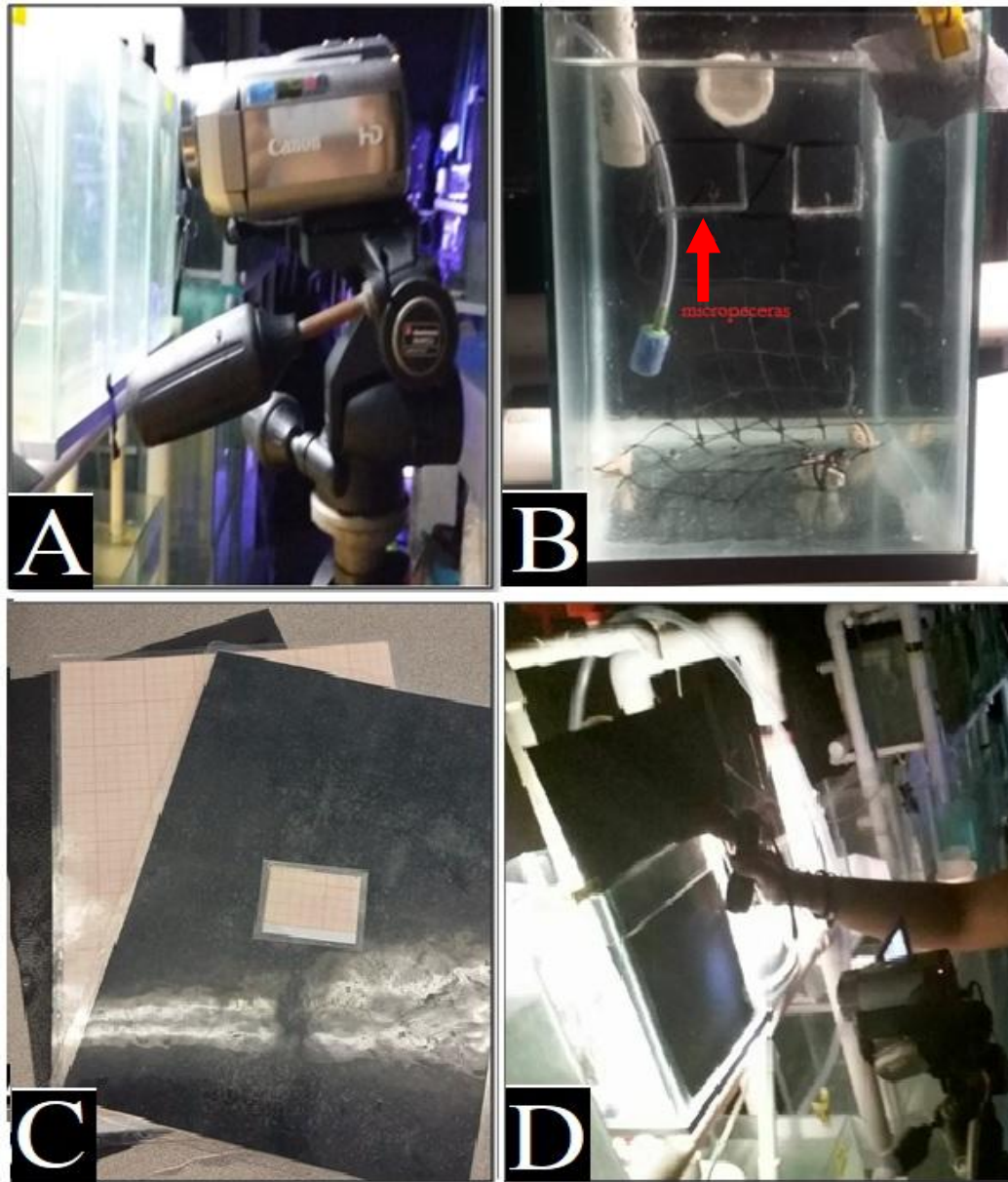


Figura 12. Material de grabación e iluminación. A. Cámara Canon Vixia montada en tripié. B. Pecera con micro-peceras para juveniles. C. Plásticos separadores. D. Iluminación durante las sesiones de grabación.

6.4.2 *Sesiones de grabación*

Antes de cada grabación el organismo era aclimatado a su pecera correspondiente: con la separación plástica en el caso de adultos (A) durante 1 hora o en la micro-pecera para los juveniles (J) por 20 minutos. Para controlar el nivel de hambre se mantuvieron los organismos en inanición, 24 horas los adultos, de acuerdo a Felicio tardan en completar la evacuación gástrica por completo 10.3 horas y 8 horas los juveniles para no afectar la

mortalidad o crecimiento. En total se llevaron a cabo 55 videos de los organismos experimentales.

Durante la grabación se apagaban las luces del laboratorio y únicamente se alumbraba al objetivo con las lámparas descritas previamente (Figura 12D). Al principio de cada video se enfocaba una escala de papel milimétrico para los análisis posteriores. Los videos duraban entre 15 a 20 minutos. La grabación daba inicio en el momento en el cual se proporcionaba el alimento dentro de la pecera. Dadas las condiciones descritas anteriormente (iluminación adecuada, fondo negro en la pecera) el alimento permanecía en la columna de agua y era lo suficientemente visible para los caballitos de mar.

6.4.3 Análisis de videos

Los videos fueron revisados con el software de edición de video VideoPad profesional por NCH software. Para cada organismos se contabilizaron: 1) todos los ataques realizados, 2) los ataques exitosos, es decir cuando hacen el movimiento de pivote y succionan a la presa 3) y el éxito de ingestión, cuando tragaban a la presa después de ser succionada. De los ataques exitosos (2) fueron seleccionados únicamente aquellos enfocados con el eje sagital para poder medir las distintas variables de succión con el menor error de profundidad, siguiendo las recomendaciones que utilizó Roos *et al.* (2010) con *H. reidi*.

Los videos de ataques exitosos se editaron reduciéndolos únicamente a los momentos de conducta alimenticia o “evento”, que inicia cuando el pez movía los ojos fijando la vista a la presa (*frame* 1= tiempo 0) hasta el *frame* inmediatamente anterior al movimiento de succión, cuando el caballito comienza la rotación dorsal de la cabeza para succionar la presa (*frame* de ataque).

La duración de cada evento fue calculada con el tiempo del video y se diferenció cada etapa de alimentación de la siguiente manera: a) del *frame* 1 hasta que comenzaba a moverse se estableció como “observación”, b) seguido por el “acercamiento” que terminaba al instante que el organismo cambiaba de posición después del movimiento ventral hacia la presa y c) el “posicionamiento” que finalizaba en el *frame* de ataque, el cuadro previo al desarrollar el ataque por pivoteo. Luego se reproducía cada evento con la

velocidad reducida al 10% para capturar imágenes estáticas del *frame* de inicio y el *frame* de ataque.

Se utilizó el software ImageJ 1.49v para medir el tamaño de las presas (Figura 13A) y las siguientes variables que se consideraron claves en el desarrollo de la capacidad de succión: 1) Utilizando la imagen del *frame* de ataque se midió la distancia de ataque, considerada la distancia más corta entre la punta del hocico del caballito de mar y la estructura de la presa más cercana a ese punto. (Figura 13B). 2). El ángulo de ataque tiene como punto origen la corona, una de las líneas finaliza en la punta del hocico y la otra línea en la presa, este ángulo se midió en el *frame* de ataque (Gemmell, *et al.*, 2013) (Figura 14A).

También se midió la distancia de acercamiento (mm) que es de la punta del hocico del *frame* 1 a la punta del hocico del *frame* de ataque, es decir el recorrido que realiza el caballito de mar desde que observa a la presa hasta el momento antes de atacar. El tiempo de acercamiento (s) es la duración del mismo evento. La velocidad de acercamiento (mm/s) se calculó dividiendo la distancia de acercamiento entre el tiempo de acercamiento (Figura 14B).

Por último de cada organismo utilizado se midió la longitud del hocico (L_h), longitud de la cabeza (L_c) y longitud estándar (L_e) de los 18 organismos utilizados.

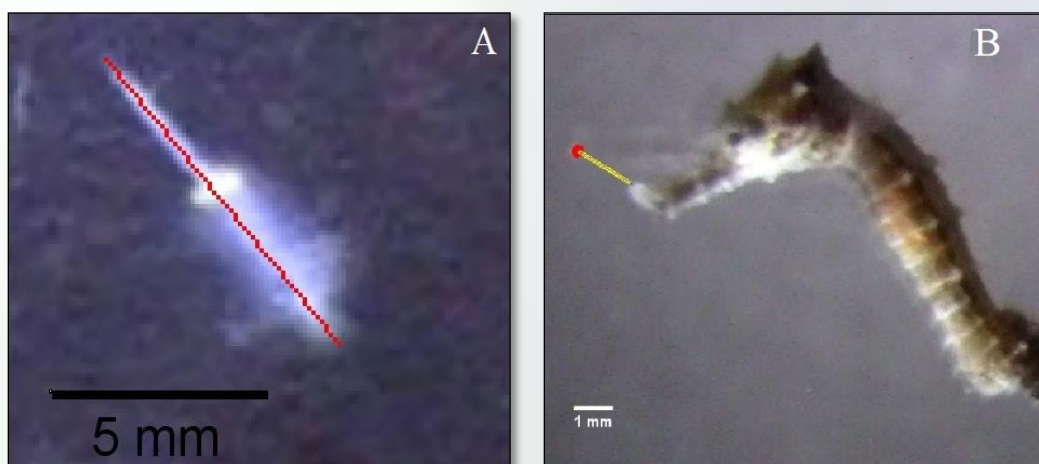


Figura 13. Medición de presa y distancia de ataque. A) Longitud total de la presa, *Artemia* adulta B) Distancia de ataque= distancia más corta entre la punta del hocico del caballito de mar y la estructura de la presa más cercana a ese punto, tomada el *frame* inmediatamente anterior a la rotación dorsal y la succión (ataque).

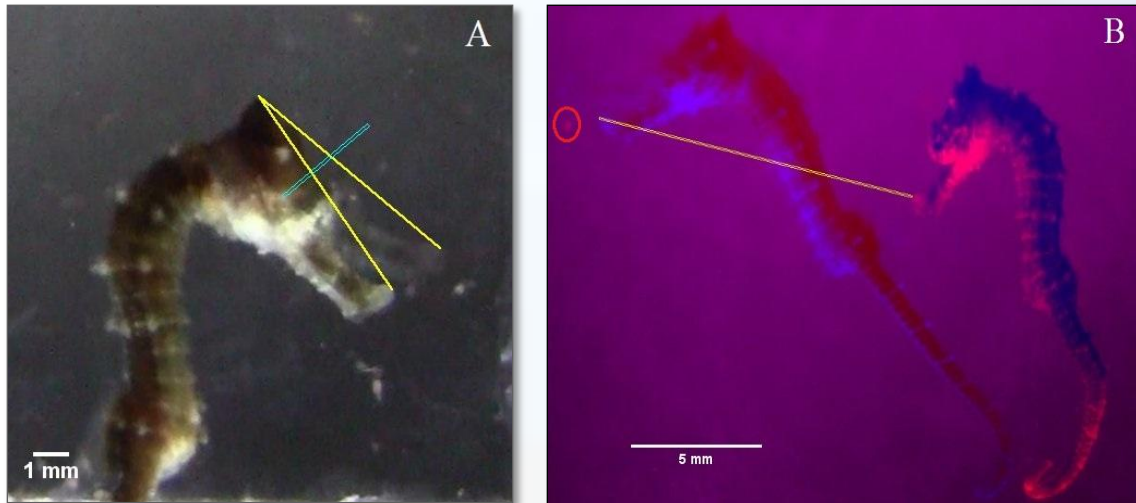


Figura 14. Medición del ángulo y velocidad de acercamiento. A) Ángulo a la presa en el *frame* inmediatamente anterior a la succión, formado por la corona, la punta del hocico y la presa. B) Velocidad de acercamiento, imagen combinada para medir la distancia de acercamiento, el caballito a la derecha es del *frame* 1 y a la izquierda del *frame* de ataque, la presa se encuentra señalada con un círculo rojo.

6.5 Medidas morfométricas

Se tomaron medidas morfométricas de un lote distinto al de las grabaciones, éste fue de 20 organismos de diferentes tamaños preservados para cuestiones de control y bitácora del permiso de colecta, normatividad CITES y la UMA de la UMDI-Sisal, los cuales murieron en el laboratorio por muerte natural, enfermedades o problemas en los sistemas de soporte de vida, fotografiándolos en un microscopio estereoscópico con una cámara Nikon y utilizando el software ImageJ (Figura 15).



Figura 15. Organismos de *H. erectus* de diferentes tallas utilizados para las medidas morfométricas.

