

**UNIVERSIDAD LAS PALMAS DE GRAN CANARIA**



**TESINA DE MASTER**

Estudio del comportamiento de fijación en cautividad de juveniles de *Hippocampus erectus* (Perry 1980) durante las fases tempranas de desarrollo.

Ana María López Hidalgo

Las Palmas de Gran Canaria, 2014

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE FIJACIÓN EN CAUTIVIDAD DE  
JUVENILES DE HIPPOCAMPUS ERECTUS (PERRY 1980) DURANTE LAS  
FASES TEMPRANAS DE DESARROLLO.

Trabajo realizado en la Unidad de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), bajo la dirección del Dr. Francisco Otero Ferrer, del Dr. Fernando Nuno Dias Marques Simoes y de la Dra. Maite Mascaró Miquelajáuregui

Y presentando como requisito parcial para la obtención del Título de Máster Universitario Internacional en Cultivos Marinos, otorgado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), el Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM) y el Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos del Mediterráneo de Zaragoza (CIHEAM).

Director	Director	Director
Dr. Francisco Otero Ferrer	Dr. Fernando Nuno Dias Marques Simoes	Dra. Maite Mascaró Miquelajáuregui

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:

Autora

Ana María López Hidalgo

Fdo.:

## Agradecimientos

En primero lugar quiero dar mi más sincero agradecimiento a mis directores de tesina.

Por un lado a Nuno Simoes, no solo darle mi agradecimiento como investigador y como tutor de este trabajo, sino también por ser la persona que nos abrió las puertas de su casa para que Giulia y yo pudiéramos hacer realidad este sueño de cruzar el charco y conocer este maravilloso país. A Maite por su eterna paciencia y su cariño tan necesario cuando uno está tan lejos de casa y por último pero no menos importante a Fran cuyo aliento final ha sido crucial para poder terminar este trabajo.

Mis agradecimientos de todo corazón a Dani Montero, a Marisol Izquierdo y a Carmen Hernández, no solo como personal docente y directivo del Máster sino también por sus sabios consejos. Me hicieron mucha falta.

A todos y cada uno de mis compañeros de Máster. No tengo palabras para agradecer el apoyo tan grande que me dieron. De veras, ¡gracias!

A todos mis compañeros del iglú, por tan excelente convivencia: Arturo, Yasmín, Goyo, Humberto.

Se agradece el apoyo de los técnicos académicos: M.C. Gemma Leticia Martínez Moreno (Área Experimental de Ecología y Conducta y apoyo en el mantenimiento de organismos experimentales y sistemas de cultivo), M.C. Alfredo Gallardo Torres (salidas a campo y apoyo en la captura de reproductores de caballitos de mar, a partir de los cuales se obtuvieron las crías para la realización de sus experimentos), M.C. Iveth Gabriela Palomino Albarrán (responsable del Area de Alimento Vivo) y a la Tec. Aux. Patricia Margarita Balam Uc. (suministro diario de alimento, *Artemia spp*, para los organismos experimentales)

A mi familia en México: Gemma, no solo por su apoyo en el iglú tan sumamente necesario, sino sobre todo fuera de él. Natalia y Nacho, Sisal habría sido diferente sin vosotros. Cristian, definitivamente si fuiste un ángel caído del cielo...

A mi Giulia, lo sabes todo amiga... eres mi ángel de la guarda.

A mi madre, porque gracias a ella soy lo que soy y sin ella no habría conseguido ninguno de mis objetivos.

## Índice

### Agradecimientos 3

#### 1. Resumen 11

#### 2. Introducción 13

- 2.1. *El género Hippocampus: los caballitos de mar* 13
- 2.2. *Los caballitos de mar y su conservación* 15
- 2.3. *Los caballitos de mar y el comercio de las especies ornamentales* 17
- 2.4. *El cultivo del caballito de mar* 18
- 2.5. *Especie objetivo del estudio: Hippocampus erectus* 22

#### 3. Objetivos 24

#### 4. Materiales y métodos 25

- 4.1. *Descripción de las instalaciones.* 25
- 4.2. *Origen y mantenimiento de los animales* 29

##### 5.1.1. **Reproductores** 29

##### 5.1.2. **Juveniles** 31

- 4.3. *Diseño experimental* 33

- 5.1.3. *Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Crítica* 36
- 5.1.4. *Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia* 37
- 5.1.5. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica* 37
- 5.1.6. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia* 37
- 5.1.7. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica* 37
- 5.1.8. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer durante la Fase Intermedia* 38

- 4.4. *Variables y análisis estadísticos* 38

#### 5. Resultados: 42

- 5.1. *Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Crítica* 42
- 5.2. *Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia* 46
- 5.3. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica* 49

5.4. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia 54*

5.5. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica 57*

5.6. *Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Intermedia 60*

**6. Discusión 63**

**7. Conclusiones 68**

**8. Bibliografía 70**

## Lista de figuras

Figura 1: Clasificación científica del caballito de mar. Ilustración de Peces y ríos de Roberto Lotina y Mario Hormaechea .....	13
Figura 2: Morfología del caballito de mar macho (modificado de Lourie, Foster y Vincent, 2004) .....	14
Figura 3: Supervivencia observada en los primeros 40 días de vida en distintas especies de caballitos de mar cultivadas bajo diferentes tratamientos de cultivo y alimentación. Información tomada de (Payne et al., 2000; Woods, 2000a; Dzyuba et al., 2006; Martinez-Cardenas et al., 2011; Willadino et al., 2012a).....	21
Figura 4: Esquema de las instalaciones generales de bombeo y aireación (Modicado de GemmaMartinez) .....	26
Figura 5: Estanques generales donde se almacena, decanta y airea el agua procedente de los estanques ..	27
Figura 6: Tanques reservorios de 10.000 l cada uno donde se almacena el agua bombeada desde el mar	27
Figura 7: Tanques reservorios de 750L localizado enel área experimental con la Luz UV .....	28
Figura 8: Tanques reservorios con biobolas y roca viva de 150L .....	28
Figura 9: Progenitor de los juveniles usados en el presente estudio .....	31
Figura 10: Juveniles recién nacidos junto con el reproductor.....	33
Figura 11: Esquema general del diseño experimental. Dos estudios principales llevados de forma simultánea en el tiempo y teniendo en cuenta los tratamientos de densidad de cultivo. ....	34
Figura 12: Distribución y detalles del material utilizado en el experimento preliminar .....	34
Figura 13: Diseño de los tanques de experimentación. En la figura se aprecia la división de cada uno con placas de PVC y la envoltura con vinilo blanco .....	35
Figura 14: Detalle de las estructuras de agarre usadas en los tanques con densidad de cultivo baja.....	36

Figura 15: Ejemplos de las variables registradas. Las imágenes A y B corresponden con la Variable 1 (número de individuos sueltos en la columna de agua, de forma individual o en grupo). Las imágenes C y D corresponden con la Variable 2 (número de individuos agarrados a la estructura, de forma individual o en grupo) ..... 39

Figura 16: Distribución y detalles del material utilizado en el experimento definitivo ..... 40

Figura 17: Hipótesis planteadas para el análisis parcial de los datos registrados ..... 41

Figura 18: Detalle del comportamiento de los juveniles aletargados ..... 43

Figura 19: Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Crítica en los diferentes momentos del día (mañana, mediodía, tarde y noche). A: en tanques con tratamientos de baja densidad de cultivo. B: en tanques con tratamientos de alta densidad de cultivo. C: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo..... 44

Figura 20. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia en los diferentes momentos del día (mañana, mediodía, tarde y noche). D: en tanques con tratamientos de baja densidad de cultivo. E: en tanques con tratamientos de alta densidad de cultivo. F: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo. .... 47

Figura 21. Detalle de cómo los animales se soltaban de las estructuras cuando se les introducía el alimento en el medio ..... 50

Figura 22: Juvenil de *Hippocampus erectus* suelto en la columna de agua..... 50

Figura 23: Juveniles de *Hippocampus erectus* sueltos en la columna de agua pero agarrados entre ellos, formando grupos. .... 51

Figura 24. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Crítica, en el amanecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). G: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. H: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. I: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo..... 52

Figura 25. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia, en el amanecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). J: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. K: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. L: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo ..... 55



Figura 26: Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Crítica, en el atardecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). M: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. N: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. O: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo..... 58

Figura 27. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia, en el atardecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). P: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. Q: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. R: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo ..... 61

Figura 27: Animales garrados a la estructura, comportamiento que presentaban la mayor parte del tiempo ..... 64

## Lista de tablas

Tabla 1: Frecuencias observadas para los diferentes momentos del día durante la Fase Crítica .....	45
Tabla 2: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas durante la Fase Crítica en los diferentes momentos del día ( $\alpha=0.05$ ).....	45
Tabla 3: Frecuencias observadas para los diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia.....	48
Tabla 4: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas durante la Fase Intermedia en los diferentes momentos del día ( $\alpha=0.05$ ).....	48
Tabla 5: Frecuencias observadas para los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica .....	53
Tabla 6: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica ( $\alpha=0.05$ ) .....	53
Tabla7: Frecuencias observadas para los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia.....	56
Tabla 8: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia ( $\alpha=0.05$ ) .....	56
Tabla 9:Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica ( $\alpha=0.05$ ) .....	59
Tabla 10 : Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica ( $\alpha=0.05$ ) .....	59
Tabla 11: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Intermedia ( $\alpha=0.05$ ) .....	62
Tabla 12: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Intermedia ( $\alpha=0.05$ ) .....	62

## 1. Resumen

La degradación de los hábitats así como la pesca no selectiva de arrastre ha generado que todas las especies de caballitos de mar se encuentren en una situación crítica. Todas ellas han sido incluidas en la Lista Roja de las Especies Amenazadas de la Unión internacional por la Conservación de la Naturaleza y en el Apéndice II del Convenio para el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora. Además los caballitos de mar forman parte del comercio de especies ornamentales marinas y también son ingrediente de la Medicina Tradicional China lo que aumenta su vulnerabilidad como especie en el medio natural.

Por lo tanto la acuicultura de los caballitos de mar se presenta como una solución a la gran demanda existente, además de limitar su captura en el medio natural y disminuir la sobreexplotación.

Se ha llevado a cabo el cultivo de diferentes especies de caballito de mar observándose que la mayoría de ellas tienen algo en común: altas tasas de mortalidad durante los primeros días de vida. Por lo que se plantea como necesidad urgente averiguar qué está pasando en estos momentos de la vida de los caballitos de mar.

En un trabajo anterior al que aquí se presenta se observó que los caballitos de mar de la especie *Hippocampus erectus*, tenían cierto comportamiento de fijación (entre ellos a estructura) pocos días después de haber nacido. ¿Estaría este comportamiento estar afectando a la supervivencia y estar condicionado por algún factor tal como el momento del día o la alimentación?

En el presente trabajo se realizaron observaciones para tratar de cuantificar su comportamiento de fijación registrando el número de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructuras en diferentes momentos del día (mañana, mediodía, tarde y noche), en diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después de ser alimentados) y en dos etapas tempranas de su desarrollo (Etapa Crítica y Etapa Intermedia). Además se tuvo en cuenta dos densidades de cultivo diferentes (10 individuos por litro y 20 individuos por litro).

Se pudo observar que los juveniles de caballitos de mar de *H. erectus* adquieren capacidad de fijación tras 24 horas desde el nacimiento y altas tasas de supervivencia al cabo de 25 horas de experimento.

La proporción de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura varió en función del momento del día en el que se encontraban siendo mayor el número de individuos sueltos en la columna de agua al mediodía. Además la cantidad de animales sueltos en la columna de agua en los diferentes momentos del día aumenta en la Etapa Intermedia con respecto a la Etapa Crítica.

La proporción de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura estuvo influenciada por la alimentación durante la mañana y tarde en ambos tratamientos de densidad de cultivo y durante las dos etapas de desarrollo estudiadas. Los animales en el momento después de la alimentación durante la tarde comenzaban a tener un comportamiento similar al observado en el amanecer, antes de ser alimentados, es decir, el momento del día fue lo que determinó el comportamiento de fijación por encima de la abundancia de alimento o la densidad de cultivo.

## 2. Introducción

### 2.1. El género *Hippocampus*: los caballitos de mar

Los caballitos de mar pertenecen a la familia *Syngnathidae* (Fig. 1) junto con los peces pipa y los dragones de mar. Todas las especies se engloban dentro del género *Hippocampus*. Hay alrededor de 48 especies reconocidas (Vincent *et al.*, 2011) todas ellas de aguas marinas, aunque algunas especies se han encontrado en aguas salobres, como son los estuarios o lagunas costeras (Alexandre, 2009; Jiménez-García, 2012).

Su rango de distribución va desde aguas costeras templadas a tropicales (Lourie *et al.*, 2004). Sus hábitats incluyen arrecifes de coral, manglares y praderas submarinas (Vincent, 1994a; 1994b; Vincent, 1995), es decir ambientes donde exista disponibilidad de agarre. También se han encontrado caballitos de mar usando como sustrato estructuras artificiales, de origen antropogénico (Curtis *et al.*, 2004; Lourie *et al.*, 2004). Tienen cierta fidelidad al hábitat al menos dentro de cada ciclo reproductivo lo que los hace vulnerables a su degradación (Lourie *et al.*, 2004)



Figura 1: Clasificación científica del caballito de mar. Ilustración de Peces y ríos de Roberto Lotina y Mario Hormaechea

En cuanto a su morfología se ha de mencionar que los caballitos de mar se caracterizan principalmente por tener la cabeza posicionada en ángulo recto con respecto al cuerpo, un tronco curvado y una cola prensil. Existe un dimorfismo sexual a nivel morfológico en el que los machos poseen una bolsa o marsupio en la base del tronco (Fig. 2). La funcionalidad de dicha bolsa es la de portar los embriones durante la gestación, siendo la cola prensil de los machos de mayor longitud para poder soportar el aumento del tamaño de la bolsa incubadora durante la gestación de las crías (Vincent, 1994a; Lourie *et al.*, 2004). Es un pez sin escamas que posee placas óseas recubiertas por una fina capa de piel (Lourie *et al.*, 2004; Woods, 2005c) de la que en algunas especies sobresalen filamentos que con ayuda de cambios en la coloración los ayuda a camuflarse (Foster y Vincent, 2004; Lourie *et al.*, 2004; Curtis y Vincent, 2006). En algunas especies estos filamentos pueden aparecer en edades tempranas y luego desaparecer cuando el animal es adulto como en el caso del *H. erectus* (Com. Pers. G. Martínez) o del *H. hippocampus* (Otero Ferrer, 2012).

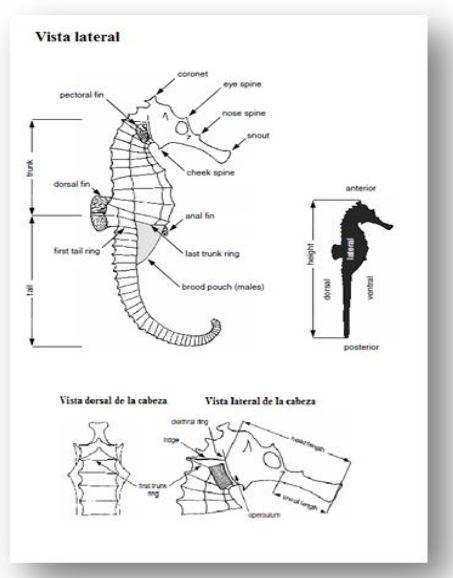


Figura 2: Morfología del caballito de mar macho (modificado de Lourie, Foster y Vincent, 2004)

En referencia a la alimentación, el tamaño de la boca determina el tipo de presa. Así por ejemplo los copépodos parecen ser la base de la alimentación en el medio natural de los caballitos de mar recién nacidos y en adultos los anfípodos. Se han encontrado en el tubo digestivo de estos animales anfípodos de las especies *Ampithoe longimana*, *Gammarus mucronatus* y *Caprella penantis*(Teixeira y Musik, 2001).

La gran mayoría de los juveniles de caballitos de mar al nacer pasan por una etapa o fase de carácter planctónico con una duración mínima de dos semanas (Foster *et al.*, 2004; Otero-Ferrer *et al.*, 2010a). Aunque algunas otras especies parece que tienen una conducta distinta y que falta por definir.

Muchas de la especies de caballitos de mar son monógamos al menos dentro de cada ciclo reproductivo (Kvarnemo *et al.*, 2000; Foster *et al.*, 2004; Koldewey y Martin-Smith, 2010). El macho recibe los huevos de una sola hembra. Muchas especies refuerzan esta unión a través de saludos diarios que continúan hasta después de que el macho da a luz (Vincent, 1995; Lourie *et al.*, 2004)

## 2.2. Los caballitos de mar y su conservación

La biología de los caballitos de mar contribuye a que estos animales sean vulnerables a la sobreexplotación. Así por ejemplo la perpetuación de la especie depende de la supervivencia del progenitor preñado, la monogamia estricta de algunas especies facilita la disrupción de la estructura social y sus limitadas capacidades natatorias dificulta el encuentro o reemplazo de parejas (Foster *et al.*, 2004; Martin-Smith y Vincent, 2005; Curtis *et al.*, 2006; Vincent, 1996).

La pesca no selectiva mediante arrastre supone un problema para esta especie ya que además de su captura produce la regresión de los hábitats donde vive. Muchos caballitos

de mar son especialmente vulnerables a las artes de pesca usadas para la extracción del camarón, pues comparten con estos el mismo hábitat, son de tamaños similares en la mayoría de los casos y son nadadores lentos (Vincent *et al.*, 2011). Así lo demuestran estudios realizados en el Golfo de México con el *Hippocampus erectus*. La pesca de arrastre usada para la extracción del camarón, no sólo acaba de forma directa e indiscriminada con esta especie, sino que además destruye su hábitat y repercute en las estructuras sociales de sus poblaciones (Baum *et al.*, 2003).

La situación en la que se encuentran todas las especies de caballitos de mar ha generado que todas ellas hayan sido incluidas en la Lista Roja de las Especies Amenazadas de la Unión internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2014) y en el Apéndice II del Convenio para el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES, 2014) en noviembre de 2002 con la implementación en mayo de 2004. A partir de esta fecha, los países firmantes de dicho convenio que comercien con estas especies deben demostrar que lo hacen de forma que no resulte una amenaza para las poblaciones salvajes (Koldewey *et al.*, 2010)

Los caballitos de mar son uno de los primeros peces marinos con importancia comercial que se han incluido en dicho apéndice junto con el tiburón ballena y tiburón peregrino. Su inclusión en CITES proporciona un medio importante para mejorar el seguimiento y gestión de las poblaciones de caballitos de mar afectadas por el comercio internacional (Lourie *et al.*, 2004)



### 2.3. Los caballitos de mar y el comercio de las especies ornamentales

El comercio de las especies ornamentales marinas y de agua dulce es una actividad llevada a cabo desde hace décadas, hay datos que confirman que comenzó a pequeña escala en la isla de Sri Lanka a principios de 1930 (Wijesekara y Yakupitiyage, 2000). El número de países que comercian con estas especies ha ido en aumento con el paso de los años así como los permisos necesarios para la recolección de este tipo de animales (Wood, 2001)

El mercado de especies ornamentales es una industria que mueve miles de millones de dólares al año. Se estima que sólo entre un 1-10% de las especies marinas expuestas en acuarios son criados en cautividad, y el resto es capturado en el medio natural (Wabnitz C. *et al.*, 2003). Según datos de la Organización Mundial de la Alimentación y Agricultura (FAO) el valor de las exportaciones de especies ornamentales pasó de los 21.5 millones de dólares en 1976 a los 315 millones de dólares en 2007 (Monticini, 2010). Las especies ornamentales marinas son capturadas y transportadas principalmente desde el sureste asiático hasta sus principales consumidores: Estados Unidos, Unión Europea y Japón (Wabnitz *et al.*, 2003)

Pero existe un comercio ilegal de las especies ornamentales marinas. Los pescadores riverños de muchos países colectan cualquier especie susceptible de capturar usando técnicas poco sostenibles con el medio ambiente como son el uso de explosivos o químicos como el cianuro y los transportan con los medios de los que disponen (botellas de plástico). Esto se encuentra fomentado por la demanda existente por parte de dueños de acuarios o tiendas de mascotas y por la falta de regulación de las autoridades locales que no son conscientes del valor biológico que tienen estos animales (Reynoso *et al.*, 2012)

Los peces son las especies marinas más comercializadas a nivel mundial, con un volumen de producción anual promedio de 20 millones de organismos (Cato y Brown, 2003; Wabnitz *et al.*, 2003). Entre todos estos se encuentran los caballitos de mar. Su particular forma lo ha hecho un animal muy atractivo como especie ornamental en la acuariofilia. Pero no es solo este el objetivo de su captura. Hasta en un 95% de los caballitos comercializados son usados en la Medicina Tradicional China como producto seco. Además son considerados como especies raras, es decir, son usados como artículo decorativo. (Bruckner, 2005; Vincent *et al.*, 2011). Por todo ello en los últimos 50 años ha habido un aumento exponencial del cultivo de estos animales en muchos con destino para la medicina tradicional pero sobre todo para el mercado de la acuariofilia (Koldewey *et al.*, 2010; Otero-Ferrer, 2012b)

#### 2.4. El cultivo del caballito de mar

La cría en cautividad de determinadas especies de interés comercial puede ayudar a mantener el comercio de este tipo de organismos además de disminuir el impacto sobre el medio natural que su extracción conlleva (Tlusty, 2002. ; Setu *et al.*, 2010).

Por lo tanto la acuicultura de los caballitos de mar puede ser una solución a la gran demanda existente, además de limitar su captura en el medio natural y disminuir la sobreexplotación. Actualmente, hay muy poca información disponible sobre la fisiología, ciclos biológicos o comportamiento de estos animales, lo cual afecta al éxito de su cultivo (Koldewey *et al.*, 2010). Este hecho hace que exista la necesidad de seguir investigando sobre protocolos de cultivo, mejorando las tasas de supervivencia en cautividad.

Para llevar a cabo el cultivo de los caballitos de mar es necesario que los acuarios que se utilicen tengan unas características determinadas. En el caso de los reproductores, los

tanques o acuarios necesitan una altura apropiada para el momento del cortejo y apareamiento (Vincent y Sadler, 1995a; Koldewey, 2005), así como de disponer de estructuras de agarre debido a la escasa capacidad de natación que tienen (Kuitert, 2009). En el caso de los primeros estadíos de vida, la presencia de estructuras de agarre es de vital importancia dado que una vez que los animales pasan por una etapa planctónica, deberán fijarse o asentarse al fondo buscando cualquier tipo de sustrato.

En cuanto a los parámetros de cultivo empleados para el mantenimiento y reproducción de los caballitos de mar, son capaces de tolerar un amplio rango de temperaturas, salinidad y concentraciones de amonio (Kuitert, 2009; Koldewey *et al.*, 2010). Otro de los factores clave en el éxito del cultivo de caballitos de mar es conseguir una alimentación apropiada para cada una de las fases del ciclo de vida, especialmente en edades tempranas. Los mejores resultados con juveniles se han obtenido con zooplancton salvaje o copépodos pero su producción a gran escala no resulta rentable para la acuicultura (Gardner, 2008). Es por ello que se han utilizado otros organismos habitualmente empleados en acuicultura larvaria como los rotíferos (*Brachionus plicatilis*) o la *Artemia* (*Artemia sp*) y que han dado buenos resultados (Otero-Ferrer, 2012b). Es el caso de la *Artemia*, los mejores resultados han sido obtenidos utilizando presas previamente enriquecidas con ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) (Alexandre, 2009).

Además de la alimentación existen otros factores importantes en el cultivo de juveniles de caballito de mar. Estos factores que están relacionados con el mantenimiento de los animales incluyen el fotoperiodo y la densidad de cultivo.

El número de horas de luz es un parámetro importante a tener en cuenta en el cultivo del caballito de mar. Existen datos acerca de su influencia en estadíos adultos, observándose

que la luz afecta al desarrollo de la bolsa de los machos (Lin *et al.*, 2010) así como la maduración de hembras (total de huevos, tamaño de la puesta, y número de puestas por hembra) (Planas *et al.*, 2013). Sin embargo existen pocos datos acerca de cómo este factor afecta al comportamiento de los estadíos juveniles. (Sheng *et al.*, 2006) observó que el fotoperiodo influía en las tasas de ingestión de juveniles de *H. trimaculatus*. Por otro lado se desconoce si el fotoperiodo puede afectar al comportamiento social de los juveniles y si estos tienen una actividad diferenciada durante el día y la noche.

En el caso de la densidad de cultivo, la supervivencia y el crecimiento se ven afectados negativamente por este factor en los adultos. En el caso de las crías su importancia parece ser menor (Kuitert, 2009) pero se desconoce si este factor puede ser limitante en el cultivo pudiendo afectar a la competencia por el alimento entre los animales, desarrollando estrategias o interacciones sociales entre ellos.

Existe una ausencia de capacitación técnica en cuantificación y diagnóstico de los patógenos responsables de muchas enfermedades en las especies ornamentales en general y en el cultivo del caballito de mar en particular, lo que genera la necesidad de crear de programas de certificación, inocuidad y trazabilidad de los organismos para ofrecer productos de mayor calidad y fortalecer de esta forma el mercado de las especies ornamentales (Reynoso *et al.*, 2012).

Una de las enfermedades mas frecuentes en el cultivo de los caballitos de mar es la llamada “enfermedad de la burbuja”. Consiste en acumulación de gas en la bolsa incubadora de los machos, en una tumefacción en la cola o en un exceso de aire en la vejiga natatoria (Otero-Ferrer, 2012a), siendo esto último más habitual en los estadíos juveniles del género (Alexandre, 2009). Pero también se dan otros tipos de enfermedades como son la vibriosis o la microbacteriosis (Koldewey, 2005).

La importancia comercial de las especies ornamentales está basada fundamentalmente en su coloración (Wabnitz *et al.*, 2003). En la actualidad los estudios relacionados con esto último están basados en la búsqueda de pigmentos que aporten la coloración necesaria o en determinar el efecto que puede tener la intensidad lumínica (Segade, 2012)

En estudios llevados a cabo con diferentes especies de caballitos de mar (Fig. 4) se ha comprobado que estos animales pasan por un cuello de botella en cuanto a su supervivencia en los primeros días de vida (Payne y Rippingale, 2000; Woods, 2000b; 2000a; Dzyuba *et al.*, 2006; Hora y Joyeux, 2009; Murugan *et al.*, 2009; Otero-Ferrer *et al.*, 2010b; Martínez-Cardenas y Purser, 2011; Palma *et al.*, 2011; Willadino *et al.*, 2012a; Willadino *et al.*, 2012b). En la mayoría de estos trabajos realizados se observa un descenso brusco de la supervivencia entre los primeros 5 y 15 días de vida.