En la (Figura 16A) se muestra la morfología externa de un ejemplar de *H. erectus*. Las medidas de las diferentes estructuras se basaron en los trabajos de Lourie (2003) y Vargas (2014). La longitud de la cabeza (L_{ca}) se tomó como la distancia desde la punta de la mandíbula superior hasta el punto medio del anillo cleitral, la longitud del cuerpo (L_c), desde el anillo cleitral hasta la punta de la cola y la longitud estándar (L_e) como la sumatoria de L_c y L_{ca} (Figura 16B). Además se midieron tres estructuras involucradas en el sistema de succión: la longitud del hocico (L_h) que va desde la punta de la mandíbula hasta el tubérculo pre-orbital (Figura 16C); el área del opérculo (A_o) y la distancia entre el hioide y la espina inferior de la mejilla la cual se nombró como distancia hiopercular (H_i) (Figura 17A y B).

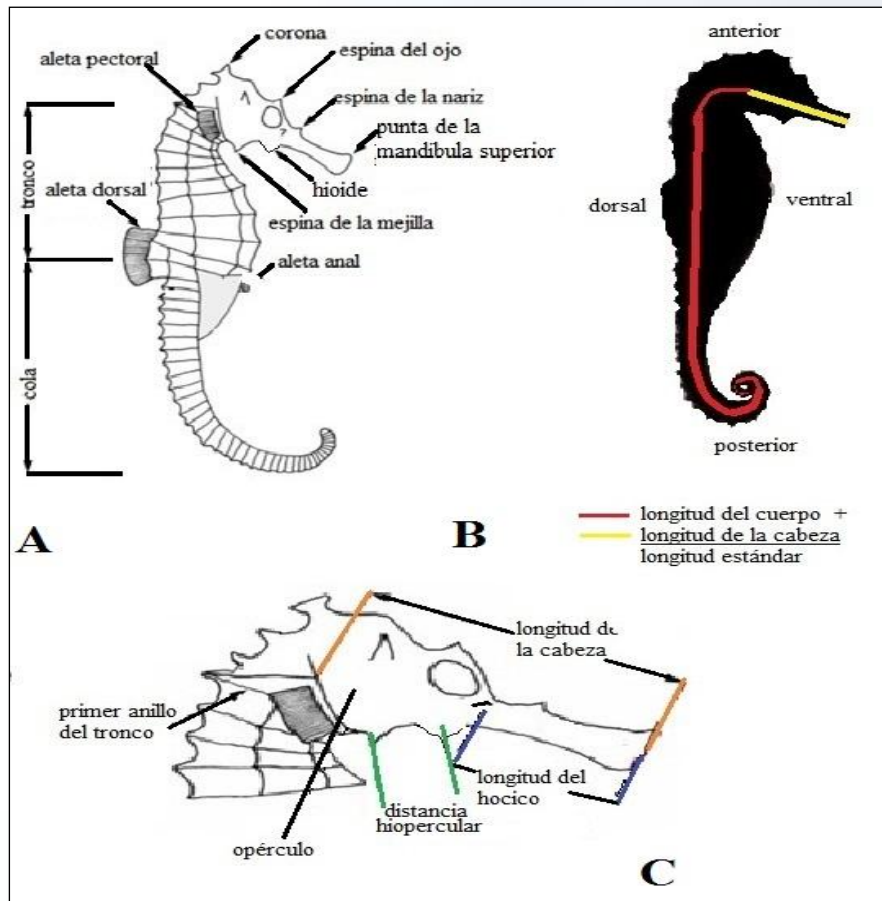


Figura 16. Morfología de *H. erectus*. A) Medidas morfométricas. B) La longitud estándar es la suma de la longitud del cuerpo y la longitud de la cabeza. C) Estructuras involucradas en la succión de las presas (Modificado de Lourie *et al.*, 1999).

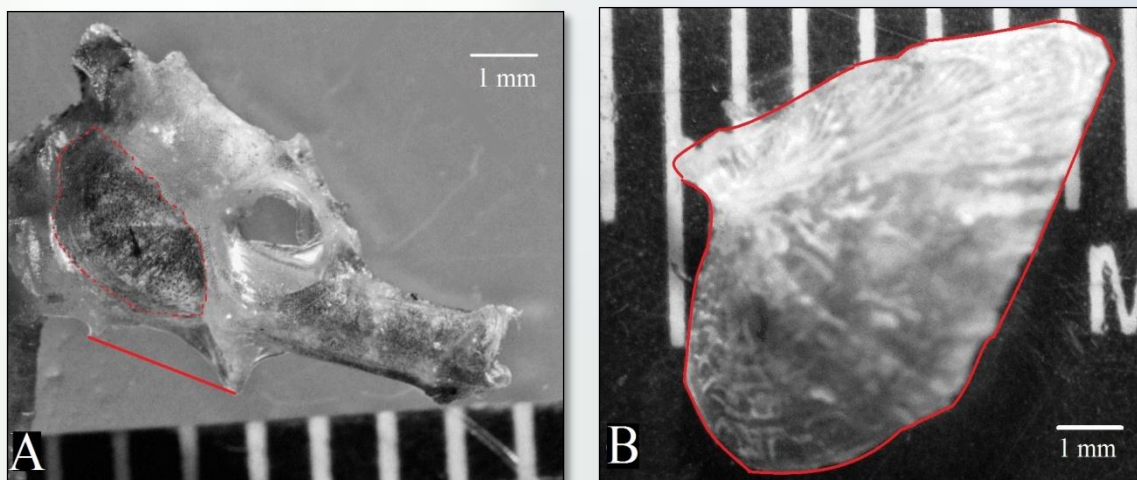


Figura 17. Morfometría de estructuras de succión. A) Esqueleto de caballito y distancia hiopercular (distancia entre el hioide distendido y la espina inferior de la mejilla). B) Opérculo, área delimitada en rojo.

6.6 Análisis estadístico

Se utilizó el software estadístico R 3.2.3 y Primer 7 para el análisis de datos.

6.6.1 *Éxito de ataque e ingestión*

Los datos del total de ataques, ataques exitosos e ingestiones exitosas fueron ordenados según los diferentes grupos de edad, para calcular el porcentaje de éxito en la ontogenia, los resultados están expresados en porcentaje ya que cada grupo de edad tuvo diferentes cantidades de ataques grabados (Tabla 2 en página 27).

6.6.2 *Análisis de variables morfométricas y variables de succión*

Las variables explicativas fueron: i) la edad (categorizada en cinco grupos), ii) el crecimiento (calculado con las medidas morfométricas L_h , L_{ca} y L_e) y iii) el tamaño de las presas. Junto con las variables de respuesta que fueron: i) la distancia de ataque (mm), ii) el ángulo de ataque (grados) y iii) la velocidad del evento (mm/s), fueron analizadas mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) para conocer la relación entre ellas, intentar reducir las variables y separar en tamaños los grupos de edad (J y A).

6.6.3 *Distancia de ataque*

Los datos se analizaron y se calcularon diferentes Modelos Aditivos Generalizados (GAM, por sus siglas en inglés), los cuales son ajustes empíricos que responden a cómo cambia la distancia de ataque en función del tamaño del depredador. Para definir el mejor modelo entre la distancia de ataque y la longitud estándar se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC).

6.6.4 *Ángulo de ataque*

El ángulo de ataque y la longitud estándar fueron representados en una gráfica de dispersión para conocer su relación en diferentes etapas de caballito de mar, también se registró el valor mínimo, máximo y el promedio en cada grupo de edad y en total.

6.6.5 Velocidad de acercamiento

La velocidad de acercamiento (mm/s) fue representada en una gráfica de caja y bigotes con respecto a los diferentes grupos de edad arbitrarios para conocer su variación, la velocidad máxima y mínima en cada etapa. Además se hicieron gráficas de dispersión para la distancia de acercamiento (mm) y para el tiempo de acercamiento (s), así conocer que variable fue la que cambió.

6.6.6 Alometrías

Por un lado se calculó la proporción de la cabeza con respecto a la longitud estándar de los organismos preservados en alcohol. Después todas las medidas morfométricas fueron transformadas con logaritmo base 10 para estandarizar los datos de acuerdo a lo previamente reportado (Choo y Liew 2006; Roos *et al.*, 2010 Sokal y Rohlf 1995; Vargas 2014) y se describieron las relaciones morfométricas entre el H_i y A_o con la L_{ca} y L_e con la siguiente ecuación $y = a x^b$ donde **a** y **b** son constantes, **y** es la variable dependiente (es decir la H_i o A_o) y **x** la variable independiente (la parte del cuerpo que se toma como referencia la L_{ca} o L_e). El coeficiente de alometría (**b**) de cada relación se evaluó con una prueba de t ($t = \frac{\text{pendiente} - (1 \text{ ó } 2)}{\text{error estándar}}$) para estimar la probabilidad de que sea igual a 1 en el caso de la distancia hiopercular (H_i) o 2 para el área del opérculo (A_o) ya que el área es al cuadrado de la longitud. Cuando **b** = **1 ó 2** el crecimiento es isométrico, cuando es **b** > **1 ó 2** hay un crecimiento alométrico positivo, es decir que la variable dependiente crece más rápido que la estructura de referencia y cuando **b** < **1 ó 2** el crecimiento es alométrico negativo, crece más despacio la variable dependiente.

7 RESULTADOS

7.1 Éxito de ataque e ingestión

El éxito de ataque aumenta con la edad. Los organismos tuvieron el éxito de ataque más bajo (79% de éxito) en los primeros quince días de nacidos. Al llegar a los 25 días este valor aumenta un 8.9% y conforme incrementa la edad los ataques alcanzan el 94.4% de éxito a los 365 días. A 760 días disminuye un 0.98% del éxito (Figura 18A).

El éxito de ingestión es más variable en las diferentes edades a pesar de que en

cualquier edad es mayor el éxito de ingestión que de ataque. Entre los 55 a 85 días de nacidos es cuando tienen el éxito máximo (100%) es decir que de todas las presas que lograban succionar fueron ingeridas. El éxito de ingestión más bajo se presentó en los organismos de 365 días con porcentaje de 84.4% (Figura 18B).

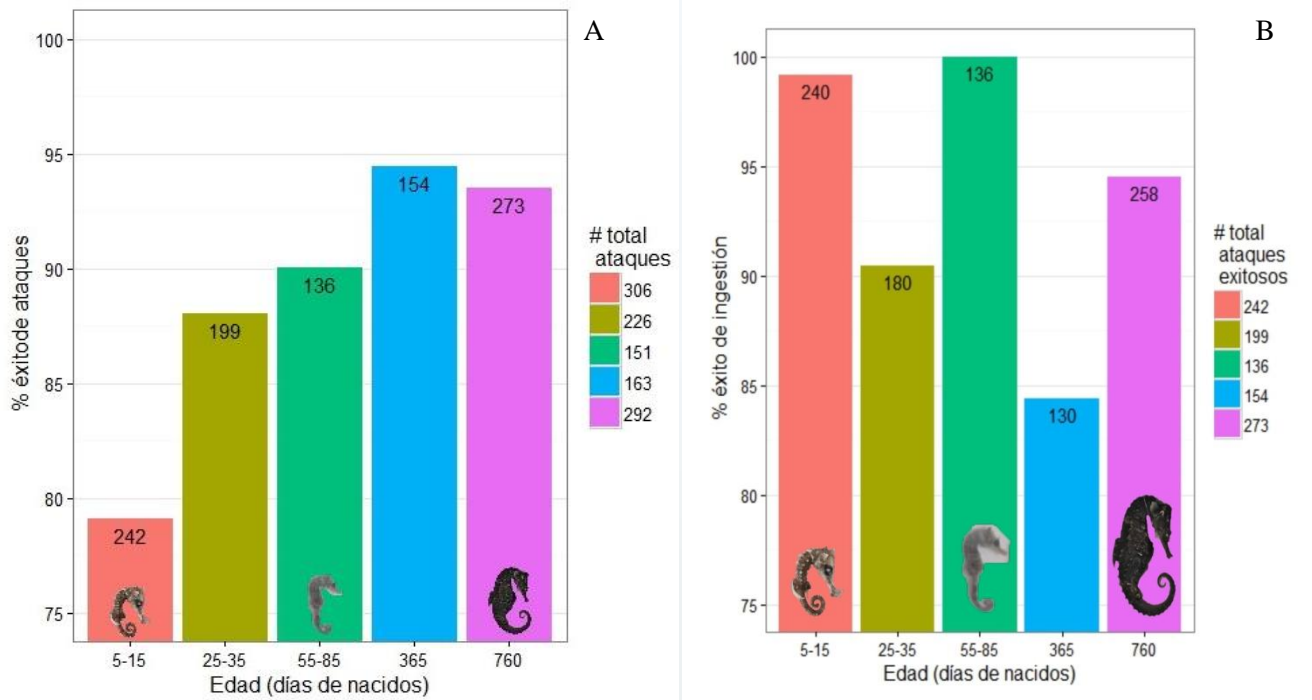


Figura 18. Porcentaje de éxito de ataque e ingestión por grupos de edad. Los grupos de edad representados en el eje horizontal, la leyenda de cada gráfica contiene el número de ataques o ataques exitosos totales que se realizaron en cada grupo de edad y cada columna tiene el número de ataques exitosos o ingestiones. Las definiciones de ataque, ataque exitoso y éxito de ingestión están definidas en la sección 6.3.4 Análisis de videos. A) Gráfico de éxito de ataques. B) Gráfico de éxito de ingestiones.