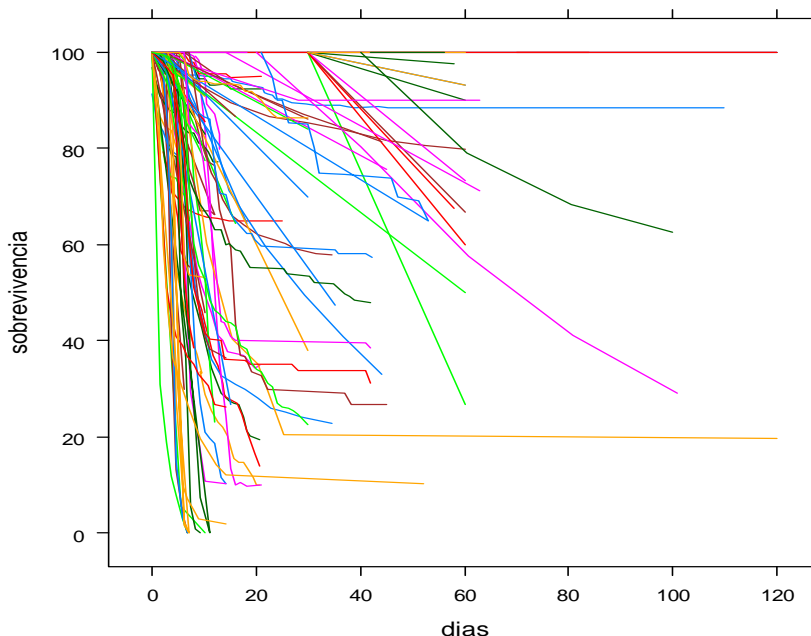


Figura 3: Supervivencia observada en los primeros 40 días de vida en distintas especies de caballitos de mar cultivadas bajo diferentes tratamientos de cultivo y alimentación. Información tomada de (Payne et al., 2000; Woods, 2000a; Dzyuba et al., 2006; Martínez-Cardenas et al., 2011; Willadino et al., 2012a)

## 2.5. Especie objetivo del estudio: *Hippocampus erectus*

La especie objetivo de este estudio es *H. erectus*. Esta especie se encuentra desde las costas de Nueva Escocia en Canadá hasta la aguas del Golfo de México y del Mar Caribe (Foster *et al.*, 2004; Lourie *et al.*, 2004).

Está caracterizada morfológicamente por una longitud máxima de 19cm, un hocico del tamaño de la mitad de su cabeza y algunos presentan unos anillos de color gris perla sobre su cuerpo. El color de esta especie es variable de unos individuos a otros. Se han registrado animales en color gris ceniza, naranja, marrón, amarillo, rojo y negro (Lourie *et al.*, 2004).

Es una especie que se encuentra especialmente amenazada por la pesca no selectiva (Baum *et al.*, 2003) especialmente el arrastre. Los buenos resultados obtenidos en su cultivo hacen de ella una especie rentable para la acuicultura, lo que está sintonía con el hecho de que sea una especie de gran interés comercial, tanto para la acuariofilia como para la medicina tradicional (Zhang *et al.*, 2010).

A pesar de que existen trabajos donde se obtuvieron altas tasas de supervivencia, *H. erectus* por lo general tiene tasas elevadas de mortalidad en los primeros días de vida (Alexandre, 2009). Se han realizado diversos estudios en dichos momentos tempranos de su desarrollo para tratar de determinar qué factores influyen sobre la supervivencia. Por ejemplo, se ha estudiado la influencia de densidad e cultivo (Lin *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010), el efecto de diferentes dietas (Lin *et al.*, 2009a) o la influencia de la temperatura, el color del substrato, la intensidad lumínica, la salinidad (Lin *et al.*, 2008a; Lin *et al.*, 2009b; Lin *et al.*, 2010). Es los trabajos realizados por Alexandre (2009) sobre la misma especie se observó un comportamiento de fijación determinado de los juveniles. Se observó cómo estos se agarraban unos a otros

formando grupos, produciéndose dicho fenómeno en presencia del alimento. Considerando que la ausencia de etapas establecidas en la vida temprana de un caballito de mar dificulta la mejora en los protocolos de cultivo de dicho género, este autor definió tres etapas en la vida de un caballito de mar juvenil de *H. erectus*: (1) Etapa Crítica ( desde el nacimiento hasta 20 días de vida): mortalidad elevada, tasa de crecimiento reducida e individuos con un comportamiento pelágico con burbujas de aire, (2) Etapa Intermedia (entre 20 y 60 días de vida): mortalidad elevada, tasa de crecimiento alta y fase de cambio en la alimentación y (3) Etapa Estable ( entre los 60 días y el final del experimento, es decir 80 días): mortalidad residual.

Este tipo de comportamiento de agrupación de los juveniles durante los estadios tempranos de desarrollo no ha sido descrito en otras especies de caballitos y por lo tanto su estudio es de vital importancia para la mejora del protocolo de cultivo de esta especie. Además estas interacciones sociales pueden verse condicionadas por factores zootécnicos como la luz o la densidad. Estudiar cómo se comporta esta especie bajo estos factores puede llevarnos a aportar conocimiento sobre su cultivo y comparar entre diferentes especies para de esta forma adaptar los protocolos de cultivo a la especie en cuestión.

### 3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo fue describir cuantitativamente el comportamiento de fijación de juveniles de *H. erectus* en diferentes momentos del día, diferentes momentos relacionados con la alimentación y considerando diferentes densidades de cultivo.

Para ello se establecieron como objetivos específicos describir el comportamiento de fijación de juveniles de *H. erectus*.

- ✓ a lo largo de diferentes momentos del día: amanecer (8am), mediodía (12pm), tarde(5.30pm), noche (8pm).
- ✓ durante diferentes momentos del día (amanecer y atardecer) relacionados con la alimentación (antes, durante y después de la toma)
- ✓ durante sus dos fases temprana de desarrollo: Fase Crítica ( desde el nacimiento hasta los 20 días de vida) y Fase Intermedia ( a partir de los 20 días de vida) y
- ✓ considerando dos densidad de cultivo a lo largo de las diferentes escalas temporales anteriormente descritas:
  - Densidad de cultivo baja: 10 individuos por litro
  - Densidad de cultivo alta: 20 individuos por litro



## 4. Materiales y métodos

Este trabajo se ha realizado en la Unidad de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) localizada en la población de Sisal, municipio de Hunucmá, Estado de Yucatán, México. Se comenzó el día 1 de Febrero de 2014 con la preparación de las instalaciones y con observaciones preliminares para terminar con el experimento el día 10 de Abril del mismo año. [Descripción de las instalaciones.](#)

Se tuvieron a disposición para la realización del presente trabajo las instalaciones para el cultivo de especies ornamentales pertenecientes a dicha unidad de investigación.

El agua de mar usada para dichas instalaciones procede directamente del Mar del Golfo de México previamente tratada mediante decantación y filtración. Dicho tratamiento se describe a continuación (Fig. 4).

El agua de mar captada directamente del mar es almacenada en dos estanques (Fig. 5), donde el agua es almacenada, decantada y aireada antes de ser bombeada a tres tanques de que servirán de reservorio de 10.000 L cada uno (Fig. 6). Dichos tanques están comunicados entre sí. Uno de ellos dispone de un flotador con sensor para la demanda automática de agua que se requiera. El agua es filtrada previamente por filtros de arena antes de llegar al área experimental.

Una vez en el área experimental, el agua se almacena en tanques de 750l y antes de ser puesta en recirculación, en los sistemas de cultivo, se esteriliza con luz UV (WaterTecInternational, USA) (Fig. 7). Cada sistema de cultivo está estructurado con un tanque reservorio de 150L con biobolas y roca viva. (Fig. 8)

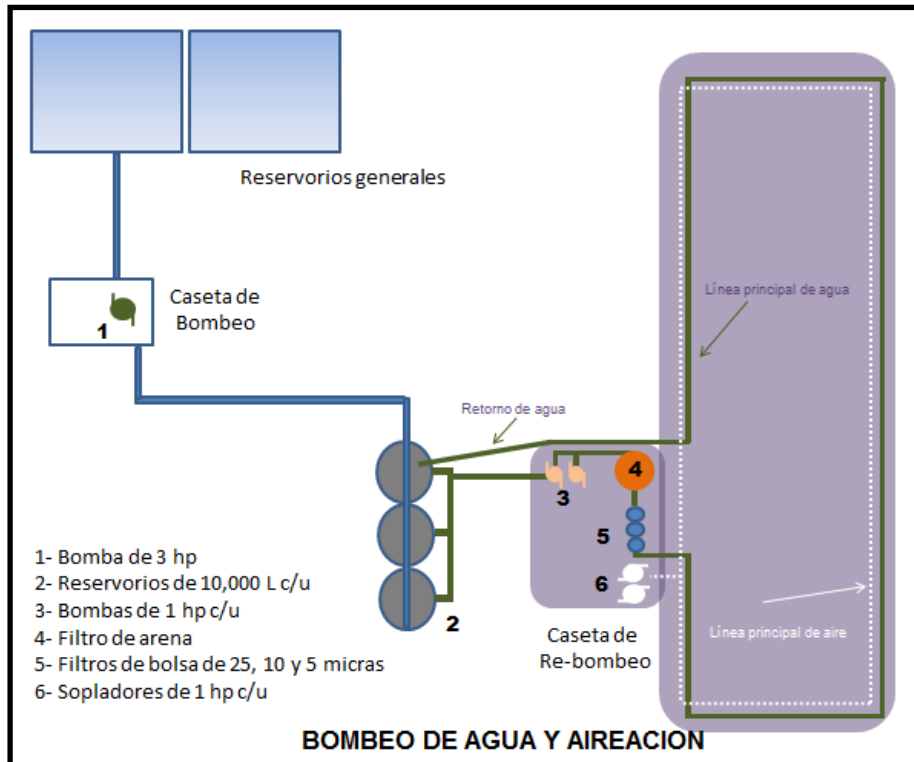


Figura 4: Esquema de las instalaciones generales de bombeo y aireación (Modificado de GemmaMartinez)



Figura 5: Estanques generales donde se almacena, decanta y airea el agua procedente de los estanques



Figura 6: Tanques reservorios de 10.000 l cada uno donde se almacena el agua bombeada desde el mar

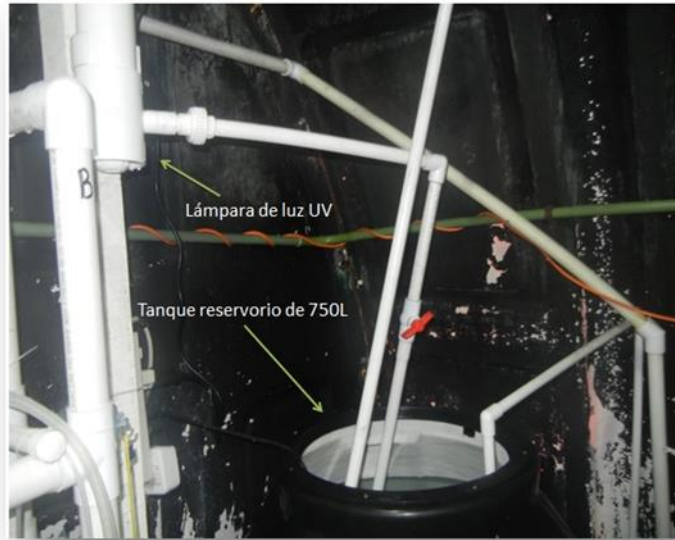


Figura 7: Tanques reservorios de 750L localizado en el área experimental con la Luz UV



Figura 8: Tanques reservorios con biobolas y roca viva de 150L

## 4.2. Origen y mantenimiento de los animales

### 5.1.1. Reproductores

#### 5.1.1.1. Captura y traslado

Un total de 3 machos preñados de *H. erectus* fueron capturados el 13 de Marzo de 2014 en la laguna de Chelem, localizada en la población de Progreso, al norte de la ciudad de Mérida, Estado de Yucatán, México (21°1'50''N-89°42'31''O). La captura fue realizada con previa obtención del permiso otorgado por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de la Dirección General de Vida Silvestre del Gobierno de México con número de oficio 12741.

El traslado de dichos reproductores hasta las instalaciones de cultivo o experimentación se realizó usando bolsas oscuras de plástico para disminuir el estrés del procedimiento (Oliveira y Galhardo, 2007), con agua propia de la laguna, con aireación y con estructuras de fijación tanto naturales como de plástico. Estas bolsas se introdujeron en neveras portátiles de 15 litros de capacidad.

#### 5.1.1.2. Recepción y acondicionamiento de los animales

Una vez los animales llegaron a las instalaciones de cultivo fueron observados y se anotó cualquier característica externa o de comportamiento que se le encontrara. Además se registró la longitud estándar del cuerpo (Lourie, 2003) con una calibrador y el peso húmedo de cada uno de ellos con una balanza analítica (Ohaus Adventurer, Corp. Pine Brook, NJ, USA). Los datos registrados para cada uno de los tres reproductores fueron 150, 140 y 145 cm de longitud estándar del cuerpo y 14.24, 12.68 y 14.63 g de peso húmedo respectivamente.

Debido a que se trataba de animales preñados no se llevó a cabo ningún tratamiento de desinfección con productos químicos. Fueron aislados individualmente en tanques de 14 litros cada uno para evitar la transmisión de posibles enfermedades. Se los mantuvo en circuito cerrado con aireación y se procedió a un recambio diario del agua del 50% (Fig. 9)

#### 5.1.1.3. *Parámetros del agua*

La temperatura, salinidad y fotoperiodo registrados en los tranques de los reproductores fueron (media  $\pm$  desviación estándar):  $24.17 \pm 2.5^\circ\text{C}$ ,  $36.33 \pm 0.47\text{‰}$ , 12h L (0800–2200 h): 12h D (2200–0800 h), respectivamente.

Los parámetros fisicoquímicos del agua fueron medidos 24 horas después de recibir a los animales. Los valores se mantuvieron dentro del rango óptimo registrados para la especie (Koldewey *et al.*, 2010)

#### 5.1.1.4. *Alimentación*

Los reproductores fueron alimentados diariamente con *Artemia* adulta viva (obtenidas a partir de cistes de GLS, INVE Aquaculture, USA) enriquecida con Easy-DHASelco® (INVE Aquaculture, USA) con raciones del 10% del peso corporal de los individuos, divididas en tres dosis por día: a las 8am, a las 2pm y a las 6pm.



Figura 9: Progenitor de los juveniles usados en el presente estudio

## 5.1.2. Juveniles

### 5.1.2.1. Origen y biometría

Nueve días después de la captura y acondicionamiento de los reproductores uno de ellos parió durante tres días a 189 juveniles (Fig. 10). Se realizaron medidas de longitud estándar (Lourie, 2003) mediante fotografía y posterior procesado mediante programa informático ImageJ (versión 1.46r) y de peso húmedo con balanza de precisión (OHAUS Adventurer, Corp. PineBrook, NJ, USA). Los datos se expresaron como  $\text{media} \pm \text{desviación estándar}$ . Al nacer las crías midieron  $1.8 \pm 0.27$  cm y pesaron  $6.63 \pm 0.11$ mg. Una vez finalizados los nacimientos, las crías fueron mantenidas en tanques de los reproductores, durante dos días más, antes de ser separadas para el comienzo del estudio.

#### 5.1.2.2. *Instalaciones y mantenimiento*

Después de cada nacimiento, las crías fueron trasladadas a 16 acuarios con circuito cerrado de agua y aireación, 8 acuarios con 10 ind/L y 8 acuarios con 20 ind/L. Cada tanque disponía de un volumen de 1.4l de agua de mar procedente de uno de los sistemas con circuito abierto de las instalaciones. Diariamente se realizaron tareas de limpieza haciéndose un recambio del agua del 50%, medición de calidad del agua y alimentación.

#### 5.1.2.3. *Parámetros del agua*

La temperatura, salinidad y fotoperiodo registrados fueron (media±S.D):  $28.11 \pm 1.88^{\circ}\text{C}$ ,  $36.38 \pm 0.52\text{‰}$ , 12h L (0800-2000h), y 12h D (2000-0800h), respectivamente.

Los parámetros fisicoquímicos (nitrito, nitrato, amonio y pH) se midieron dos veces por semana durante todo el estudio. Los valores se mantuvieron dentro del rango óptimo registrado para la especie (Koldewey *et al.*, 2010)

#### 5.1.2.4. *Alimentación*

Los individuos juveniles fueron alimentados con raciones de igual cantidad tres veces al día con nauplios de *Artemia* (obtenidos a partir de cistes de GLS (INVE Aquaculture, USA), durante la primera fase o Fase Crítica y con metanauplios de *Artemia* para la segunda fase o Fase Intermedia. Las raciones fueron de 3 nauplios o metanauplio por ml, según la fase de vida, para el tratamiento de baja densidad (Com. Pers. G. Martínez) y el doble para el tratamiento con alta densidad, 6 nauplios o metanauplios por ml.





Figura 10: Juveniles recién nacidos junto con el reproductor

#### 4.3. Diseño experimental

Se procedió al estudio del comportamiento de fijación de 189 juveniles de *H. erectus* durante dos fases tempranas de desarrollo y bajo dos densidades de cultivo, baja (10 juveniles/l) y alta (20 juveniles/l) en diferentes momentos del día y en diferentes momentos relacionados con la alimentación (Fig. 11)

Previamente se realizó un experimento que ayudó a mejorar ciertos aspectos relacionados con el material empleado y con el registro de los datos. Por un lado en dicho experimento se usaron recipientes de plástico y cilíndricos que dificultaban la observación por lo que se optó por usar acuarios cuadrados y de cristal; y por otro lado ayudó a determinar la frecuencia en el registro de los datos (Fig. 12)

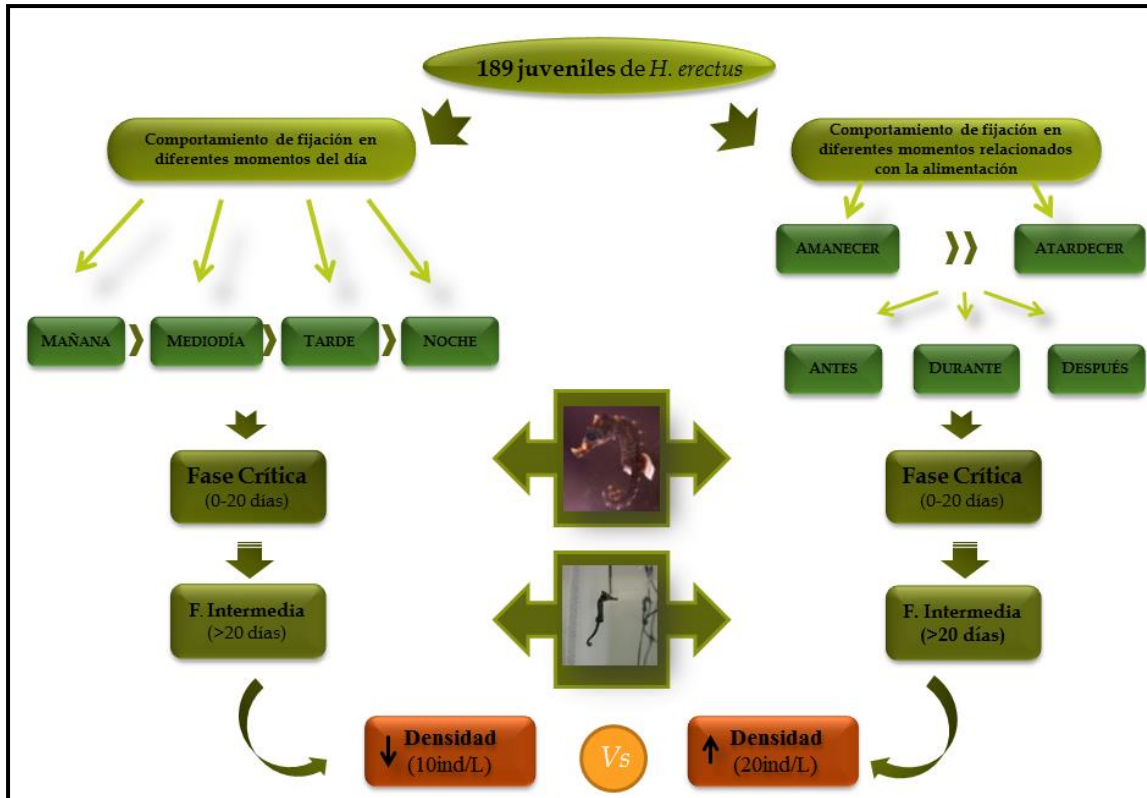


Figura 11: Esquema general del diseño experimental. Dos estudios principales llevados de forma simultánea en el tiempo y teniendo en cuenta los tratamientos de densidad de cultivo.

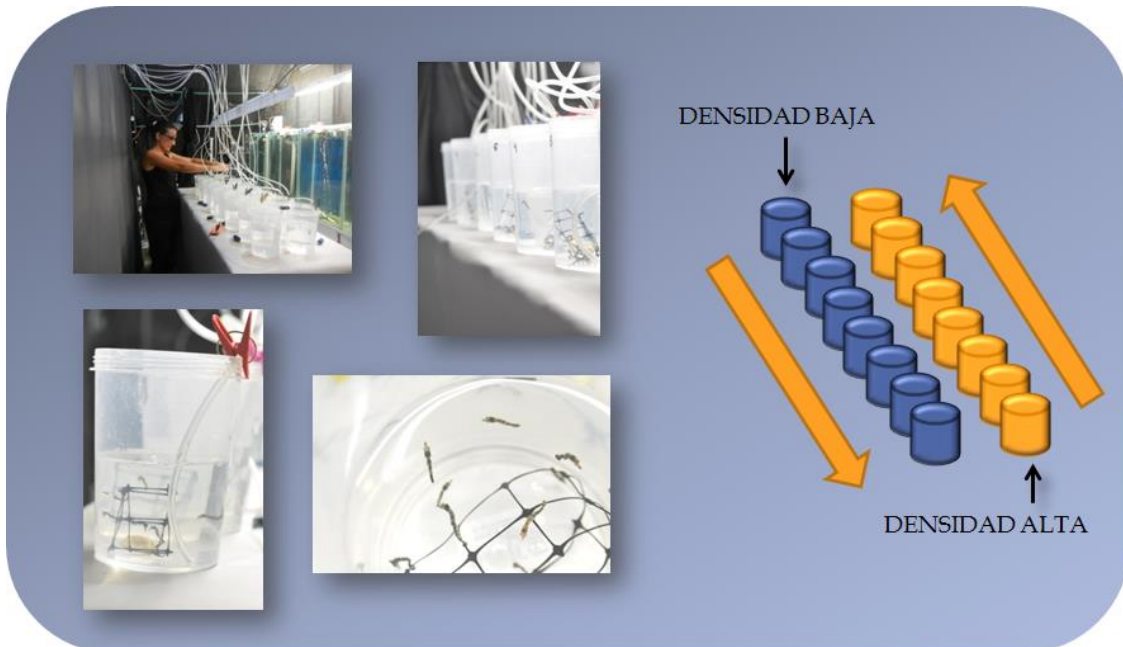


Figura 12: Distribución y detalles del material utilizado en el experimento preliminar

En el experimento definitivo las observaciones comenzaron dos días después de que naciera la última cría. Tras esto, las 189 crías de caballito de mar *H. erectus* con un tiempo de vida de entre 2 y 5 días, fueron distribuidas aleatoriamente en 16 tanques, 8 por cada tratamiento. Cada uno de los tanques estaba dividido en dos con placas de PVC blanco y envueltos a su vez para aislarlos unos de otros con vinilo del mismo color (Fig. 13). Se escogió el color blanco para aislarlos pues según estudios anteriores no existe influencia negativa de dicho color en las paredes de los acuarios sobre a la tasa de ingestión de los nauplios de *Artemia* (Martinez-Cardenas and Purser, 2007)

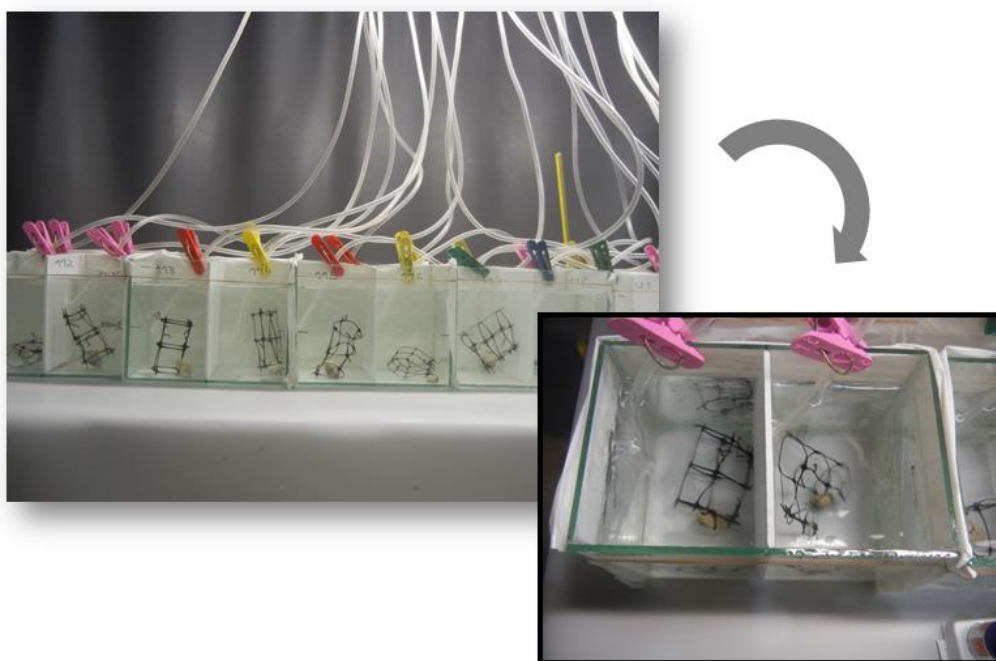


Figura 13: Diseño de los tanques de experimentación. En la figura se aprecia la división de cada uno con placas de PVC y la envoltura con vinilo blanco

Además en cada uno de los acuarios se colocaron estructuras verticales y de plástico que imitan los sustratos naturales (Fig. 14) ya que habitualmente se ha relacionado la

abundancia de caballitos de mar *H. erectus* en el medio natural con hábitat con pastos marinos (Teixeira *et al.*, 2001). En los tanques con baja densidad los animales disponían de 42cm lineales de agarre y en los tanques de alta densidad disponían de 93cm lineales de agarre.



Figura 14: Detalle de las estructuras de agarre usadas en los tanques con densidad de cultivo baja

### 5.1.3. Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Crítica

Las observaciones fueron llevadas a cabo en diferentes momentos del día durante la Fase Crítica, es decir durante los primeros 20 días de vida, cuando no existía alimento en los tanques o bien cuando la cantidad de alimento era mínima, es decir, entre una y dos horas después de haber sido alimentados. Se realizaron en la mañana (8am), al mediodía (12pm), al atardecer (6pm) y en total oscuridad (8pm).

#### 5.1.4. Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia

Las observaciones fueron llevadas a cabo en diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia, es decir a partir de los 21 días de vida cuando no existía alimento en los tanques o bien cuando la cantidad de alimento era mínima. Dichas observaciones se realizaron en la mañana (8am), al mediodía (12pm), al atardecer (6pm) y en total oscuridad (8pm).