7.2 Análisis de variables morfométricas, alometría y variables relacionadas con la succión.

La edad puede ser separada en dos grupos los cuales fueron identificados como juveniles (de 5 a 85 días) y adultos (de 365 y 760 días) de acuerdo a los resultados del PCA (por sus siglas en inglés), además el análisis estadístico reveló la correlación esperada entre la edad y el tamaño (Tabla 2) (Figura 19). También se determinó a la longitud estándar como variable de referencia ya que; es la medida con correlación de Pearson más alta con respecto al PC1, se correlaciona fuertemente con el tamaño y porque es una variable con

alta precisión al medir. Además se puede decir con fidelidad la edad si se conoce la longitud estándar del organismo.

Por otro lado en la Tabla 3 se muestra el coeficiente de alometría (**b**) y la pendiente la cual fue evaluada con una prueba de t para rechazar isometría si era diferente a **b**, para cada una de las relaciones alométricas.

Tanto el PCA como las relaciones alométricas muestran que la proporción de la longitud de la cabeza con respecto a la longitud estándar disminuyó, el organismo más pequeño con 8.3 mm de longitud estándar tiene 37% proporcionadamente de longitud de la cabeza, mientras que el organismo más largo, 182.8 mm, sólo 19% es la longitud de la cabeza, es decir decrece un 18%.

Por otro lado el tamaño del hocico está fuertemente relacionado con el tamaño de la cabeza, a partir del día 25 ya no crece tanto a comparación con el resto del cuerpo. Las variables de succión, el área opercular y la distancia hiopercular, se compararon con la longitud estándar por ser la variable explicativa de referencia del modelo.

Las relaciones del área opercular (A_o) y la distancia hiopercular (H_i) con la longitud estándar (L_e), tienen un crecimiento alométrico negativo ya que la pendiente es menor que **b**. Pero al tomar como medida de referencia a la longitud de la cabeza (L_{ca}) no se rechaza la isometría, $b=1$.

Tabla 3. Crecimiento alométrico de *H. erectus*. A_o = Área del opérculo, H_i =Distancia hiopercular. L_{ca} =Longitud de la cabeza, L_e =Longitud estándar. N=20.

Variable y	Variable x	b	Pendiente	Error estándar	R2	P	Crecimiento
A_o	L_e	2	1.5426	0.1120	0.9086	0.0003	Alométrico negativo
H_i	L_e	1	0.6688	0.0756	0.8025	0.0001	Alométrico negativo
A_o	L_{ca}	2	2.0791	0.1197	0.9406	0.7414	Isométrico
H_i	L_{ca}	1	0.9346	0.0722	0.8974	0.1888	Isométrico

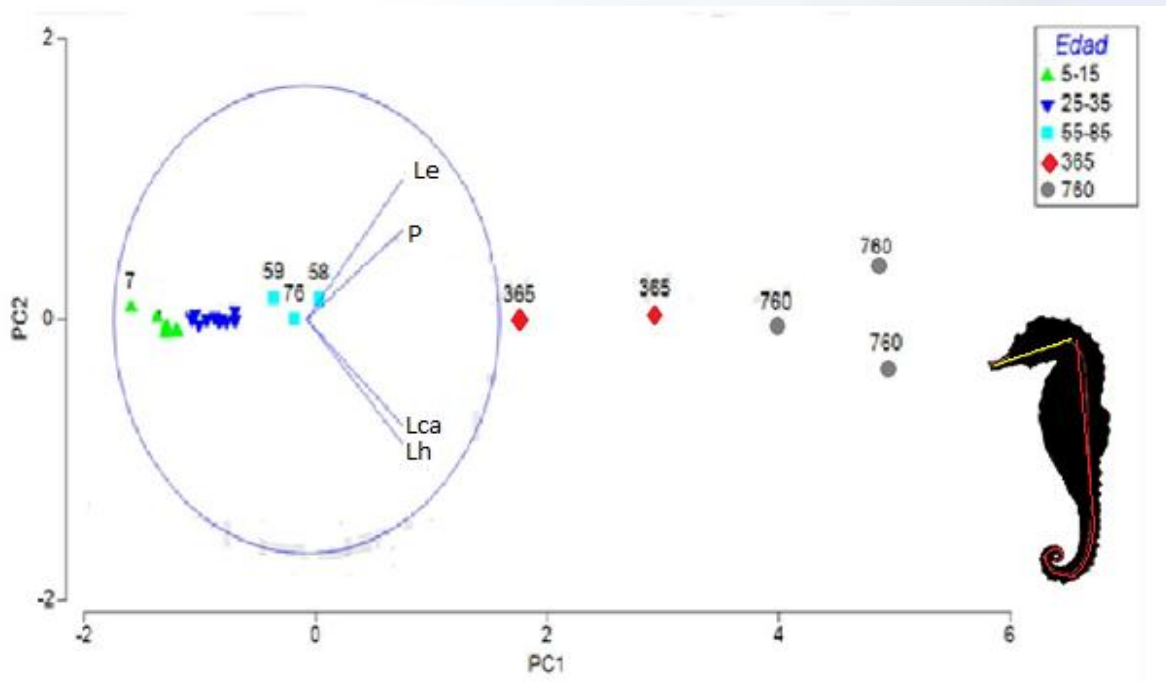


Figura 19. PCA de variables morfométricas y variables de succión. El PC1 separa por edades a los 17 organismos experimentales, los diferentes colores son los grupos de edad arbitrarios en los que se clasificaron. Todas las variables están correlacionadas con este primer componente. Los triángulos verdes y azules junto con los cuadrados son el grupo que se nombró como J (Juveniles) y el grupo A representado por los círculos grises y rombos rojos. PC= Componente principal, Lh= Longitud del hocico, Le= Longitud estándar, Lca= Longitud cabeza, P= longitud de presas.

7.3 Distancia de ataque

La distancia de ataque (Figura 13B) depende de la L_e del caballito, pues aumenta conforme su crecimiento. Los adultos atacan al triple de distancia que los juveniles. Animales juveniles entre 5 y 15 días alcanzan una distancia máxima de ataque de 1.60 mm, mientras que los adultos con 760 días pueden iniciar ataques a 6.71 mm de la presa. En la Figura 20A se representan todas las distancias de ataque de cada grupo de edad de *H. erectus*, los organismos a partir de los 55 días presentan un rango mayor de distancias de ataque. Éste rango es más reducido en aquellos juveniles que aún se alimentan de nauplios y metanauplios de *Artemia*.

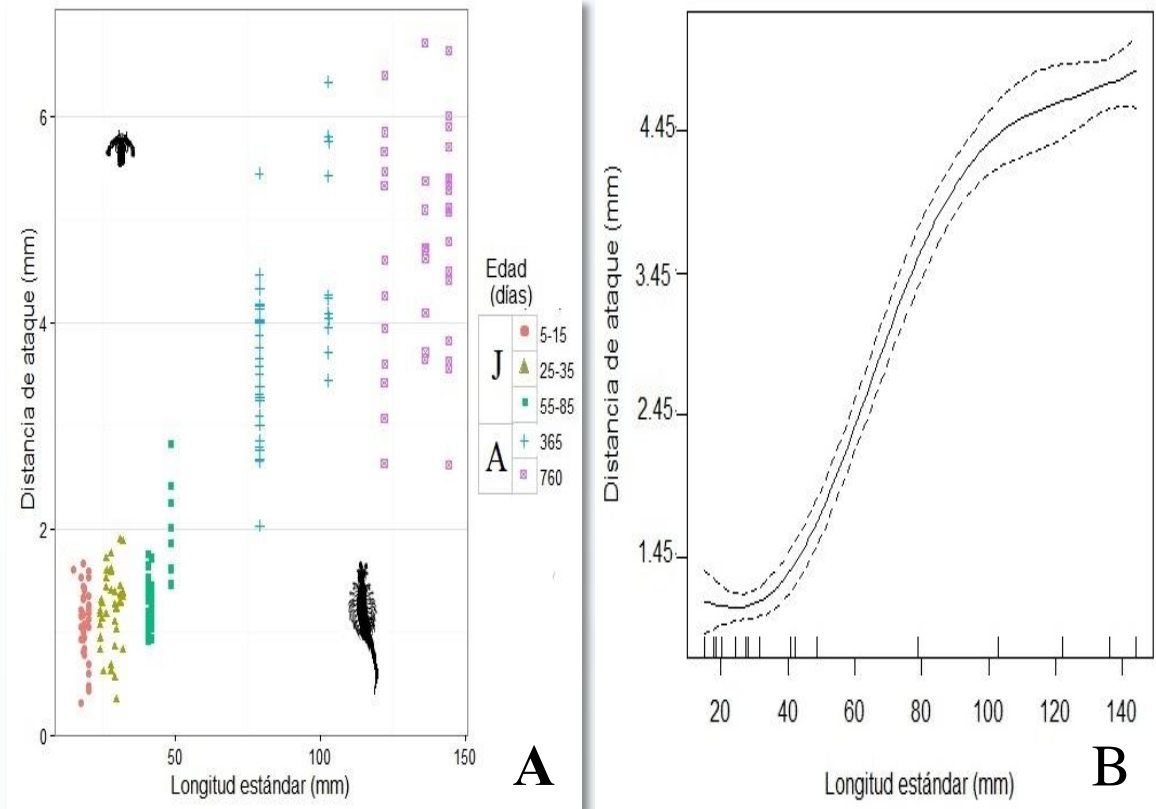


Figura 20. Distancia de ataque de *H. erectus* con respecto a la longitud estándar. **A.** Cada punto representa un ataque efectuado por alguno de los organismos experimentales. El color los identifica según la categoría de grupo de edad, J= juveniles y A= adultos. **B.** La gráfica muestra el ajuste de un modelo aditivo generalizado (GAM), la línea proyecta el modelo con el mejor indicador según el Criterio de Información de Akaike es decir es un modelo con el que se puede estimar la distancia de ataque si se conoce la longitud estándar del organismo.

La distancia de ataque incrementa de forma constante desde los 15 hasta los 40 mm de L_e , cuando hay un aumento abrupto hasta los 90 mm donde vuelve nuevamente el incremento constante, al final hay mayor dispersión y se refleja en los intervalos de confianza (representados con la línea punteada) que son más amplios representados en el modelo óptimo (Figura 20B).

7.4 Ángulo de ataque

El rango del ángulo de ataque de los organismos experimentales se encuentra entre 6.37° hasta 25° , el promedio en los organismos experimentales es de 13.7° . Los caballitos con longitud estándar menor a los 12 mm despliegan ángulos a la presa mayores de 10° , con un promedio de 17° , mientras que los organismos de mayor tamaño en su mayoría logran ángulos amplios (79% de los ángulos registrados fueron mayores a 10°) pero también ángulos agudos menores de 10° (21%) (Figura 21).

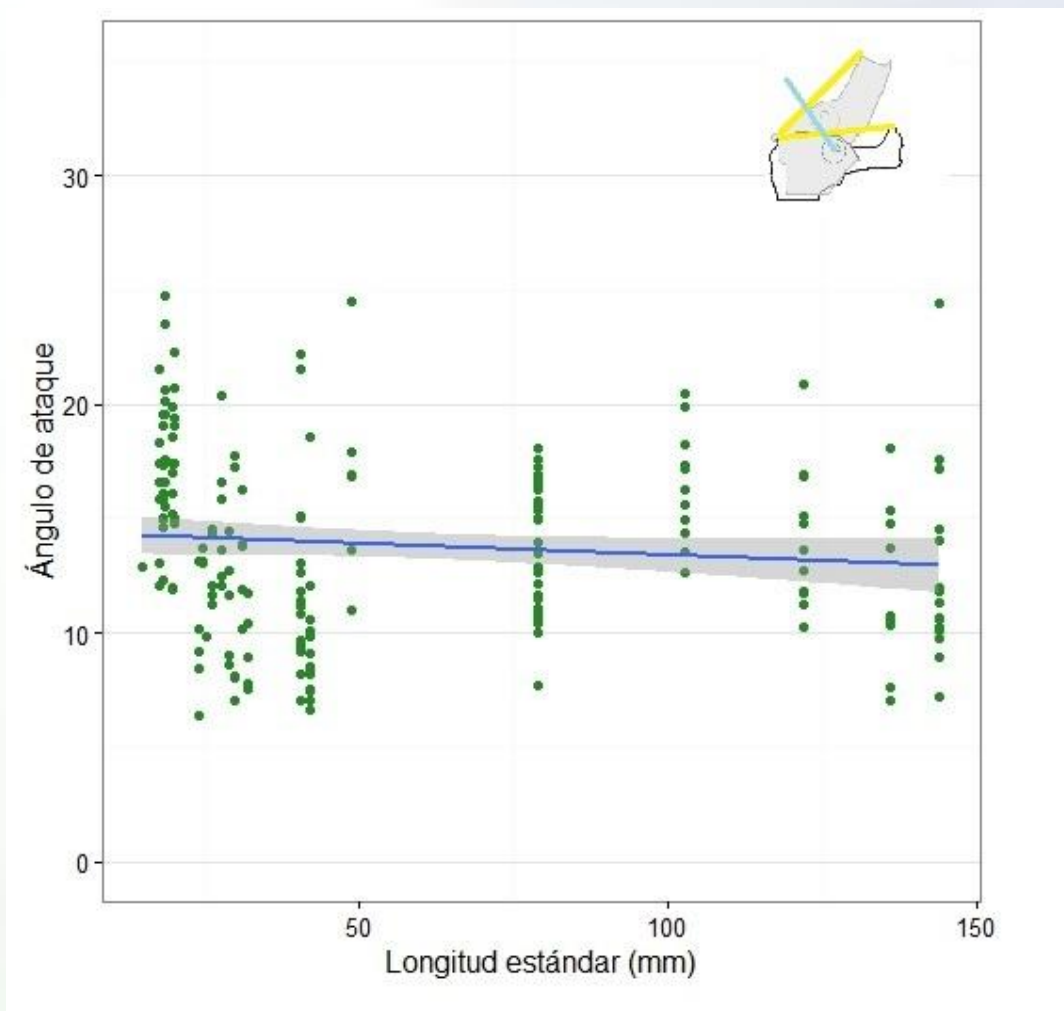


Figura 21. Ángulo de ataque de *H. erectus* con respecto a la longitud estándar. La imagen de la esquina muestra el ángulo que se midió, dando una idea de cómo es posición de la cabeza antes y después de su rotación dorsal para atacar a la presa.