#### 5.1.5. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica

Observaciones realizadas minutos antes de ser alimentados, durante el momento que se estaban alimentando y entre una y dos horas después de haber sido alimentados en el amanecer y en la Fase Crítica. Dichas observaciones se realizaron a las 8am, a las 10am y a las 12pm.

#### 5.1.6. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia

Observaciones realizadas minutos antes de ser alimentados, durante el momento que se estaban alimentando y entre una y dos horas después de haber sido alimentados en el amanecer y en la Fase Intermedia. Dichas observaciones se realizaron a las 8am, a las 10am y a las 12pm.

#### 5.1.7. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica

Observaciones realizadas minutos antes de ser alimentados, durante el momento que se estaban alimentando y entre una y dos horas después de haber sido alimentados en el

atardecer y en la Fase Crítica. Dichas observaciones se realizaron a las 5pm, a las 5.30pm y a las 6pm.

#### 5.1.8. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer durante la Fase Intermedia

Observaciones realizadas minutos antes de ser alimentados, durante el momento que se estaban alimentando y entre una y dos horas después de haber sido alimentados en el atardecer y en la Fase Intermedia. Dichas observaciones se realizaron a las 5pm, a las 5.30pm y a las 6pm

#### 4.4. Variables y análisis estadísticos

El comportamiento de fijación se determinó mediante la medición de las siguientes variables (Fig. 15):

- Variable 1: número de individuos sueltos en la columna de agua, de forma individual o en grupo.
- Variable 2: número de individuos agarrados a estructura, de forma individual o en grupo.

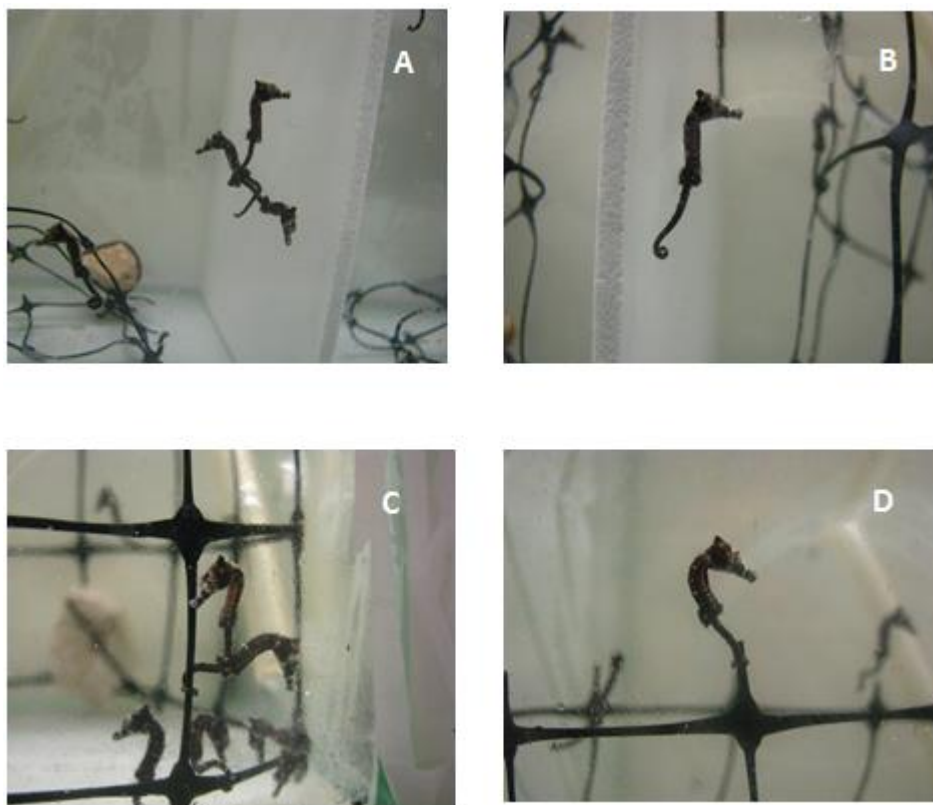


Figura 15: Ejemplos de las variables registradas. Las imágenes A y B corresponden con la Variable 1 (número de individuos sueltos en la columna de agua, de forma individual o en grupo). Las imágenes C y D corresponden con la Variable 2 (número de individuos agarrados a la estructura, de forma individual o en grupo)

La cuantificación de cada variable se registró mediante observaciones por pulsos para los diferentes momentos del día, para los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en ambas etapas de desarrollo y en ambas densidades de cultivo. Es decir, se anotó el número de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructuras en un instante, a modo de fotografía. El registro de cada variable se realizó de forma individual. El investigador anotaba los datos en una tablilla de forma diaria durante el tiempo que duró el experimento y siguiendo un mismo orden de observación en los acuarios (Fig. 16)

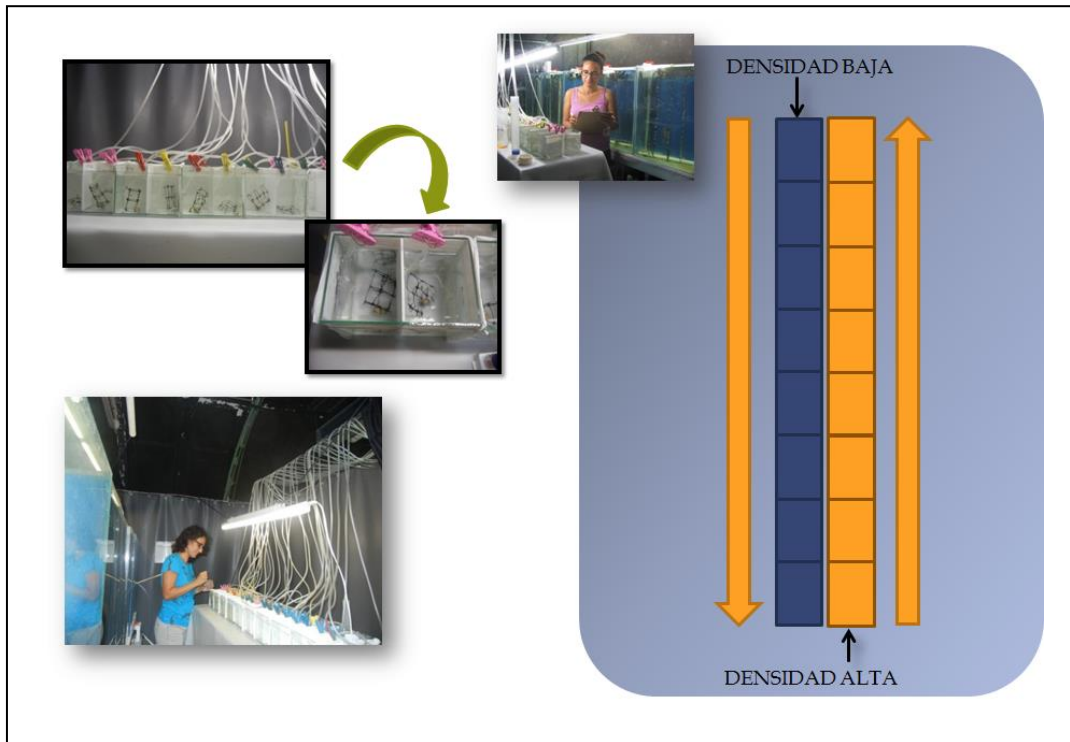


Figura 16: Distribución y detalles del material utilizado en el experimento definitivo

Las mediadas nocturnas se realizaron con la ayuda de una linterna con filtro rojo para no interferir en el comportamiento de los animales (Perez-Ruzaba y Marcos-Diego, 1985; Faleiro *et al.*, 2008). La frecuencia de la toma de los datos se basó en observaciones preliminares realizadas en el laboratorio.

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado a través tablas de contingencia multidimensionales para analizar las relaciones entre las variables y Chi-cuadrado de forma manual con ayuda de la aplicación Excel del paquete Microsoft Office 2010 para determinar el grado de asociación entre ellas.

Se planteó por lo tanto como Hipótesis nula que los animales se distribuían de forma similar a lo largo de los diferentes momentos definidos y en ambas densidades, y como



Hipótesis alternativa que los animales no se distribuían de forma similar a lo largo de los diferentes momentos definidos y en ambas densidades. Se realizaron análisis de forma parcial (Fig. 17)

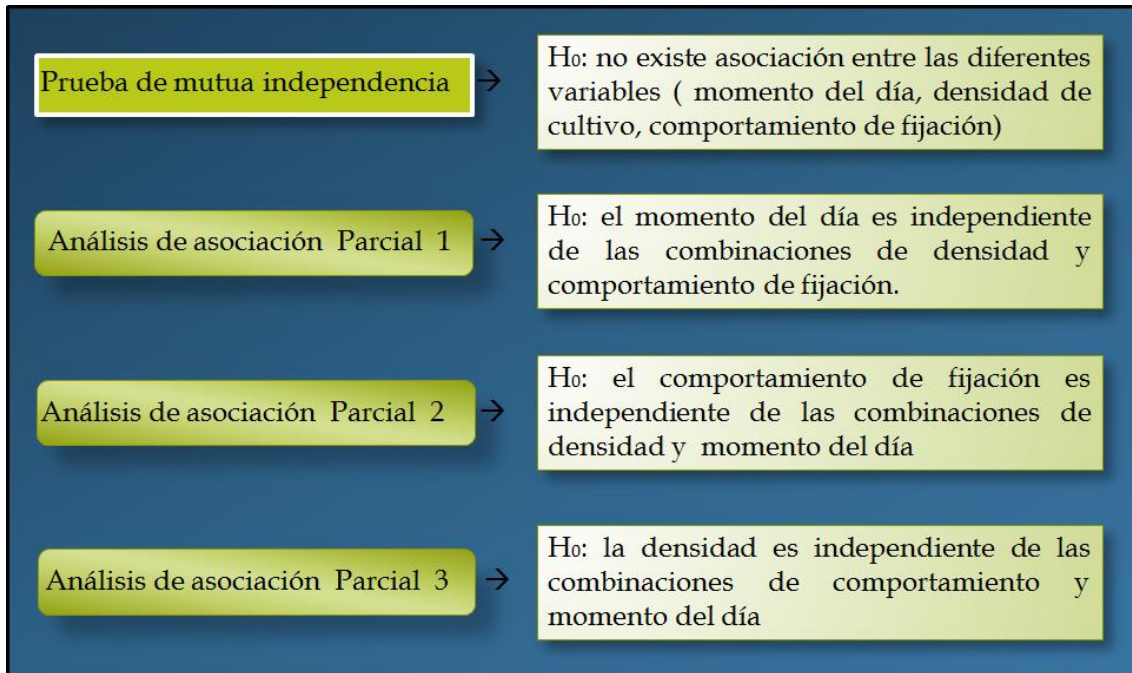


Figura 17: Hipótesis planteadas para el análisis parcial de los datos registrados

## 5. Resultados:

Durante el presente trabajo se observó que las crías de caballitos de mar de la especie *H. erectus* obtienen la capacidad de fijación no solo entre ellas sino a las estructuras disponibles en menos de 24 horas tras el nacimiento. Instantes después de haber nacido se dirigen a superficie y forman aglomeraciones unas con otras, creándose grupos muy numerosos e imposible de cuantificar a simple vista.

Cabe destacar que la tasa de supervivencia a los 25 días de vida fue del 95% para los tanques de 10 individuos por litro y de 85% para los tanques de 20 individuos por litro.

A continuación se describen los resultados obtenidos de las observaciones realizadas según lo descrito anteriormente.

### 5.1. Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Crítica

Los animales presentaron durante la Fase Crítica y en ambos tratamientos de densidad de cultivo un comportamiento aletargado, con una postura no del todo erguida, tanto al amanecer como en la noche (en total oscuridad), permaneciendo la mayoría de ellos agarrados a estructura (Fig. 18). Durante las horas intermedias (mediodía) presentaron mayor actividad siendo la proporción de individuos sueltos en la columna de agua mayor en este momento del día (Fig. 19; A y B).

Las pruebas estadísticas revelan que la proporción de juveniles sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura varía dependiendo del momento del día en el que se encuentren, es decir existe diferencia significativa entre los momentos del día ( $p < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los cambios en las proporciones de sueltos y agarrados a lo largo de diferentes momentos del día son similares para ambas densidades ( $p = 0.20$ ,  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 2)

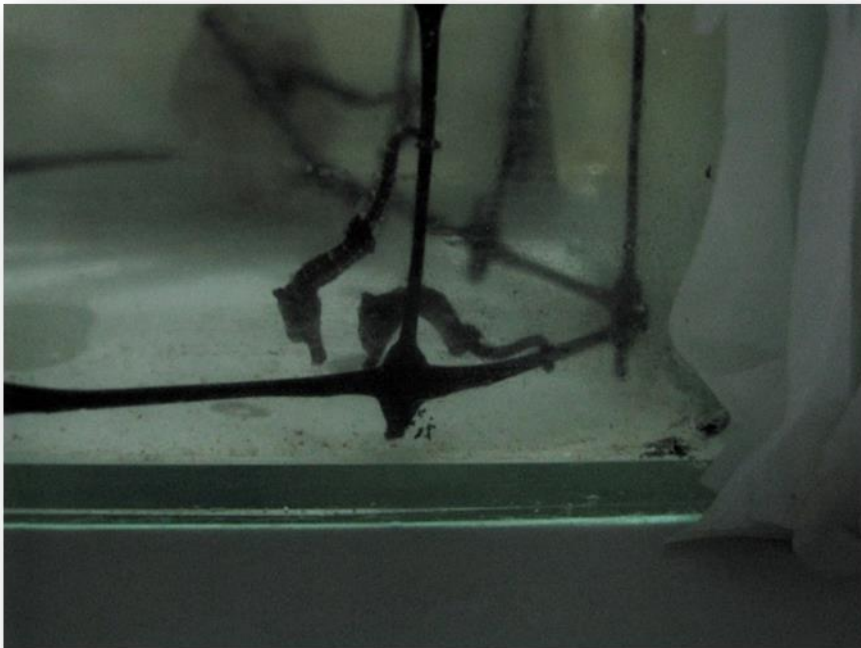


Figura 18: Detalle del comportamiento de los juveniles aletargados

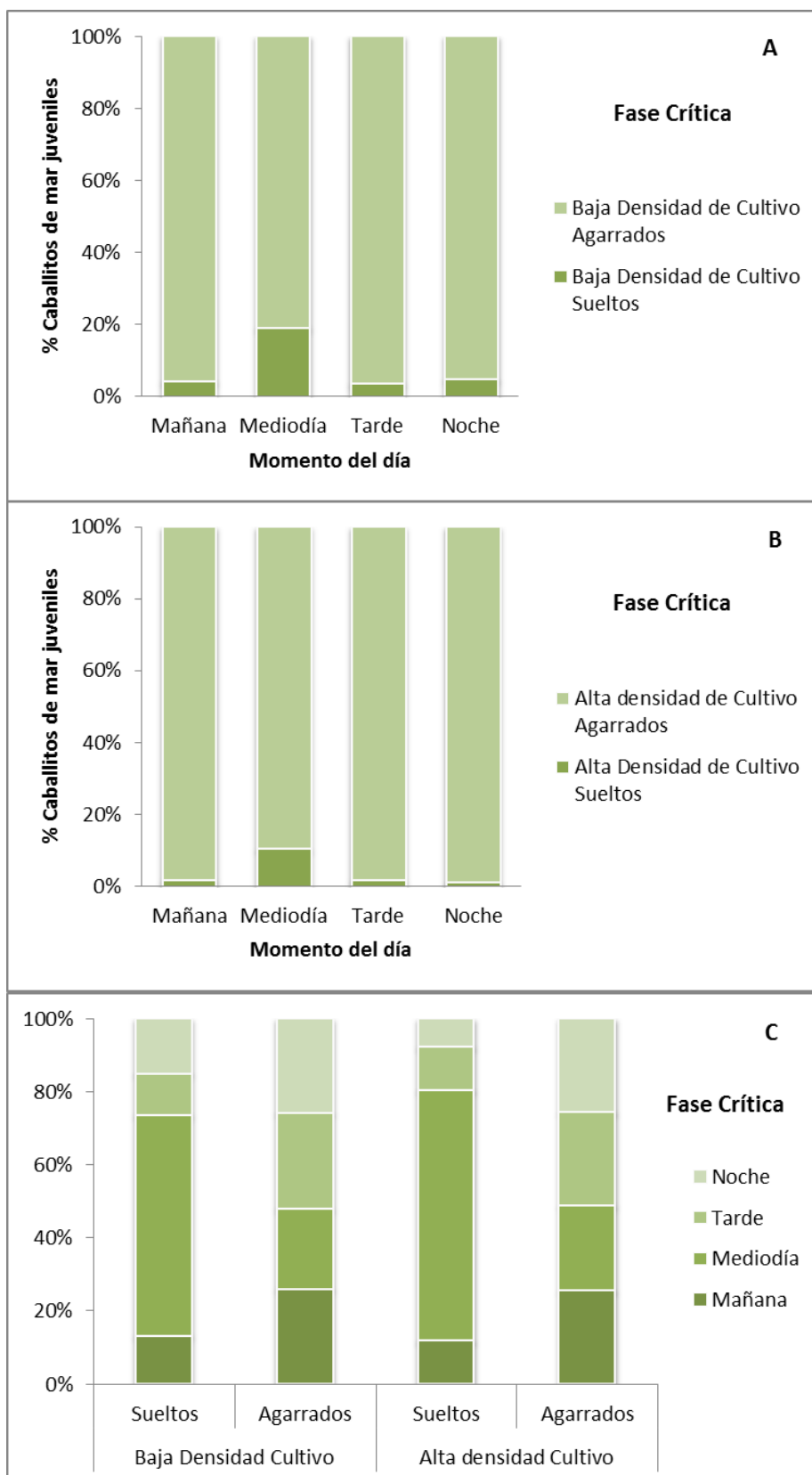


Figura 19: Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Crítica en los diferentes momentos del día (mañana, mediodía, tarde y noche). A: en tanques con tratamientos de baja densidad de cultivo. B: en tanques con tratamientos de alta densidad de cultivo. C: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo.

Tabla 1: Frecuencias observadas para los diferentes momentos del día durante la Fase Crítica

Momento del día	Frecuencias Obsevas			
	Baja Densidad Cultivo		Alta densidad Cultivo	
	Sueltos	Agarrados	Sueltos	Agarrados
Mañana	7	161	6	330
Mediodía	32	136	35	301
Tarde	6	162	6	330
Noche	8	160	4	332

Tabla 2: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas durante la Fase Crítica en los diferentes momentos del día ( $\alpha=0.05$ )

Prueba	$\chi^2$	g.l	P	Resultado
<b>Independencia Mutua</b>	112,92	10	$p < 0,001$	La Hipótesis nula es rechazada. El momento del día, la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación no son independientes en la población muestra
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (momento del día vs densidad de cultivo y comportamiento de fijación)	92,60	9	$p < 0,001$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día no es independiente de la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación.
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (comportamiento de fijación vs momento del día y densidad de cultivo)	112,92	7	$p < 0,001$	La hipótesis nula es rechazada. El comportamiento de fijación no es independiente de la densidad de cultivo y el momento del día
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (densidad de cultivo vs comportamiento de fijación y momento del día)	9,77	7	0,20	La hipótesis nula no es rechazada. La densidad de cultivo es independiente del comportamiento de fijación y del momento del día

## 5.2. Observaciones en diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia

Los animales presentaron también durante la Fase Intermedia y en ambos tratamientos de densidad de cultivo un comportamiento aletargado, con una postura no del todo erguida, tanto al amanecer como en la noche (en total oscuridad), permaneciendo la mayoría de ellos agarrados a estructura. Durante las horas intermedias (mediodía) presentaron mayor actividad siendo la proporción de individuos sueltos en la columna de agua mayor en este momento del día (Fig. 20; A y B).

A pesar de que la tendencia es parecida a la observada en la Etapa Crítica el número de individuos sueltos es mayor que en la fase anterior.

Las pruebas estadísticas revelan que la proporción de juveniles sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia varía dependiendo del momento del día en el que se encuentren ( $p < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los cambios en las proporciones de sueltos y agarrados a lo largo de diferentes momentos del día son diferentes significativamente según la densidad de cultivo ( $p < 0.001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 4)

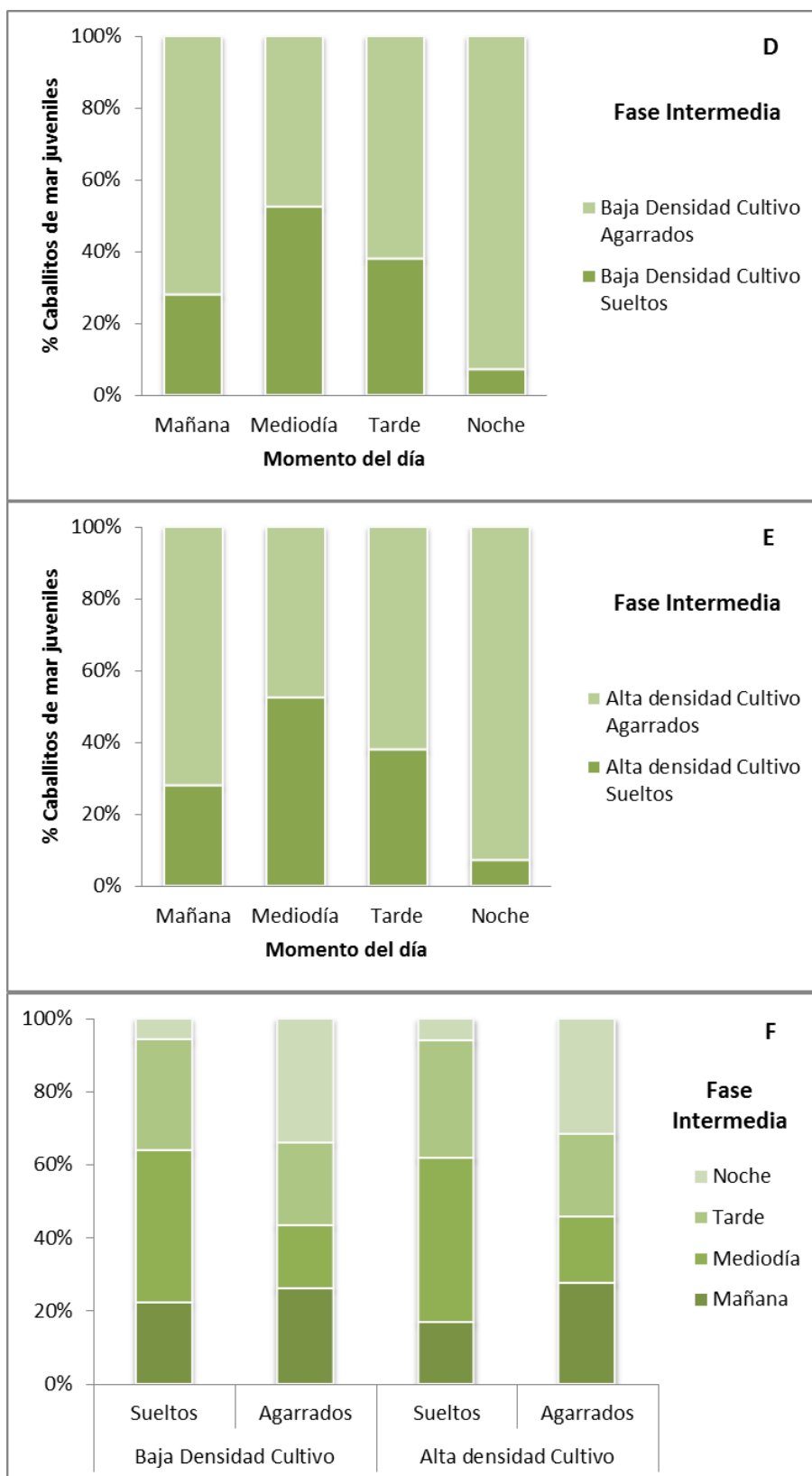


Figura 20. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia en los diferentes momentos del día (mañana, mediodía, tarde y noche). D: en tanques con tratamientos de baja densidad de cultivo. E: en tanques con tratamientos de alta densidad de cultivo. F: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo.

Tabla 3: Frecuencias observadas para los diferentes momentos del día durante la Fase Intermedia

Momento del día	Frecuencias Obsevasdas			
	Baja Densidad Cultivo		Alta densidad Cultivo	
	Sueltos	Agarrados	Sueltos	Agarrados
Mañana	47	121	59	277
Mediodía	88	80	155	181
Tarde	64	104	111	225
Noche	12	156	21	315

Tabla 4: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas durante la Fase Intermedia en los diferentes momentos del día ( $\alpha=0.05$ )

Prueba	$X^2$	g.l	P	Resultado
<b>Independencia Mutua</b>	252,23	10	$p < 0,001$	La Hipótesis nula es rechazada. El momento del día, la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación no son independientes en la población muestra
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (momento del día vs densidad de cultivo y comportamiento de fijación)	245,60	9	$p < 0,001$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día no es independiente de la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación.
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (comportamiento de fijación vs momento del día y densidad de cultivo)	252,23	7	$p < 0,001$	La hipótesis nula es rechazada. El comportamiento de fijación no es independiente de la densidad de cultivo y el momento del día
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (densidad de cultivo vs comportamiento de fijación y momento del día)	126,05	7	$p < 0,001$	La hipótesis nula es rechazada. La densidad de cultivo no es dependiente del comportamiento de fijación y del momento del día



### 5.3. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica

Se observó cómo la presencia de alimento afectaba al comportamiento de fijación de los juveniles al amanecer, en ambos tratamientos de densidad de cultivo y durante la Fase Crítica. Así durante la mañana, antes de ser alimentados, los animales permanecían en su mayoría fijados a la estructura, con comportamiento aletargado. En el momento de añadirles alimento, estos se soltaban y aunque la mayoría seguían agarrados, aumentaba la proporción de individuos sueltos en la columna de agua (Fig. 21, Fig. 22). Al transcurrir entre una hora y una hora y media desde que se le introdujo el alimento en el medio, la proporción de animales sueltos en la columna permaneció igual o aumentó ligeramente (Fig. 24, G y H). Estos animales que nadaban sueltos en la columna de agua se agarraban unos a otros, formando grupos de entre 3 y 4 animales (Fig. 23).

Las pruebas estadísticas revelan que la proporción de juveniles sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura durante el amanecer y en la Fase Crítica varía dependiendo del momento relacionado con la alimentación en el que se encuentren, es decir existe diferencia significativa ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los cambios en las proporciones de sueltos y agarrados a lo largo de los diferentes momentos relacionados con la alimentación son similares para ambas densidades ( $p = 0.06$ ,  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 6).