7.5 Velocidad de acercamiento

La velocidad de acercamiento (mm/s) también aumentó en la ontogenia de *H. erectus*. Los juveniles recorren menos de 10 mm por segundo mientras que los adultos recorren en promedio 15 mm por segundo, pero pueden llegar a alcanzar hasta 40 mm por segundo (Figura 22).

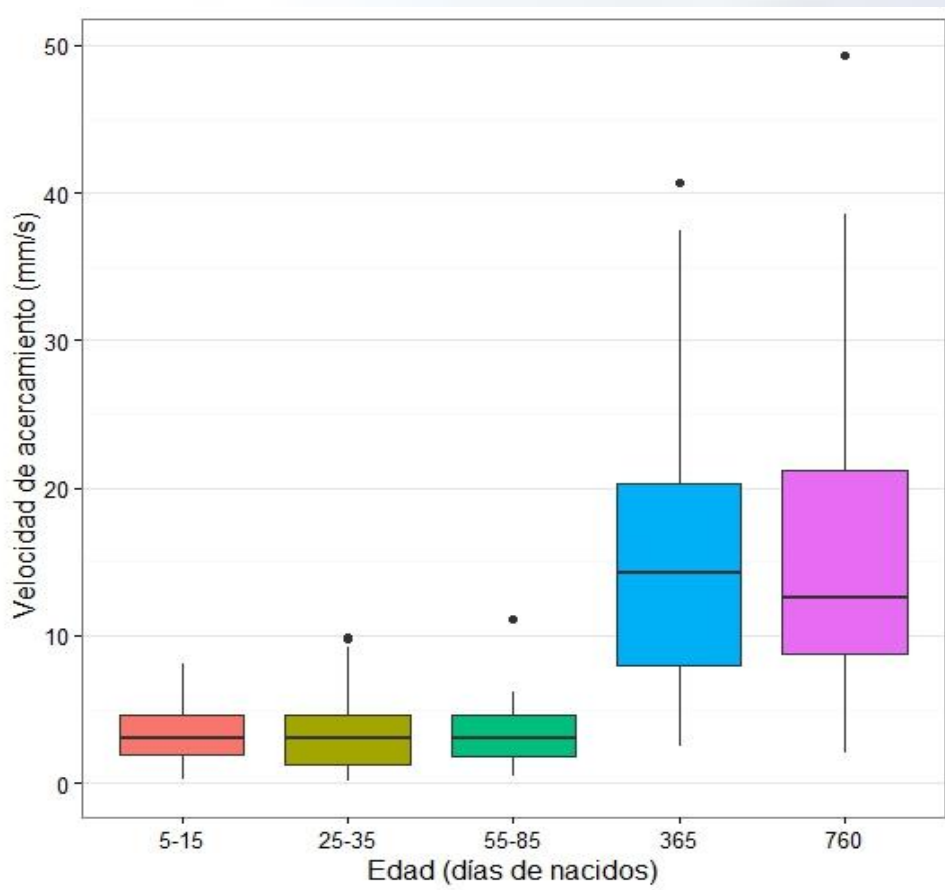


Figura 22. Velocidad de acercamiento respecto a los grupos de edad de *H. erectus*. Los primeros tres grupos de edad representados en la gráfica son el grupo que se definió como juveniles y los dos grupos de edad restantes son los adultos

Se observó que el tiempo de acercamiento no cambia en comparación de la distancia de acercamiento la cual aumenta. Los organismos pueden recorrer mayor distancia en el mismo intervalo de tiempo conforme aumentan de tamaño. En los juveniles que son alimentados con nauplios y metanauplios tienen una velocidad media de acercamiento de 3.42 mm por segundo; esta velocidad aumenta hasta 15 mm por segundo en los adultos, con un rango de velocidad que va de 2 mm por segundo hasta cerca de los 40 mm por segundo (Figura 23).

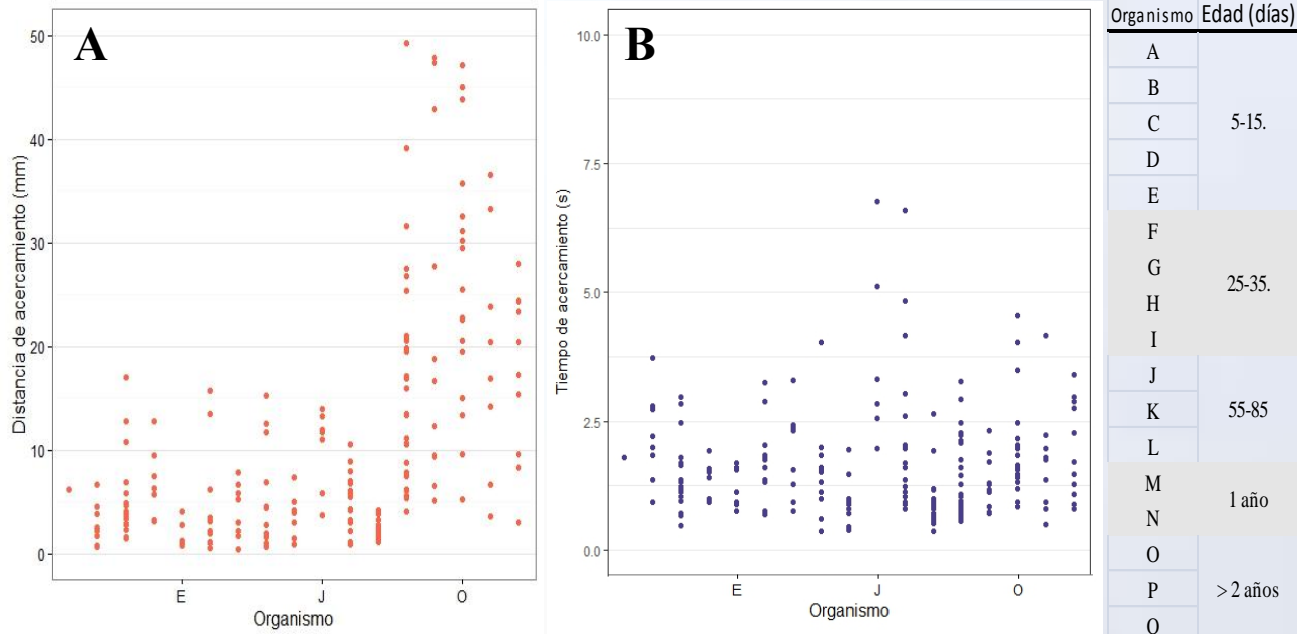


Figura 23. Distancia y tiempo de acercamiento de *H. erectus* a la presa. A) Distancia de acercamiento (mm) con respecto a los organismos experimentales, cada hilera de puntos representa un organismo (A, B, C... ver Tabla 2), únicamente están marcados los organismos E, J y O, y cada punto es una medida registrada. B) Tiempo de acercamiento (s) con respecto a los organismos experimentales.

8 DISCUSIÓN

Los caballitos de mar no son buenos nadadores sin embargo las diferentes presiones selectivas han evolucionado características morfológicas, como la posición perpendicular de la cabeza con respecto al tronco o el largo y forma del hocico, que les permite ser depredadores de organismos muy rápidos (Van Wassenbergh, *et al.*, 2011). El hecho de que puedan realizar capturas desde recién nacidos motivó a hacer la pregunta de cómo los cambios morfológicos a lo largo de su ontogenia cambian las variables conductuales de succión, y mejoran o no su desempeño.

Para contestar a la pregunta se revisaron 35 trabajos bibliográficos del modelo biológico *H. erectus*, de los cuales de los cuales ocho presentan resultados relacionados con alimentación y de esos sólo dos sobre su conducta, un trabajo menciona el desempeño de caballitos juveniles debido a la corriente del agua (Quin *et al*, 2014). Mientras que en el otro principalmente se describe el mecanismo de captura de las presas, con lo que en el presente trabajo se confirma con lo observado (Bergert y Wainwright, 1997).

En el presente trabajo se observó que los cambios morfológicos a lo largo de la ontogenia optimizan varios aspectos de la capacidad de succión y por lo tanto el éxito de capturar a sus presas. La distancia de ataque, la velocidad de acercamiento y las diferentes alometrías medidas durante el desarrollo ontológico de los individuos incrementan sin perder eficiencia en el proceso de atacar y capturar presas. Es interesante que cuando alcanzan su mayor éxito de ataque es cuando tienen menor éxito de ingestión (Figura 18), aunque sigue siendo una tasa alta, y se deba a que probablemente se vuelvan más selectivos. Se observó que los organismos con un año o más en cautiverio, estaban acostumbrados a una dieta de anfípodos, por lo que al proporcionarles únicamente *Artemia*, aunque eran muy eficientes capturándola se daban “el lujo” de regurgitarla. En otras palabras escogen a sus presas ya que tienen la capacidad de atraparlas.

Por otro lado hay muchas especies de peces marinos con una etapa larval pelágica, en la cual experimentan transformaciones morfológicas que no sólo afectan su capacidad natatoria, sino también su forma de alimentación. Por ejemplo para la especie de atún *Thunnus thynnus* las larvas recién eclosionadas se alimentan del saco vitelino (Browman y O'Brien, 1992), su visibilidad es casi nula (Carton y Vaughan, 2010; Davis y Olla, 1995), las aletas están poco desarrolladas y la viscosidad del agua dificulta su natación, lo que resulta en un mayor gasto de energía que puede comprometer el crecimiento (Leis, 2010).

En cambio a pesar de la reducida capacidad de natación, los caballitos de mar poseen desde el momento en que nacen la mecánica de catapulta y la estrategia de “pivote” para alimentarse de sus presas. Dicha estrategia es apoyada por la capacidad de fijar sus ojos a las presas y aproximarse lenta e inadvertidamente.

Se observó en este trabajo que los organismos más pequeños deben acercarse más a sus presas, 1.6 mm de distancia antes de atacar, y aunque probablemente la visión no está desarrollada en su totalidad, ellos logran detectar a la presa y la atacan. Es probable que el mecanismo de captura consuma bastante energía tal que no puedan estar succionando con frecuencias altas, así que una vez detectada la presa, el animal se acerca lo suficiente para garantizar el éxito del ataque. La visión puede que sea importante más que para detectar para programar con exactitud (hacer movimientos precisos) el ataque una vez que ya se haya aproximado a la presa y asegurar la succión.

También se reconoció un patrón en los cambios de la distancia de ataque en función de la talla del caballito, es decir los caballitos más jóvenes y de menor tamaño tienen una distancia de ataque menor que los caballitos adultos, conforme a su crecimiento la distancia de ataque incrementa continuamente hasta los 85 días ($L_e=50$ mm, Figura 20B) después hay un cambio abrupto y escalonado. Las observaciones coinciden con otros trabajos en los cuales se ha descrito que en los primeros días de vida los caballitos de mar tienen un crecimiento continuo, por ejemplo Choo y Liew (2006) registraron una alta tasa de crecimiento de 0.74 mm por día en *H. kuda* hasta los 50 días de nacidos cuando la tasa disminuye a 46 mm por día. Hora y Joyeux (2009) registraron para *H. reidi* una tasa de 1.16 mm por día hasta los 50 días de nacidos después de estos días su crecimiento era de 0.71 mm por día (Tabla 1).