Figura 21. Detalle de cómo los animales se soltaban de las estructuras cuando se les introducía el alimento en el medio



Figura 22: Juvenil de *Hippocampus erectus* suelto en la columna de agua

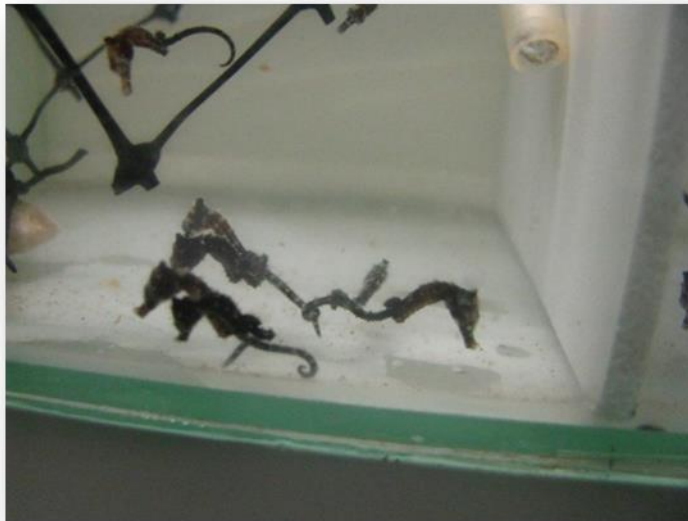


Figura 23: Juveniles de *Hippocampus erectus* sueltos en la columna de agua pero agarrados entre ellos, formando grupos.

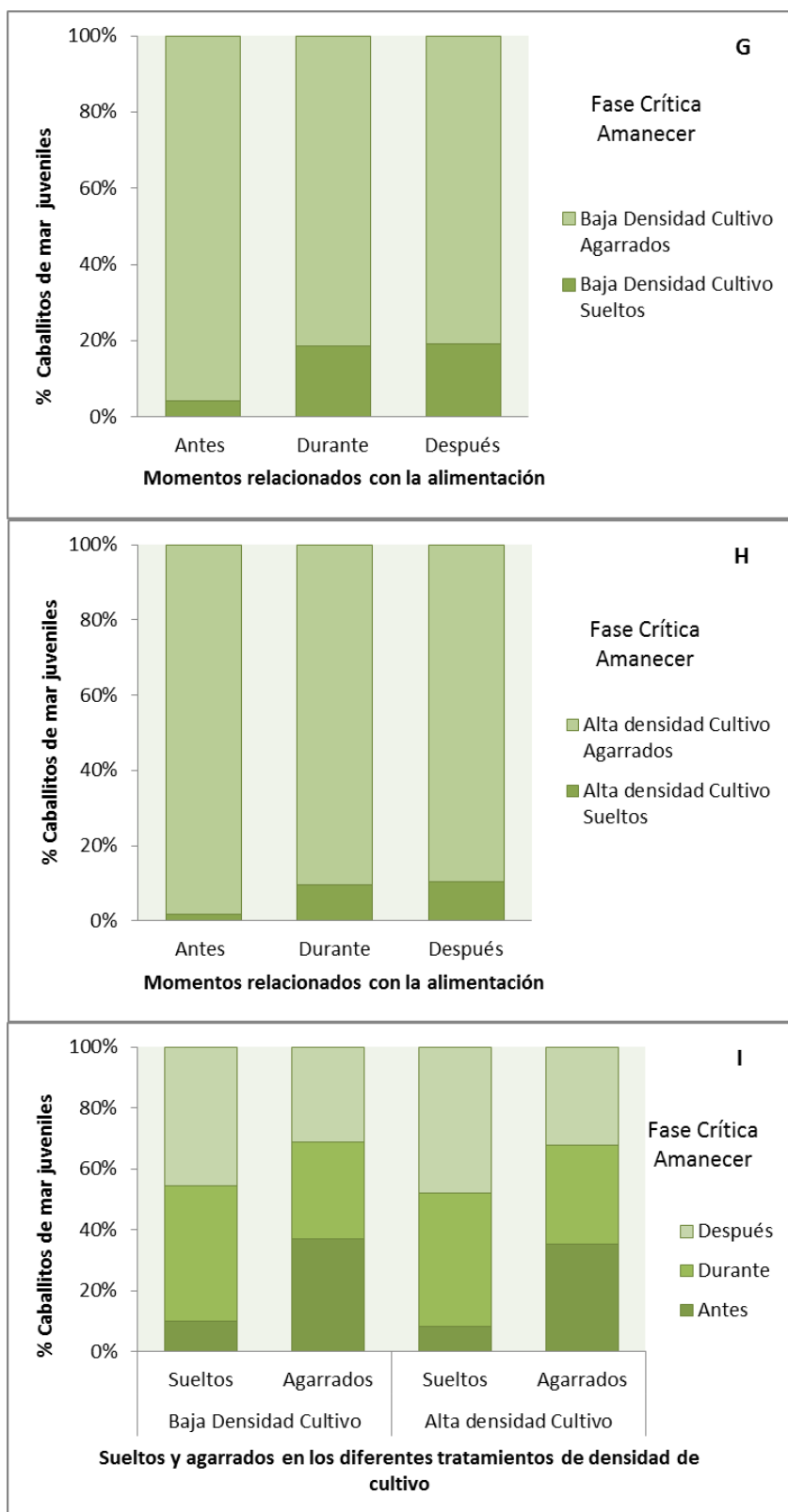


Figura 24. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Crítica, en el amanecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). G: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. H: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. I: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo.

Tabla 5: Frecuencias observadas para los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica

Momento relacionado con la alimentación	Frecuencias Obsevasdas			
	Baja Densidad Cultivo		Alta densidad Cultivo	
	Sueltos	Agarrados	Sueltos	Agarrados
Antes	7	161	6	330
Durante	31	137	32	304
Después	32	136	35	301

Tabla 6: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Crítica ( $\alpha=0.05$ )

Prueba	$X^2$	g.l	P	Resultado
<b>Mutua Independencia</b>	62,87	7	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día, la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación no son independientes en la población
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (momento del día vs densidad de cultivo y comportamiento de fijación)	42,48	6	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día no es independiente de la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación.
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (comportamiento de fijación vs momento del día y densidad de cultivo)	62,87	5	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El comportamiento de fijación no es independiente de la densidad de cultivo y el momento del día
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (densidad de cultivo vs comportamiento de fijación y momento del día)	10,69	5	0,06	La hipótesis nula no es rechazada. La densidad de cultivo es independiente del comportamiento de fijación y del momento del día

#### 5.4. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia

Se observó cómo la presencia de alimento en el amanecer también afectaba a su comportamiento de fijación durante la Fase Intermedia y en ambos tratamientos de densidad de cultivo. Durante la mañana, antes de ser alimentados, los animales permanecían en su mayoría fijados a la estructura, con comportamiento aletargado. En el momento de añadirles alimento, estos se soltaban y aunque la mayoría seguían agarrados, aumentaba la proporción de individuos sueltos en la columna. Al transcurrir entre una hora y una hora y media desde que se le introdujo el alimento en el medio, la proporción de animales sueltos en la columna permaneció ligeramente igual o aumentó levemente (Fig. 25, J y K). También se formaban grupos de animales agarrados unos a otros en la columna de agua durante esta fase.

Las pruebas estadísticas revelan que la proporción de juveniles sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura durante el amanecer y en la Fase Intermedia varía dependiendo del momento relacionado con la alimentación en el que se encuentren, es decir existe diferencia significativa ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los cambios en las proporciones de sueltos y agarrados a lo largo de los diferentes momentos relacionados con la alimentación son diferentes para ambas densidades ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 8).

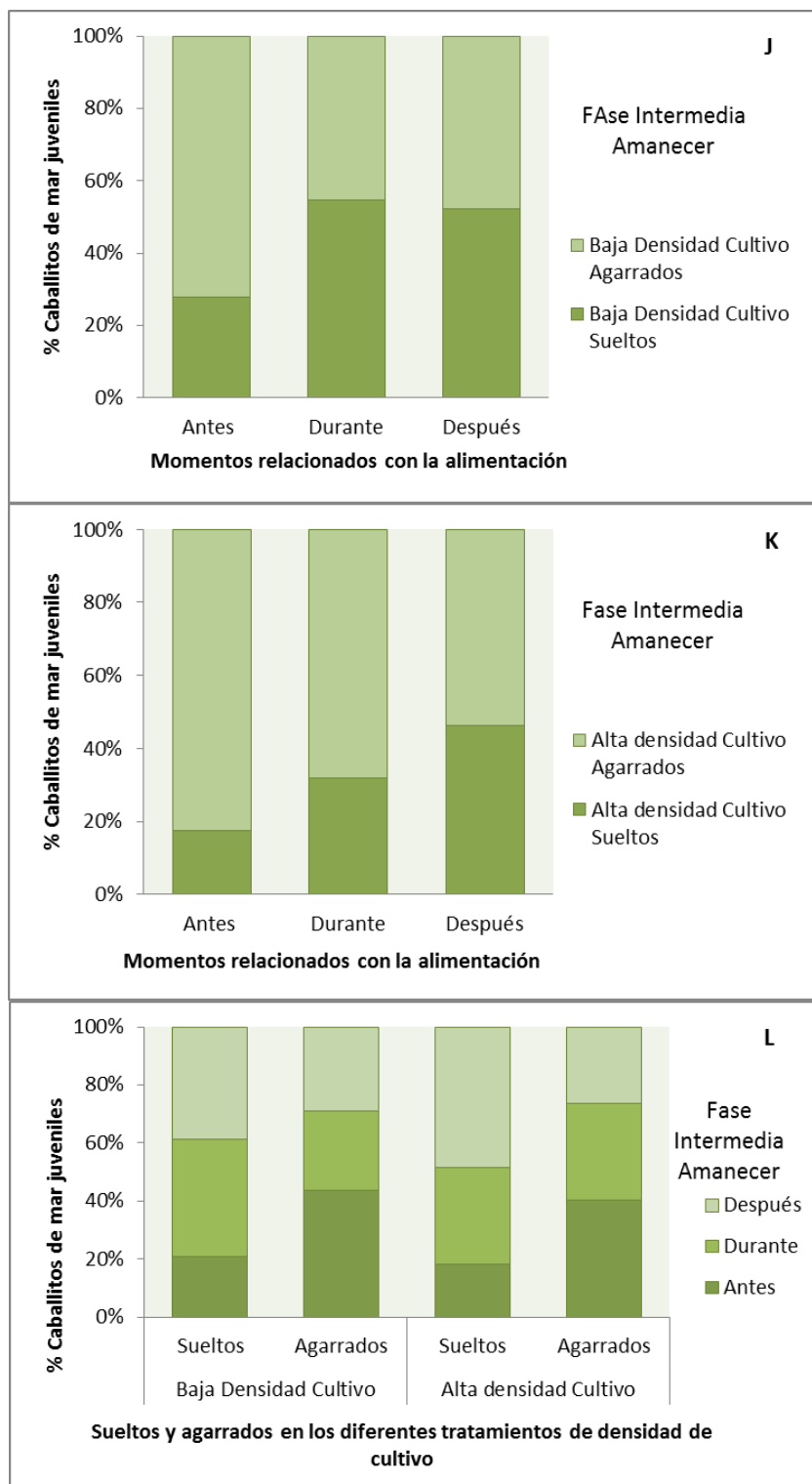


Figura 25. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia, en el amanecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). J: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. K: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. L: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo

Tabla7: Frecuencias observadas para los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia

Momento relacionado con la alimentación	Frecuencias Obsevadas			
	Baja Densidad Cultivo		Alta densidad Cultivo	
	Sueltos	Agarrados	Sueltos	Agarrados
Antes	47	121	59	277
Durante	92	76	107	229
Después	88	80	155	181

Tabla 8: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el amanecer y durante la Fase Intermedia ( $\alpha=0.05$ )

Prueba	$\chi^2$	g.l	P	Resultado
<b>Mutua Independencia</b>	116,62	7	p<0,01	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día, la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación no son independientes en la población
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (momento del día vs densidad de cultivo y comportamiento de fijación)	93,02	6	p<0,01	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día no es independiente de la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación.
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (comportamiento de fijación vs momento del día y densidad de cultivo)	116,62	5	p<0,01	La hipótesis nula es rechazada. El comportamiento de fijación no es independiente de la densidad de cultivo y el momento del día
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (densidad de cultivo vs comportamiento de fijación y momento del día)	31,93	5	p<0,01	La hipótesis nula es rechazada. La densidad de cultivo no es dependiente del comportamiento de fijación y del momento del día



### 5.5. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica

Se observó que durante el atardecer la presencia de alimento también afectaba al comportamiento de fijación en la Fase Crítica y en ambos tratamientos de densidad de cultivo. Antes de ser recibida la toma de alimentación correspondiente a este momento del día, la proporción de animales sueltos en la columna de agua fue mayor que cuando se les introducía el alimento y dicha proporción a su vez disminuía al transcurrir entre una hora y una hora y media (Fig. 26; M y N)

Las pruebas estadísticas revelan que la proporción de juveniles sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura durante el atardecer y en la Fase Crítica varía dependiendo del momento relacionado con la alimentación en el que se encuentren, es decir existe diferencia significativa ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los cambios en las proporciones de sueltos y agarrados a lo largo de los diferentes momentos del día relacionados con la alimentación son diferentes para ambas densidades ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 10).