En este trabajo es evidente que por el cambio en el tamaño de presas se da el patrón escalonado, pues nunca se observó que los juveniles intentarían atacar una *Artemia* adulta ya que morfológicamente no podrán succionarla por la limitante del tamaño de su hocico y los adultos no atacaron nauplios pues no los saciarían y el retorno de energía ingerida por la energía utilizada en cada ataque pudiera resultar negativo. En el intervalo de desarrollo ontológico utilizado en el presente trabajo, la morfología se modifica, no sólo en las variables del hocico y en las estructuras relacionadas con el proceso de succión sino también en los ojos y visión. Se observó que a lo largo del desarrollo los animales podían mover los ojos de forma coordinada o fijarse en un punto de unión tal como lo describe Mosk (2004). Los resultados del estudio comprueban que al mejorar estas características no tienen que acercarse demasiado a sus presas.

La distancia de ataque máxima que utilizaron organismos adultos de *H. erectus* fue 6.71 mm. En otros estudios con la especie *H. reidi* se han registrado distancias de ataque máximas de 7.6 mm. Esta diferencia puede ser debida a diferencia en la longitud de la cabeza de las dos especies. Los caballitos de mar *H. reidi* tienen la cabeza más larga, pudiendo alcanzar los 34 mm (Roos, *et al.*, 2009); mientras que la longitud más larga para *H. erectus* fue apenas de 24 mm. Roos, *et al.*, 2009 proponen que al tener una cabeza más grande puede mejorar el desempeño de succión pues el volumen de la cavidad bucal induce a una velocidad de flujo más rápida.

Vargas, (2014) describió varias relaciones morfométricas en *H. erectus*. La longitud del hocico tiene un crecimiento alométrico negativo con respecto a la longitud estándar pero un crecimiento isométrico con respecto a la cabeza. En este trabajo se observó que el crecimiento del área del opérculo y el tamaño del hioide tienen un crecimiento isométrico respecto al largo de la cabeza tiene sentido decir que todos los elementos que forman parte de la mecánica de catapulta tienen una función equitativa por lo que crecen de la misma manera, son como un engranaje de un reloj y si uno no encaja o no sincroniza, su desempeño no sería igual (Roos, *et al.*, 2010).

Mientras que en relación a la longitud estándar, presentan crecimiento alométrico negativo o sea que crecen a una tasa más lenta con respecto al resto del cuerpo (Tabla 3). Una razón es que cuando nacen la cabeza es proporcionalmente más grande que el cuerpo, hasta 37% de la longitud estándar pertenece a la cabeza en organismos menores a un centímetro al crecer sólo 19% es la longitud de la cabeza, esto junto con el registro de (Choo y Liew, 2006) se corrobora que decrece entre 17 y 18% la longitud de la cabeza.

Ambas medidas constituyen importantes elementos durante el proceso de succión de presas. El hioide es una parte esencial que bloquea y desbloquea la energía elástica logrando que la rotación de la cabeza sea muy rápida. Durante las grabaciones se observó que *H. erectus* previo a cada ataque el hioide giraba hacia la parte ventral, y consecuentemente la cabeza giraba rápidamente en dirección dorsal. Simultáneamente al movimiento del hioide se observó la abducción o separación del opérculo, que resultaba en el ensanchamiento del hocico iniciando así la succión de las presas.

Van Wassenberg, *et al.* (2009b) registraron que crías de *H. reidi* pueden rotar su cabeza dorsalmente (al momento de atacar) tres veces más rápido y con ángulos de ataque mayores en adultos gracias al tamaño del hocico de las crías que es más corto. En el presente trabajo no se midió la velocidad de rotación por falta de resolución temporal (cuadros por segundo) en la cámara de video utilizada, pero se midió el ángulo de ataque (Figura 14. **Medición del ángulo y velocidad de acercamiento. A) Ángulo a la presa en el frame inmediatamente anterior a la succión, formado por la corona, la punta del hocico y la presa. B) Velocidad de acercamiento, imagen combinada para medir la distancia de acercamiento, el caballito a la derecha es del frame 1 y a la izquierda del frame de ataque, la presa se encuentra señalada con un círculo rojo.**). A lo largo del crecimiento de *H. erectus* el ángulo de ataque varía entre 6 y 25°, debido a su morfología y su anatomía no puede

realizar ángulos mayores. Se registró que en los primeros días de nacidos los caballitos de mar realizaban ataques con ángulos mayores a 10° para alcanzar a sus presas mientras que los adultos tienen la ventaja de hacer movimientos angostos (menores a 10°) como mayores de 15° (Leysen, *et al.*, 2011).

La velocidad de acercamiento (Figura 14B) aumentó de 4 mm/s en juveniles hasta aproximadamente 15 mm/s en adultos (Figura 22). Se observó que una vez que los caballitos inician la detección a la presa, el tiempo de acercamiento se mantiene entre 1 a 2 segundos para todos los grupos de edad, conforme crecen pueden recorrer mayor distancia en el mismo intervalo de tiempo (de 5 hasta un máximo de 50 mm. Figura 23). Esto pudiera indicar una mayor capacidad natatoria. El crecimiento alométrico positivo de las aletas en relación con la cabeza y el resto del cuerpo provee proporcionalmente mayor capacidad natatoria. Aunado a que las crías se ven afectadas por la relación de fuerzas de inercia a fuerzas viscosas dentro de un fluido o número de Reynolds pues para los recién nacidos el agua les resulta más viscosa que para animales mayores con mayor velocidad y capacidad de aceleración.

La velocidad de acercamiento es una variable involucrada con el éxito de ataque, dado que acercarse velozmente evita que sean detectados por su presa suficiente anterioridad para accionar su mecanismo de escape y puedan capturarla exitosamente.

Los caballitos de mar, *H. erectus* mejoran las habilidades del proceso de captura e ingestión de su alimento. Junto con las variables que mejoraron se observó el crecimiento no sólo del tamaño general de los organismos sino de las estructuras relacionadas en la mecánica y estrategia de succión. Estas mejoras y sus relaciones con la morfología se ven reflejadas en el éxito de ataque, el cual también incrementa.

Al ser depredadores voraces desde su nacimiento los caballitos de mar tienen la habilidad conductual y física para cazar a sus presas, sin embargo resulta evidente que estos peces se vuelven más eficientes en la captura de su alimento conforme crecen. El presente trabajo aporta datos e información sobre la conducta alimenticia de *H. erectus* en cautiverio que pueden ayudar a entender mejor los procesos y mecanismos de alimentación de esta especie. Los resultados y conclusiones del presente trabajo pudieran ayudar a entender la ecología de la alimentación de otras especies de caballitos de mar.

9 CONCLUSIONES

- El éxito del ataque en *Hippocampus erectus* aumenta con el tamaño o edad.
- La distancia a la cual un caballito de mar *Hippocampus erectus* puede iniciar el ataque a una presa, aumenta con el tamaño y la edad.
- El crecimiento del hioide y área del opérculo tienen una relación alométrica negativa en relación al tamaño total, pero isométrica en relación a lo largo de la cabeza de animales de la especie de *Hippocampus erectus*.
- El ángulo de ataque no parece cambiar demasiado a lo largo de la ontogenia de *Hippocampus erectus*, aunque se requieren más observaciones para dilucidar bien el proceso.
- La velocidad de acercamiento de individuos de *Hippocampus erectus* a sus presas, aumenta con el tamaño y la edad.

10 LITERATURA CITADA

- Vincent, Amanda. (1996). *The international trade in seahorses*. Book, Cambridge, United Kingdom: Traffic International.
- Anderson, Paul A. (2012). Sexual dimorphism in morphometry and allometry of the adult lined seahorse, *Hippocampus erectus*. *Copeia*, 2012(3), 389-393. JOUR. doi:10.1643/CG-11-003
- Willens, Scott, D, J. Lawrence Dunn, M., D, Salvatore Frasca Jr V. M., Ph, D., Dunn, J. Lawrence, y Frasca, Salvatore. (2004). Fibrosarcoma of the brood pouch in an aquarium-reared lined seahorse (*Hippocampus erectus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 35(1), 107-109. JOUR. doi:10.1638/02-085
- Rainuzzo, Jose, et al. (1997). The significance of lipids at early stages of marine fish a review. Journal Article, Troindheim, Norway: University of Troindheim.
- Sargent, John R. (1995). Requirement criteria for essential fatty acids. Journal Article, Berlin: Journal Applied Ichthyology.
- Ahnesjö, Ingrid, y Craig, J. F. (2011). The biology of Syngnathidae: pipefishes, seadragons and seahorses. *Journal of Fish Biology*, 78(6), 1597-602. doi:10.1111/j.1095-8649.2011.03008.x
- Anderson, Paul a., y Mann, David a. (2011). Evoked potential audiogram of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Perry), in terms of sound pressure and particle acceleration. *Environmental Biology of Fishes*, 91(3), 251-259. doi:10.1007/s10641-011-9772-8
- Batty, R. S., y Hoyt, R. D. (1995). The role of sense organs in the feeding behaviour of juvenile sole and plaice. *Journal of Fish Biology*, 47(6), 931-939. doi:10.1111/j.1095-

8649.1995.tb06019.x

- Baum, Julia K., Meeuwig, Jessica J., y Vincent, Amanda. (2003). Bycatch of lined seahorses (*Hippocampus erectus*) in a Gulf of Mexico shrimp trawl fishery. *Fishery Bulletin*, 101(2003), 721-731.
- Bergert, B. a., y Wainwright, P. C. (1997). Morphology and kinematics of prey capture in the syngnathid fishes *Hippocampus erectus* and *Syngnathus floridae*. *Marine Biology*, 127(4), 563-570. doi:10.1007/s002270050046
- Bianco, Isaac H., Kampff, Adam R., y Engert, Florian. (2011). Prey capture behavior evoked by simple visual stimuli in larval zebrafish. *Frontiers in systems neuroscience*, 5(December), 101. doi:10.3389/fnsys.2011.00101
- Blaxter, J. H. S. (1968). Visual thresholds and spectral sensitivity of herring larvae. *Journal of Experimental Biology*, 48(1), 39-53.
- Botero, Mónica. (2004). Comportamiento de los peces en la búsqueda y la captura del alimento. *Revista Col Cienc Pec*, 17(24).
- Browman, Howard I., y O'Brien, W. John. (1992). The ontogeny of search behavior in the white crappie, *Pomoxis annularis*. *Environmental Biology of Fishes*, 34(2), 181-195. doi:10.1007/BF00002393
- Burgess, Harold a, y Granato, Michael. (2007). Modulation of locomotor activity in larval zebrafish during light adaptation. *The Journal of Experimental Biology*, 210(Pt 14), 2526-39. doi:10.1242/jeb.003939
- Carton, Alexander G., y Vaughan, Melanie R. (2010). Behavioural and anatomical measures of visual acuity in first-feeding Yellowtail Kingfish (*Seriola lalandi*) larvae. *Environmental Biology of Fishes*, 89(1), 3-10. doi:10.1007/s10641-010-9657-2
- Celino, Fritzie T., Hilomen, Grace V, y del Norte, Annabelle G. C. (2012). Feeding selectivity of the seahorse, *Hippocampus kuda* (Bleeker), juveniles under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 43(12), 1804-1815. doi:10.1111/j.1365-2109.2011.02988.x
- Chang, Marshall, y Southgate, Paul C. (2001). Effects of varying dietary fatty acid composition on growth and survival of seahorse, *Hippocampus* sp., juveniles. *Aquarium Sciences And Conservation*, 3(2001), 205-214.
- China, Victor, y Holzman, Roi. (2014). Hydrodynamic starvation in first-feeding larval fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(22), 8083-8. doi:10.1073/pnas.1323205111
- Choo, C. K., y Liew, H. C. (2006). Morphological development and allometric growth patterns in the juvenile seahorse *Hippocampus kuda* Bleeker. *Journal of Fish Biology*, 69(2), 426-445. doi:10.1111/j.1095-8649.2006.01105.x
- CITES. (2002). Conservacion de los Caballitos de Mar y Otros Miembros de la Familia Syngnathidae. En *Doudecima Reunion de la Conerencia de las Partes* (Vol. 43, pp. 1-20). Santiago de Chile: Project Seahorse.
- Cobcroft, J., Pankhurst, P. M., y Battaglione, SC. (2001). The visual field and feeding cultured striped trumpeter (*Latris lineata*) larvae under differing light environments. En *Larvi 2001 Fish & Shellfish Larviculture Symposium European Aquaculture*

- Society Special Publication Number 30.* (pp. 164-167). Recuperado de: <http://ecite.utas.edu.au/22126>
- Colson, Douglas J., Patek, Sheila N., Brainerd, Elizabeth L., y Lewis, Sara M. (1998). Sound production during feeding in *Hippocampus* seahorses (Syngnathidae). *Environmental Biology of Fishes*, 51(1998), 221-229.
- Consi, T. R., Seifert, P. a, Triantafyllou, M. S., y Edelman, E. R. (2001). The dorsal fin engine of the seahorse (*Hippocampus* sp.). *Journal of morphology*, 248(1), 80-97. doi:10.1002/jmor.1022
- Cook, Amy. (1996). Ontogeny of feeding morphology and kinematics in juvenile fishes: a case study of the cottid fish *Clinocottus analis*. *The Journal of experimental biology*, 1971, 1961-1971. Recuperado de: <http://jeb.biologists.org/content/199/9/1961.short>
- Cox, E. S., y Pankhurst, P. M. (2000). Feeding behaviour of greenback flounder larvae , / with differing *Rhombosolea tapirina* ž Gunther. *Aquaculture*, 183(2000), 285-297.
- Cunha, I., y Planas, M. (1999). Optimal prey size for early turbot larvae *Scophthalmus maximus* L . / based on mouth and ingested prey size. *Aquaculture*, 175(1999), 103-110.
- Davis, Michael W., y Olla, Bori L. (1995). Formation and maintenance of aggregations in walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, larvae under laboratory conditions: role of visual and chemical stimuli. *Environmental Biology of Fishes*, 44(4), 385-392. doi:10.1007/BF00008253
- Dias, Thelma L, Rosa, I, Baum, Julia, K. (2002). Threatened fishes of the world : *Hippocampus erectus* Perry , 1810 (Syngnathidae). *Environmental Biology of Fishes*, 65(2002), 326.
- Douglas, Ron, y Mustafa, Djamgoz (Eds.). (1990). *The visual system of fish* (First edit.). Chapman and Hall. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=ahcyBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=visual+system+fish&ots=xGKf3W6caW&sig=9KUCSyDz6jypNeLiY_T5isYh54I&redir_esc=y#v=onepage&q=binocular&f=false
- Dower, John F., Miller, Thomas J., y Leggett, William C. (1997). The Role of Microscale Turbulence in the Feeding Ecology of Larval Fish. En *Advances in Marine Biology* (Vol. 31, pp. 170-220).
- EDF CAPLOG. (2014). *La demanda China de productos marinos de lujo y las pesquerías mexicanas*. Recuperado de: <http://mexico.edf.org/sites/mexico.edf.org/files/lademandachina.pdf>
- Felicio, Ana Karina C., Rosa, Ierecê L., Souto, Antonio, y Freitas, Renato H. . . . (2006). Feeding behavior of the longsnout seahorse *Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933. *Journal of Ethology*, 24(3), 219-225. doi:10.1007/s10164-005-0189-8
- Gahtan, Ethan, Tanger, Paul, y Baier, Herwig. (2005). Visual prey capture in larval zebrafish is controlled by identified reticulospinal neurons downstream of the tectum. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 25(40), 9294-303. doi:10.1523/JNEUROSCI.2678-05.2005
- Garcia, Luis Maria B., Hilomen-Garcia, Grace V, Celino, Fritzie T., Gonzales, Tomas T., y

- Maliao, Ronald J. (2012). Diet composition and feeding periodicity of the seahorse *Hippocampus barbouri* reared in illuminated sea cages. *Aquaculture*, 358-359, 1-5. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.06.013
- Gardner, Todd. (2003). The Copepod / *Artemia* Tradeoff in the Captive Culture of *Hippocampus erectus* , a Vulnerable Species in Lower New York State. *Marine Ornamental Species: Collection, Culture & Conservation.*, 22(1996), 7.
- Gemmell, Brad J., Sheng, Jian, y Buskey, Edward J. (2013). Morphology of seahorse head hydrodynamically aids in capture of evasive prey. *Nature*, 4, 2840. doi:10.1038/ncomms3840
- Giraldo, Javier, y Polanía, Paula. (2005). CRÍA DE CABALLITO DE MAR *Hippocampus reidi* BAJO TRES SISTEMAS CONTROLADOS EN EL ACUARIO MUNDO MARINO (SANT A MART A , COLOMBIA). *U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 8 (2), 67-75.
- Gonzalez-Hernandez., et al. (2003). Algunos aspectos sobre la reproducción y cría del Caballito de Mar (*Hippocampus erectus* Perry , 1810) en condiciones de laboratorio Introducción Material y métodos. *CIVA*, 2003(3), 1-7.
- Gould, Stephen Jay. (1966). Allometry and Size in Ontogeny and Phylogeny. *Biological Reviews*, 41(4), 587-638. doi:10.1111/j.1469-185X.1966.tb01624.x
- Hairston, N. G., Li, K. T., y Easter, S. S. (1982). Fish vision and the detection of planktonic prey. *Science (New York, N.Y.)*, 218(4578), 1240-1242. doi:10.1126/science.7146908
- Hemmings, C. C. (1966). Olfaction and vision in fish schooling. *Journal of Experimental Biology*, 45(3), 449-464. Recuperado de: <http://jeb.biologists.org/content/45/3/449.short>
- Hora, Maik Dos Santos Cividanes Da, y Joyeux, Jean-Christophe. (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. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.03.023
- Kanou, K, Kohno, H. (2001). Early life history of a seahorse,. *Ichthyological Research*, 48(2001), 361-368.
- Kendrick, Alan J., y Hyndes, Glenn a. (2005). Variations in the dietary compositions of morphologically diverse syngnathid fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 72(4), 415-427. doi:10.1007/s10641-004-2597-y
- Kitsos, M. S., Tzomos, Th., 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. doi:10.1111/j.1095-8649.2007.01789.x
- Koldewey, H. J. Vincent A. C. J. Foster S. J. (2011). Conservation and management of seahorses and other Syngnathidae. *Journal of Fish Biology*, 78(6), 1681-724. doi:10.1111/j.1095-8649.2011.03003.x
- Leis, Jeffrey M. (2010). Ontogeny of behaviour in larvae of marine demersal fishes. *Ichthyological Research*, 57(4), 325-342. doi:10.1007/s10228-010-0177-z
- Leysen, Heleen, Dumont, Elizabeth R., Brabant, Loes, Van Hoorebeke, L., y Adriaens,

- Dominique. (2011). Modelling stress in the feeding apparatus of seahorses and pipefishes (Teleostei: Syngnathidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 104(3), 680-691. doi:10.1111/j.1095-8312.2011.01733.x
- Leysen, Heleen, Roos, Gert, y Adriaens, Dominique. (2011). Morphological variation in head shape of pipefishes and seahorses in relation to snout length and developmental growth. *Journal of morphology*, 272(10), 1259-70. doi:10.1002/jmor.10982
- Lin, Qiang, Gao, Yongli, Sheng, Junqing, Chen, Qingxiang, Zhang, Bin, y Lu, Junyi. (2007). The effects of food and the sum of effective temperature on the embryonic development of the seahorse, *Hippocampus kuda* Bleeker. *Aquaculture*, 262(2-4), 481-492. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.11.011
- Lin, Qiang, Lin, Junda, y Huang, Liangmin. (2009). Effects of substrate color, light intensity and temperature on survival and skin color change of juvenile seahorses, *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture*, 298(1-2), 157-161. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.10.015
- Lin, Qiang, Lin, Junda, y Wang, Chao. (2009). Biochemical composition of the wild and cultured seahorses, *Hippocampus kuda* Bleeker and *Hippocampus trimaculatus* Leach. *Aquaculture Research*, 40(6), 710-719. doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02149.x
- Lin, Qiang, Lin, Junda, y Zhang, Dong. (2008). Breeding and juvenile culture of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* Perry, 1810. *Aquaculture*, 277(3-4), 287-292. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.02.030
- Lin, Qiang, Lin, Junda, Zhang, Dong, y Wang, Yanbo. (2009). Weaning of juvenile seahorses *Hippocampus erectus* Perry, 1810 from live to frozen food. *Aquaculture*, 291(3-4), 224-229. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.03.031
- Lin, Qiang, Zhang, Dong, y Lin, Junda. (2009). 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. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.03.028
- Lourie, Sara. (2003). *Measuring Seahorses*, (4).
- Lourie, Sara A., Foster, Sarah J., Cooper, Ernest W. T., y Vincent, Amanda C. J. (2004). *A guide to the identification of seahorses*. Washington DC: Project Seahorse and TRAFFIC North America.
- Lourie, Sara aa., Foster, Sarah J., Cooper, Ernest W. T., y Vincent, Amanda C. J. (2004). *A Guide to the Identification of Seahorses A Guide to the Identification of Seahorses*. Washington DC: Project Seahorse and TRAFFIC North America.
- Lourie, Sara, Pritchard, Janet C., Casey, Stephen P., Truong, Si Ky, Hall, Heather J., y Vincent, Amanda. (1999). The taxonomy of Vietnam's exploited seahorses (family Syngnathidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 66(2), 231-256. doi:10.1111/j.1095-8312.1999.tb01886.x
- Martínez, Leonardo. (2011). Cultivo de caballo marino *Hippocampus abdominalis*, un caso de estudio. *Revista Fuente*, (6), 42-45.
- Martinez-Cardenas, Leonardo, y Purser, G. John. (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.
doi:10.1016/j.aquaculture.2006.12.045
- McElligott, Melissa B., y O'malley, Donald M. (2005). Prey tracking by larval zebrafish: axial kinematics and visual control. *Brain, behavior and evolution*, 66(3), 177-96.
doi:10.1159/000087158
- Mosk, Virginia Jan. (2004). *The visual system of seahorses and pipefish : A study of visual pigments and other characteristics* . Universty of Western Australia.
- Mosk, Virginia, Thomas, Nicole, Hart, Nathan S., Partridge, Julian C., Beazley, Lyn D., y Shand, Julia. (2007). Spectral sensitivities of the seahorses Hippocampus subelongatus and Hippocampus barbouri and the pipefish Stigmatopora argus. *Visual neuroscience*, 24(3), 345-354. doi:10.1017/S0952523807070320
- Murugan, A., Dhanya, S., Sreepada, 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.
doi:10.1016/j.aquaculture.2009.01.033
- Mussi, Martina, McFarland, William N., y Domenici, Paolo. (2005). Visual cues eliciting the feeding reaction of a planktivorous fish swimming in a current. *The Journal of Experimental Biology*, 208(Pt 5), 831-42. doi:10.1242/jeb.01406
- Olivotto, I., Avella, M. a. A., Sampaolesi, G., Piccinetti, Corr, Navarro Ruiz, P., Carnevali, O., y Ruiz, P.Navarro. (2008). Breeding and rearing the longsnout seahorse Hippocampus reidi: Rearing and feeding studies. *Aquaculture*, 283(1-4), 92-96.
doi:10.1016/j.aquaculture.2008.06.018
- Ospina, Gloria Helena, López, Johann, Sepúlveda, Sofía, y Gómez, Javier. (2011). *CONTRIBUCIÓN A LA BIOLOGÍA Y MANTENIMIENTO DE PECES Marisol Santos-Acevedo* (1ra ed.). Colombia.
- Otero-Ferrer, Francisco, Molina, L., Socorro, J., Herrera, R., Fernández-Palacios, Hipólito, y Soledad Izquierdo, María. (2010). Live prey first feeding regimes for short-snouted seahorse *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1758) juveniles. *Aquaculture Research*, 41(9), e8-e19. doi:10.1111/j.1365-2109.2010.02505.x
- 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. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.05.035
- Palma, J., Bureau, D. P., y Andrade, J. P. (2014). The effect of diet on ontogenic development of the digestive tract in juvenile reared long snout seahorse *Hippocampus guttulatus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 40(3), 739-50. doi:10.1007/s10695-013-9881-8
- Patterson, Bradley W., Abraham, Aliza O., MacIver, Malcolm a, y McLean, David L. (2013). Visually guided gradation of prey capture movements in larval zebrafish. *The Journal of experimental biology*, 216(Pt 16), 3071-83. doi:10.1242/jeb.087742
- Payne, M. .. (2003). Rearing the coral seahorse, *Hippocampus barbouri*, on live and inert prey. En J. C. Cato & L. B. Christopher (Eds.), *Marine Ornamental Species: Collection, Culture & Conservation*. (Vol. 21, pp. 289-296). Iowa, USA.

- Payne, M. ..., y Rippingale, R. .. (2000). Rearing west australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*. *Aquaculture*, 188(3-4), 353-361. doi:10.1016/S0044-8486(00)00349-5
- Planas, A. Chamorro M., Investigaciones, Instituto De, Csic, Marinas, y Cabello, Eduardo. (1994). Diseño de acuarios para mantenimiento y reproducción en cautividad del caballito de mar *Hippocampus guttulatus* Cuvier 1829. *Sesion Tematica: Ingenieria y Nuevas Tecnologias. Paneles*, 1541-1544.
- Qin, Geng, Zhang, Yanhong, Huang, Liangmin, y Lin, Qiang. (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, 337-343. doi:10.1016/j.jembe.2014.09.001
- Ranåker, Lynn, Persson, Jens, Jönsson, Mikael, Nilsson, P. Anders, y Brönmark, Christer. (2014). Piscivore-prey fish interactions: mechanisms behind diurnal patterns in prey selectivity in brown and clear water. *PloS one*, 9(11), e102002. doi:10.1371/journal.pone.0102002
- Reyes, H., Ortega, A. A. (1999). Cultivo del caballito de mar, *Hippocampus ingens* (Pisces: Syngnathidae) en condiciones artificiales. *Revista de biología tropical*, 47(4), 1045-1049.
- Rice, Aaron N., y Westneat, Mark W. (2005). Coordination of feeding, locomotor and visual systems in parrotfishes (Teleostei: Labridae). *The Journal of experimental biology*, 208(Pt 18), 3503-18. doi:10.1242/jeb.01779
- Roos, Gert, Van Wassenbergh, Sam, Aerts, Peter, Herrel, Anthony, y Adriaens, Dominique. (2011). Effects of snout dimensions on the hydrodynamics of suction feeding in juvenile and adult seahorses. *Journal of Theoretical Biology*, 269(1), 307-17. doi:10.1016/j.jtbi.2010.10.023
- Roos, Gert, Van Wassenbergh, Sam, Herrel, Anthony, Adriaens, Dominique, y Aerts, Peter. (2010). Snout allometry in seahorses: insights on optimisation of pivot feeding performance during ontogeny. *The Journal of Experimental Biology*, 213(Pt 13), 2184-93. doi:10.1242/jeb.040972
- Roos, Gert, Van Wassenbergh, Sam, Herrel, Anthony, y Aerts, Peter. (2009). Kinematics of suction feeding in the seahorse *Hippocampus reidi*. *The Journal of Experimental Biology*, 212(Pt 21), 3490-8. doi:10.1242/jeb.033050
- Rosa, Ierecê L., Alves, Rômulo Romeu Nóbrega, Bonifácio, Kallyne M., Mourão, José S., Osório, Frederico M., Oliveira, Tacyana P. R., y Nottingham, Mara C. (2005). Fishers' knowledge and seahorse conservation in Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 1, 12. doi:10.1186/1746-4269-1-12
- Ryer, Clifford H. (1987). Feeding Ecology of the Northern Pipefish, *Syngnathus fuscus*, in a Seagrass Community of the Lower Chesapeake Bay. *Estuaries*, 10(4), 330-336.
- Ryer, Clifford H., y Boehlert, George W. (1983). Feeding chronology, daily ration, and the effects of temperature upon gastric evacuation in the pipefish, *Syngnathus fuscus* 1. *Environmental Biology of Fishes*, 9(3/4), 301-306.
- Saavedra, M., Masdeu, M., Hale, P., Sibbons, C. M., y Holt, William V. (2014). Dietary

- fatty acid enrichment increases egg size and quality of yellow seahorse *Hippocampus kuda*. *Animal Reproduction Science*, 145(1-2), 54-61.
doi:10.1016/j.anireprosci.2013.08.004
- Sales, J. (2003). Nutrient requirements of ornamental fish. *Aquatic Living Resources*, 16(6), 533-540. doi:10.1016/j.aquativ.2003.06.001
- Scharf, Frederick S., Juanes, Francis, y Rountree, Rodney A. (2000). Predator size - prey size relationships of marine fish predators : interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. *Marine Ecology Progress Series*, 208, 229-248.
- Seahorse, Project, y Centre, Fisheries. (2004). Life history and ecology of seahorses : implications for conservation and management, 1-61. doi:10.1111/j.1095-8649.2004.00429.x
- Selman, Kelly, Wallace, Robin a., y Player, Denifield. (1991). Ovary of the seahorse, *Hippocampus erectus*. *Journal of Morphology*, 209(3), 285-304.
doi:10.1002/jmor.1052090305
- Shapawi, Rossita, y Purser, G.John. (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. doi:10.1111/j.1749-7345.2003.tb00093.x
- Sheng, Junqing, Lin, Qiang, Chen, Qingxiang, Shen, Li, y Lu, Junyi. (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. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.05.061
- Shingleton, Alexander W. (2010). Allometry: The Study of Biological Scaling. *Nature education*, 3. Recuperado de:
<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/allometry-the-study-of-biological-scaling-13228439>
- Silveira, Rosana Beatriz, Siccha-ramirez, Raquel, Rodrigo Santos Silva, José, y Oliveira, Claudio. (2014). Morphological and molecular evidence for the occurrence of three *Hippocampus* species (Teleostei: Syngnathidae) in Brazil. *Zootaxa*, 3861(4), 317-332. doi:10.11646/zootaxa.3861.4.2
- Smith, T. M., Hindell, J. S., Jenkins, G. P., Connolly, R., y Keough, M. J. (2011). Fine-scale spatial and temporal variations in diets of the pipefish *Stigmatopora nigra* within seagrass patches. *Journal of Fish Biology*, 78(6), 1824-32. doi:10.1111/j.1095-8649.2011.02977.x
- Sokal, Robert R., y Rohlf, F.James. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York (Vol. 3).
doi:papers2://publication/uuid/C017367B-5583-4EC4-BA2F-27E086259D21
- Souza-Santos, Lília P., Regis, Cintia G., Mélo, Roberta C. S. S., y Cavalli, Ronaldo O. (2013). Prey selection of juvenile seahorse *Hippocampus reidi*. *Aquaculture*, 404-405, 35-40. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.04.017
- Storero, Lorena P., y Gonzalez, Raul. (2009). Prey selectivity and trophic behavior of the

- patagonian seahorse, *Hippocampus patagonicus*, in captivity. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40(3), 394-401.
- Teixeira, R. L., y Musick, J. A. (1995). Trophic ecology of two congeneric pipefishes (Syngnathidae) of the lower. *Environmental Biology of Fishes*, 43(Dawson 1982), 295-309.
- Teixeira, R. L., y Musick, J. A. (2001). Reproduction and food habits of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Teleostei: Syngnathidae) of Chesapeake Bay, Virginia. *Revista Brasileira de Biologia*, 61(1), 79-90. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11340465>
- Thuong, Tam D., y Hoang, Tung. (2015). Rearing the spotted seahorse *Hippocampus kuda* by feeding live and frozen copepods collected from shrimp ponds. *Aquaculture Research*, 46(6), 1356–1362. doi:10.1111/are.12289
- Tipton, Kevin, y Bell, Susan S. (1988). Foraging patterns of two syngnathid fishes: importance of harpacticoid copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 47(Strawn 1958), 31-43.
- Underwood, Dan. (s. f.). *A Scalable Method of Raising Hippocampus erectus*.
- Utne-Palm, Anne Chr. (1999). The effect of prey mobility , prey contrast , turbidity and spectral composition on the reaction distance of *Gobiusculus flavescens* to its planktonic prey. *Journal of Fish Biology*, 54(1244), 1244-1258.
- Utne-Palm, Anne Chr, y Stiansen, Jan E. (2002). Effect of larval ontogeny, turbulence and light on prey attack rate and swimming activity in herring larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 268(2), 147-170. doi:10.1016/S0022-0981(01)00383-5
- Van Wassenbergh, Sam, Dries, Billy, y Herrel, Anthony. (2014). New Insights into Muscle Function during Pivot Feeding in Seahorses. *PloS one*, 9(10), e109068. doi:10.1371/journal.pone.0109068
- Van Wassenbergh, Sam, Leysen, Heleen, Adriaens, Dominique, Aerts, Peter, y Wassenbergh, Sam Van. (2013). Mechanics of snout expansion in suction-feeding seahorses: musculoskeletal force transmission. *The Journal of Experimental Biology*, 216(Pt 3), 407-17. doi:10.1242/jeb.074658
- Van Wassenbergh, Sam, Roos, Gert, y Aerts, Peter. (2009). Pivot feeding performance in pipefish and seahorses analysed by forward dynamic modelling. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 153(2), S125-S126. doi:10.1016/j.cbpa.2009.04.211
- Van Wassenbergh, Sam, Roos, Gert, Aerts, Peter, Herrel, Anthony, y Adriaens, Dominique. (2011). Why the long face? A comparative study of feeding kinematics of two pipefishes with different snout lengths. *Journal of Fish Biology*, 78(6), 1786-98. doi:10.1111/j.1095-8649.2011.02991.x
- Van Wassenbergh, Sam, Roos, Gert, y Ferry, Lara. (2011). An adaptive explanation for the horse-like shape of seahorses. *Nature*, 2(1), 164. doi:10.1038/ncomms1168
- Van Wassenbergh, Sam, Roos, Gert, Genbrugge, Annelies, Leysen, Heleen, Aerts, Peter, Adriaens, Dominique, y Herrel, Anthony. (2009a). Suction is kid's play: extremely

- fast suction in newborn seahorses. *Biology letters*, 5(2), 200-3.
doi:10.1098/rsbl.2008.0765
- Van Wassenbergh, Sam, Roos, Gert, Genbrugge, Annelies, Leysen, Heleen, Aerts, Peter, y Herrel, Anthony. (2009b). Suction is kid ' s play : extremely fast suction in newborn seahorses Subject collections Suction is kid ' s play : extremely fast suction in newborn seahorses. *Biology Letters*, (2009), 5. doi:10.1098/rsbl.2008.0765
- Van Wassenbergh, Sam, Strother, James a, Flammang, Brooke E., Ferry-Graham, Lara a, y Aerts, Peter. (2008). Extremely fast prey capture in pipefish is powered by elastic recoil. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 5(20), 285-96. doi:10.1098/rsif.2007.1124
- Vargas, Arturo. (2014). *Optimización del Tamaño y Densidad de Anfípodos para la Alimentación de Caballitos de Mar Jóvenes Hippocampus erectus*.
- Vincent, Amanda C.J., Clifton-Hanley, R, S. (1989). Parasitic Infection of the Seahorse (*Hippocampus erectus*)- A Case Report. *Journal of Wildlife Diseases*, 25(3), 404-406.
- Vincent, Amanda, Sadovy de Mitcheson, Yvonne J., Fowler, Sarah L., y Lieberman, Susan. (2013). The role of CITES in the conservation of marine fishes subject to international trade. *Fish and Fisheries*, n/a-n/a. doi:10.1111/faf.12035
- Vite-García, Nicolás, Arjona, Olivia, Morales-Bojorquez, Enrique, Mascaro, Maite, Simoes, Nuno, y Palacios, Elena. (2014). Assessment of lipid classes and fatty acid levels in wild newborn seahorses (*Hippocampus erectus*) (Perry 1810): implications for survival and growth in aquarium culture. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 47(6), 401-413. doi:10.1080/10236244.2014.959368
- Vite-Garcia, Nicolás, Simoes, Nuno, y Arjona, Olivia. (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. doi:103856/vol42-issue1-fulltext-12
- Vizzini, S., y Mazzola, A. (2004). The Trophic Structure of the Pipefish Community (Pisces Syngnathidae) from a Western Mediterranean Seagrass Meadow Based on Stable Isotope Analysis. *Estuaries*, 27(2), 325-333.
- Wassenbergh, Sam Van, Roos, Gert, Genbrugge, Annelies, Leysen, Heleen, Aerts, Peter, y Herrel, Anthony. (2009). Suction is kid ' s play : extremely fast suction in newborn seahorses Subject collections Suction is kid ' s play : extremely fast suction in newborn seahorses. *Biology Letters*, (2009), 5. doi:10.1098/rsbl.2008.0765
- Werner, Earl E. (1974). The Fish Size , Prey Size , Hanilling Time Relation in Several Sunfishes and Some Implicationsl. *Journal of Fisheries*, 31, 1531-1536.
- Werner, Earl E., y Hall, Donald J. (2014). Optimal Foraging and the Size Selection of Prey by the Bluegill Sunfish (*Lepomis macrochirus*. *Ecology*, 55(5), 1042-1052.
- Willadino, Luciano, Souza-Santos, Lília P., Mélo, Roberta C. S. S., Paula, Ana, Barros, Nancilda C. S. S., Araújo-Castro, Cristiane M. V., ... Brito, Ana Paula. (2012). Ingestion rate, survival and growth of newly released seahorse *Hippocampus reidi* fed exclusively on cultured live food items. *Aquaculture*, 360-361, 10-16. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.06.025

- Wong, J. M., y Benzie, J. a. H. (2003). The effects of temperature, Artemia enrichment, stocking density and light on the growth of juvenile seahorses, *Hippocampus whitei* (Bleeker, 1855), from Australia. *Aquaculture*, 228(1-4), 107-121. doi:10.1016/S0044-8486(03)00320-X
- Woodall, Lucy, Koldewey, Heather, Santos, S. V, y Shaw, P. W. (2009). First occurrence of the lined seahorse *Hippocampus erectus* in the eastern Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 75(6), 1505-12. doi:10.1111/j.1095-8649.2009.02371.x
- Woods, Chris. (2002). Natural diet of the seahorse *Hippocampus abdominalis*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 36(3), 655-660. doi:10.1080/00288330.2002.9517121
- Woods, Chris. (2003). Growth and survival of juvenile seahorse *Hippocampus abdominalis* reared on live, frozen and artificial foods. *Aquaculture*, 220(1-4), 167-176. doi:10.1016/S0044-8486(02)00202-8
- Woods, Chris. (2005). Growth of cultured seahorses (*Hippocampus abdominalis*) in relation to feed ration. *Aquaculture*, 13(4), 305-314. doi:10.1007/s10499-004-3100-7
- Woods, Chris, y Valentino, Fiamma. (2003). Frozen mysids as an alternative to live Artemia in culturing seahorses *Hippocampus abdominalis*. *Aquaculture Research*, 34(9), 757-763. doi:10.1046/j.1365-2109.2003.00882.x
- Xu, Yongjian, Lin, Junda, y Chen, Shun. (2010). Polyculture of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* Perry, 1810 with two species of macroalgae in aquaria. *Acta Oceanologica Sinica*, 29(1), 26-32. doi:10.1007/s13131-010-0004-4
- Zhang, Dong, Yin, Fei, y Lin, Junda. (2011). Criteria for assessing juvenile quality of the lined seahorse, *Hippocampus erectus*. *Aquaculture*, 322-323, 255-258. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.10.008
- Zhang, Dong, Zhang, Yinghui, Lin, Junda, y Lin, Qiang. (2010). Growth and survival of juvenile lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Perry), at different stocking densities. *Aquaculture Research*, 42(1), 9-13. doi:10.1111/j.1365-2109.2010.02482.x

Tabla 4. Trabajos de *H. erectus*. Bibliografía revisada de la especie *H. erectus* la etapa con la que se trabajó y el tema que trata, son 5 los trabajos que hablan sobre morfología y su relación con la alimentación

Tema	Etapa	Autor
Reproducción	Adultos	(P. A. Anderson, 2012)
Fisiología	Adulto	(P. a. Anderson y Mann, 2011)
Pesca	Adultos	(Baum, Meeuwig, y Vincent, 2003)
Morfología	Adultos	(Bergert y Wainwright, 1997)
Morfología	Juveniles	(Choo y Liew, 2006)
Acuicultura	Adultos	(Colson, Patek, Brainerd, y Lewis, 1998)
Morfología	Adultos	(Consi, Seifert, Triantafyllou, y Edelman, 2001)
Pesca	Adultos	(Dias, Thelma L, Rosa, I, Baum, Julia, 2002)
Acuicultura	Adultos	(Gardner, 2003)
Acuicultura	Adultos	(Gonzalez-Hernandez., 2003)
Acuicultura	Juveniles	(Lin et al., 2008)
Fisiología	Juveniles	(Lin, Lin, y Huang, 2009)
Acuicultura	Adultos	(Lin, Zhang, y Lin, 2009)
Acuicultura	Juveniles	(Lin, Zhang, et al., 2009)
Morfología	Adultos	(V. J. Mosk, 2004)
Morfología	Adultos	(Mussi, McFarland, y Domenici, 2005)
Comportamiento	Adultos	(Qin et al., 2014)
Morfología	Juveniles	(Roos et al., 2010)
Distribución	Adultos	(Silveira, et al., 2014)

Reproducción	Adultos	(Selman, Wallace, y Player, 1991)
Acuicultura	Adultos	(Tei -eira y Musick, 2001)
Enfermedades	Adultos	(Underwood, s. f.)
Acuicultura	Adultos	(Vincent, Amanda C.J., Clifton-Hanley, R, 1989)
Acuicultura	Crías	(Vite-García et al., 2014)
Acuicultura	Juveniles	(Vite-Garcia, Simoes, y Arjona, 2014)
Enfermedades	Adultos	(Willens et al., 2004)
Distribución	Adultos	(Woodall et al., 2009)
Acuicultura	Adultos	(Xu, Lin, y Chen, 2010)
Acuicultura	Adultos	(Zhang, Zhang, Lin, y Lin, 2010)
Acuicultura	Juveniles	(Zhang et al., 2011)

Tabla 5. Visión en peces. Bibliografía acerca del desarrollo ontogénico y capacidades de la visión en la clase Actinopterygii.

Taxonomía	Tema	Etapas	Detección de presa	Autor
Actinopterygii (<i>P., Solea</i>)	Comportamiento	Adultos	-	(Batty y Hoyt, 1995)
Actinopterygii (<i>D. rerio</i>)	Comportamiento	Larvas	0.5-3.5 mm	(Bianco, Kampff, y Engert, 2011)
Actinopterygii (<i>Clupea</i>)	Comportamiento	Larvas	-	(Blatter, 1968)
Actinopterygii (<i>D. rerio</i>)	Comportamiento	Larvas	-	(Burgess y Granato, 2007)
<i>H. kuda</i>	Morfología	Juveniles	-	(Choo y Liew, 2006)
Actinopterygii (<i>L. lineata</i>)	Comportamiento	Larvas	< el largo del cuerpo	(Cobcroft et al., 2001)
Actinopterygii (<i>R. tapirina</i>)	Comportamiento	Larvas	-	(Cooper y Pankhurst, 2000)
<i>H. reidi</i>	Comportamiento	Adulto	-	(Felicio et al., 2006)
Actinopterygii (<i>D. rerio</i>)	Fisiología	Larvas	-	(Gahtan, Tanger, y Baier, 2005)
Actinopterygii (<i>M. mola</i>)	Fisiología	Adultos	-	(Hairston et al., 1982)
Actinopterygii (<i>Chromis, Mullet</i>)	Comportamiento	Juveniles	-	(Hemmings, 1966)
Actinopterygii (<i>D. rerio</i>)	Comportamiento	Larvas	1.42 mm	(McElligott y O'malley, 2005)
Syngnathidae	Morfología	Adulto	-	(V. J. Mosk, 2004)
<i>H. barbouri</i> y <i>subelongatus</i>	Fisiología	Adulto	-	(V. Mosk et al., 2007)
<i>C. aggregata</i>	Comportamiento	Adulto	1-11 cm	(Mussi et al., 2005)
Actinopterygii (<i>D. rerio</i>)	Comportamiento	Larvas	0.27-1.09 mm	(Patterson, et al., 2013)
Actinopterygii (<i>S. lucioperca</i>)	Comportamiento	Adulto	0.5-2 m	(Ranåker, et al., 2014)
Actinopterygii (<i>S. radians, S. quoyi</i>)	Comportamiento	Adulto	0.091 a 0.113 cm	(Rice y Westneat, 2005)
<i>H. reidi</i>	Morfología	Juveniles	-	(Roos et al., 2010)
Actinopterygii (<i>G. flavescens</i>)	Comportamiento	Adultos	2-15 cm	(Utne-Palm, 1999)
Actinopterygii (<i>C. harengus</i>)	Comportamiento	Larvas	0-80 sec	(Utne-Palm y Stiansen, 2002)

<i>L. macrochirus</i>	Comportamiento	Adulto	-	(Werner y Hall, 2014)
-----------------------	----------------	--------	---	-----------------------

Tabla 6. Alimentación y distancias de ataque. Bibliografía relacionada con alimentación de la familia Sygnathidae. Dieta=tipo y cantidad de alimento que consumen, Comportamiento= se refiere a información sobre conducta alimenticia y Morfología= describen forma y función de estructuras de succión y su mecánica. Se incluyen dos trabajos que presentan resultados de distancia de ataque a las presas de especies de otras familias.

Taxonomía	Tema	Etapas	Distancia ataque (mm)	Autor
<i>H. kuda</i>	Dieta	Juveniles	-	(Celino, Hilomen, y del Norte, 2012)
<i>H. sp</i>	Dieta	Juveniles	-	(Chang y Southgate, 2001)
<i>S. aurata</i>	Comportamiento	Larvas	0.1-0.5	(China y Holzman, 2014)
<i>H. reidi</i>	Comportamiento	Adulto	-	(Felicio et al., 2006)
<i>H. barbouri</i>	Dieta	Adulto	-	(Garcia, et al., 2012)
<i>H. erectus</i>	Dieta	Larvas	-	(Gardner, 2003)
<i>Syngnathidae</i>	Dieta	Adulto	-	(Kendrick y Hyndes, 2005)
<i>H. guttulatus</i>	Dieta	Adulto	-	(Kitsos, Tzomos, Anagnostopoulou, y Koukouras, 2008)
<i>Syngnathidae</i>	Morfología	Crías	-	(Leysen, Roos, et al., 2011)
<i>H. kuda</i>	Dieta	Embrión	-	(Lin et al., 2007)
<i>H. erectus</i>	Dieta	Adulto/Larvas	-	(Lin, Zhang, et al., 2009)
<i>H. erectus</i>	Dieta	Adulto	-	(Lin, Lin, y Wang, 2009)
<i>H. abdominalis</i>	Comportamiento	Adulto	-	(Martinez-Cardenas y Purser, 2007)
<i>H. trimaculatus</i>	Dieta	Juveniles	-	(Murugan, et al., 2009)
<i>H. reidi</i>	Dieta	Juveniles	-	(Olivotto et al., 2008)
<i>H. hippocampus</i>	Dieta	Adulto	-	(Otero-Ferrer et al., 2010)
<i>H. guttulatus</i>	Dieta	Juveniles	-	(Palma, Bureau, y Andrade, 2011)
<i>H. guttulatus</i>	Dieta	Juveniles	-	(Palma, Bureau, y Andrade, 2014)

<i>H. subelongatus</i>	Dieta	Juveniles	-	(Payne, 2003)
<i>H. barbouri</i>	Dieta	Juveniles	-	(Payne y Rippingale, 2000)
<i>H. guttulatus</i>	Dieta	Adulto	-	(Planas, Investigaciones, Csic, y Cabello, 1994)
<i>Peces</i>	Dieta	Adulto	-	(Rainuzzo, Jose, 1997)
<i>Syngnathidae</i>	Morfología	Juveniles	-	(Roos et al., 2011)
<i>H. reidi</i>	Morfología	Adulto	7.6	(Roos et al., 2009)
<i>H. reidi</i>	Morfología	Crías-Adulto	-	(Roos et al., 2010)
<i>S. fuscus</i>	Dieta	Adulto	-	(Ryer y Boehlert, 1983)
<i>S. fuscus</i>	Dieta	Adulto	-	(Ryer, 1987)
<i>H. kuda</i>	Dieta	Embrión	-	(Saavedra, Masdeu, Hale, Sibbons, y Holt, 2014)
<i>Peces</i>	Dieta	Adulto	-	(Sales, 2003)
<i>Peces</i>	Dieta	Adulto	-	(Sargent, 1995)
<i>H. abdominalis</i>	Dieta	Juveniles	-	(Shapawi y Purser, 2003)
<i>H. trimaculatus</i>	Comportamiento	Juveniles	-	(Sheng, Lin, Chen, Shen, y Lu, 2007)
<i>S. nigra</i>	Dieta	Adulto	-	(Smith, Hindell, Jenkins, Connolly, y Keough, 2011)
<i>H. reidi</i>	Comportamiento	Juveniles	-	(Souza-Santos, Regis, Mélo, y Cavalli, 2013)
<i>H. patagonicus</i>	Dieta	Adultos	-	(Storero y Gonzalez, 2009)
<i>Syngnathidae</i>	Comportamiento	Adulto	-	(Tei -eira, R L & Musick, 1995)
<i>H. erectus</i>	Dieta	Adulto	-	(Tei -eira y Musick, 2001)
<i>H. kuda</i>	Dieta	Adulto	-	(Thuong y Hoang, 2015)
<i>H. zosteræ</i>	Dieta	Adultos	-	(Tipton y Bell, 1988)
<i>H. reidi</i>	Comportamiento	Crías	-	(Van Wassenbergh, Roos, y Aerts, 2009)
<i>H. reidi</i>	Morfología	Juveniles	-	(Van Wassenbergh, Roos, Genbrugge, et al., 2009b)
<i>H. reidi</i>	Morfología	Juveniles	-	(Van Wassenbergh et al., 2013)
<i>H. reidi y kuda</i>	Morfología	Adultos	-	(Van Wassenbergh et al., 2014)
<i>Syngnathidae</i>	Evolución	Adultos	-	(Van Wassenbergh, Roos, y Ferry, 2011)

<i>H. reidi</i>	Morfología	Adultos	-	(Van Wassenbergh, Roos, Aerts, Herrel, y Adriaens, 2011)
<i>D.melanopleura</i>	Morfología	Adultos	-	(Van Wassenbergh et al., 2008)
<i>H. erectus</i>	Dieta	Larvas	-	(Vite-García et al., 2014)
<i>H. erectus</i>	Dieta	Juveniles	-	(Vite-Garcia et al., 2014)
<i>Syngnathidae</i>	Comportamiento	Adultos	-	(Vizzini y Mazzola, 2004)
<i>L. macrochirus</i>	Comportamiento	Adultos	-	(Werner y Hall, 2014)
<i>L. machochirus</i>	Comportamiento	Juveniles	-	(Werner, 1974)
<i>H. reidi</i>	Dieta	Larvas	-	(Willadino et al., 2012)
<i>H. whitei</i>	Dieta	Juveniles	-	(Wong y Benzie, 2003)
<i>H. abdominalis</i>	Dieta	Adultos	-	(Woods y Valentino, 2003)
<i>H. abdominalis</i>	Dieta	Juveniles	-	(Woods, 2003)
<i>H. abdominalis</i>	Dieta	Juveniles	-	(Woods, 2005)
<i>H. abdominalis</i>	Dieta	Adultos	-	(Woods, 2002)
<i>C. analis</i>	Comportamiento	Juveniles	4.16	(Cook, 1996)
<i>D. rerio</i>	Comportamiento	Cría-adulto	0.5-2	(Westphal, 2011)