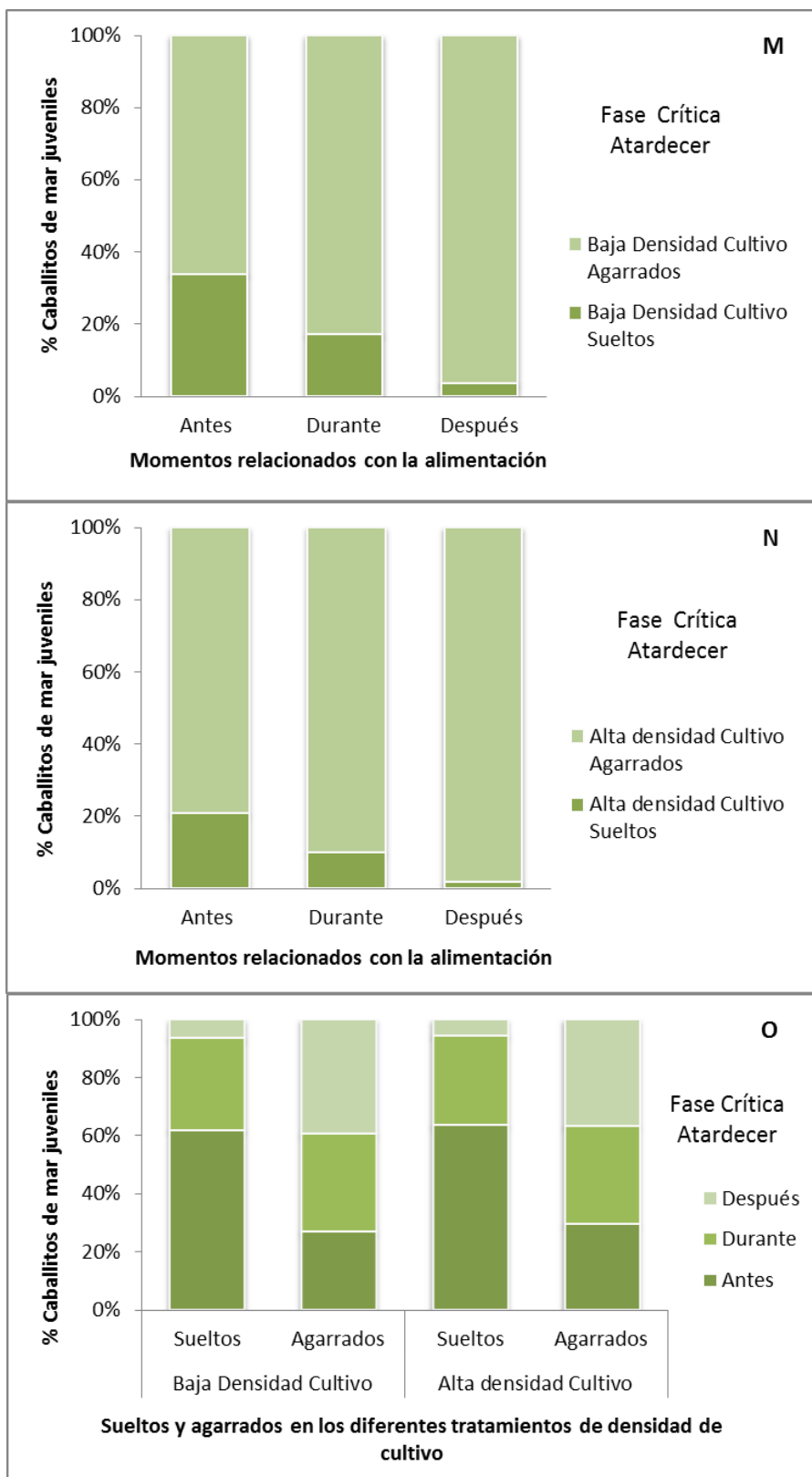


Figura 26: Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Crítica, en el atardecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). M: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. N: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. O: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo

Tabla 9: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica ( $\alpha=0.05$ )

Momento relacionado con la alimentación	Frecuencias Obsevasdas			
	Baja Densidad Cultivo		Alta densidad Cultivo	
	Sueltos	Agarrados	Sueltos	Agarrados
Antes	57	111	70	266
Durante	29	139	34	302
Después	6	162	6	330

Tabla 10 : Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Crítica ( $\alpha=0.05$ )

Prueba	$X^2$	g.l	P	Resultado
<b>Mutua Independencia</b>	135,67	7	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día, la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación no son independientes en la población muestra
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (momento del día vs densidad de cultivo y comportamiento de fijación)	115,07	6	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día no es independiente de la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación.
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (comportamiento de fijación vs momento del día y densidad de cultivo)	135,67	5	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El comportamiento de fijación no es independiente de la densidad de cultivo y el momento del día
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (densidad de cultivo vs comportamiento de fijación y momento del día)	15,41	5	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. La densidad de cultivo no es dependiente del comportamiento de fijación y del momento del día

#### 5.6. Observaciones en diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Intermedia

Se observó que la presencia de alimento también afectaba al comportamiento de fijación durante el atardecer en la Fase Intermedia. Antes de ser recibida la toma de alimentación correspondiente a este momento del día, la proporción de animales sueltos en la columna de agua fue mayor que cuando se les introducía el alimento y dicha proporción a su vez disminuía al transcurrir entre una hora y una hora y media (Fig. 27P). Esto ocurría para los tanques con tratamiento de baja densidad. Para los tanques de alta densidad no se mantenía este patrón de comportamiento de fijación. En este caso, antes de ser recibida la toma de alimentación correspondiente a este momento del día, la proporción de animales sueltos en la columna de agua fue menor que cuando se les introducía el alimento. Esta proporción disminuía al transcurrir entre una hora y una hora y media desde que se le introducía el alimento en el medio (Fig. 27Q)

Las pruebas estadísticas revelan que la proporción de juveniles sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura durante el atardecer y en la Fase Intermedia varía dependiendo del momento relacionado con la alimentación en el que se encuentren, es decir existe diferencia significativa ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los cambios en las proporciones de sueltos y agarrados a lo largo de los diferentes momentos relacionados con la alimentación son diferentes para ambas densidades ( $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 12).

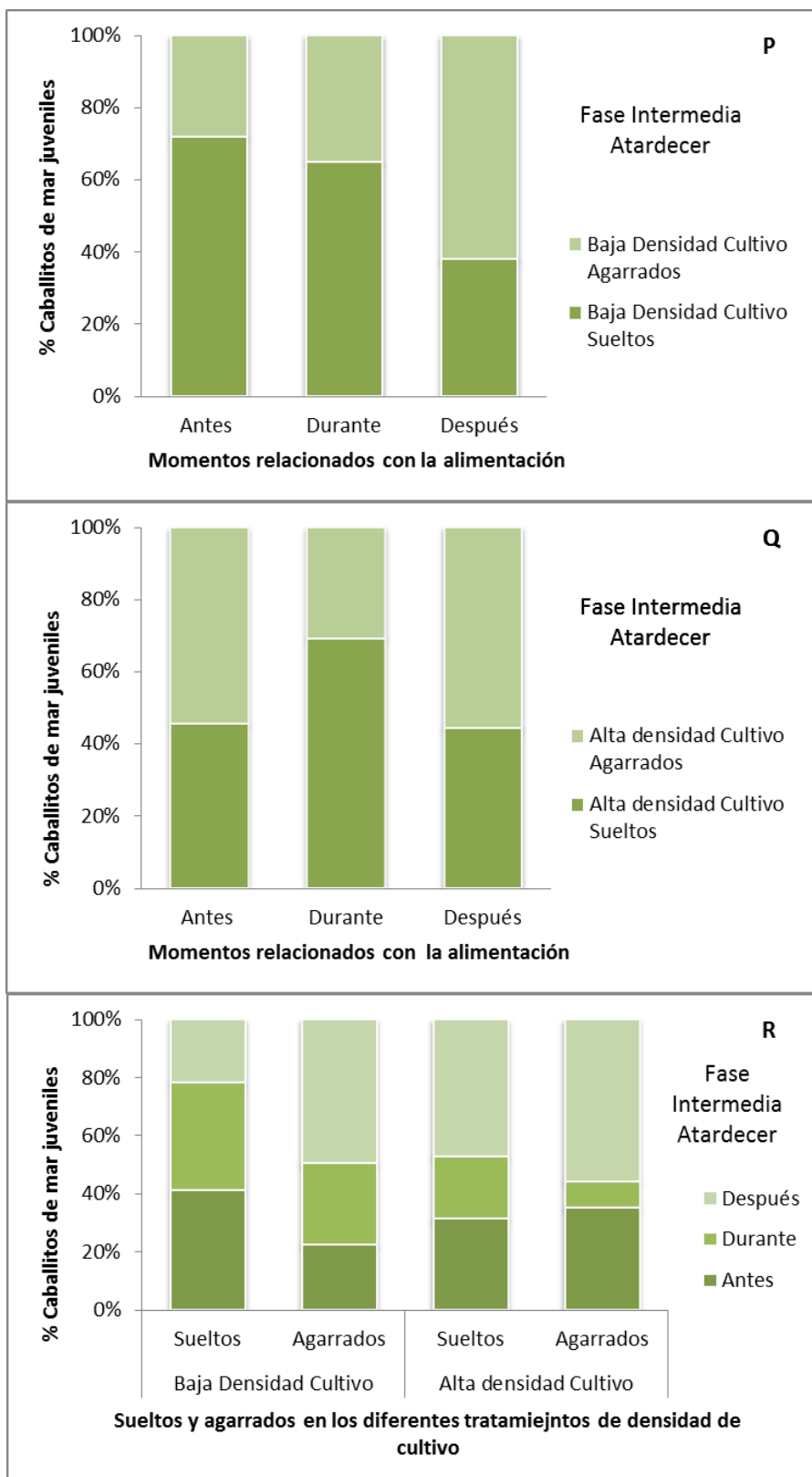


Figura 27. Proporción de animales sueltos en la columna y agarrados a estructura durante la Fase Intermedia, en el atardecer y en los diferentes momentos relacionados con la alimentación (antes, durante y después). P: en tanques con tratamiento de baja densidad de cultivo. Q: en tanques con tratamiento de alta densidad de cultivo. R: comparando entre los dos tratamientos de densidad de cultivo

Tabla 11: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Intermedia ( $\alpha=0.05$ )

Momento relacionado con la alimentación	Frecuencias Obsevasdas			
	Baja Densidad Cultivo		Alta densidad Cultivo	
	Sueltos	Agarrados	Sueltos	Agarrados
Antes	121	47	153	183
Durante	109	59	106	47
Después	64	104	230	289

Tabla 12: Resultado de las pruebas estadísticas llevadas a cabo con las frecuencias observadas los diferentes momentos relacionados con la alimentación, en el atardecer y durante la Fase Intermedia ( $\alpha=0.05$ )

Prueba	$X^2$	g.l	P	Resultado
<b>Mutua Independencia</b>	163,27	7	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día, la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación no son independientes en la población muestra
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (momento del día vs densidad de cultivo y comportamiento de fijación)	139,14	6	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El momento del día no es independiente de la densidad de cultivo y el comportamiento de fijación.
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (comportamiento de fijación vs momento del día y densidad de cultivo)	87,32	5	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. El comportamiento de fijación no es independiente de la densidad de cultivo y el momento del día
<b>Análisis de correlación Parcial</b> (densidad de cultivo vs comportamiento de fijación y momento del día)	84,62	5	$p < 0,01$	La hipótesis nula es rechazada. La densidad de cultivo es dependiente del comportamiento de fijación y del momento del día

## 6. Discusión

Se observó que los juveniles de *H. erectus* tenían capacidad de fijación en menos de 24 horas de vida, ya fuera entre ellos o a estructuras si de ellas disponían. En estudios anteriores realizados con la misma especie no se observó dicha capacidad de fijación hasta los 10 días de vida a pesar de tener los animales disponibilidad de agarre (Alexandre, 2009). Podría ser que en dichos estudios las estructuras de agarre no fueran las adecuadas para juveniles recién nacidos y sí para juveniles con 10 días de vida o más. En la gran mayoría de las especies de caballitos de mar, la capacidad de fijación no se observa hasta pasadas 2 semanas o más desde el nacimiento (Foster *et al.*, 2004). El hecho de que en *H. erectus* esto ocurra tan temprano probablemente le suponga una ventaja permitiéndole focalizar las reservas energéticas y así prolongar la vida del animal, ya que las tasas de supervivencia registradas en el presente trabajo fueron más altas que en otras especies bajo las mismas condiciones de cultivo.

Además las altas tasas de supervivencia obtenidas en el presente trabajo parecen indicar que las densidades de cultivo empleadas no influyen de forma negativa sobre esto. Estudios realizados con otros géneros (Hossain *et al.*, 1998) y con otras especies, como es el caso del *H. abdominales* (Woods, 2003) reflejan lo contrario. Ello puede deberse a la brevedad del presente trabajo, es decir, podría haber existido una influencia negativa de la densidad si dicho trabajo se hubiera prolongado.

Durante el transcurso del presente trabajo, la mayoría de los individuos permanecieron agarrados mediante su cola prensil a las estructuras disponibles. Ello está en concordancia con el tipo de hábitat donde se encuentran en el medio salvaje, la laguna de Chelem. En este lugar abundan los pastos marinos *Halodule wrightii* y *Thalassia testudinum* y las macroalgas, principalmente rodofitas y clorofitas (Herrera-Silveira,

2006; Ortegón-Aznar *et al.*, 2009). Todas estas especies aptas para servir como estructura de fijación para los animales del estudio en cuestión.

Pero si bien es cierto que la mayoría de los individuos permanecieron agarrados a las estructuras, existió una clara diferencia entre la proporción de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura entre el mediodía y el resto de los momentos que se han definido para este experimento, es decir mañana, tarde y noche. Cabe decir que el mediodía coincide con el momento después de ser alimentados. Es decir, cuando la abundancia de alimento en el medio disminuye. Esto probablemente nos esté rebelando el hecho de esta especie en esta edad se encuentre con cierta capacidad de natación que les permite ir en busca de su presa. Además existe una diferencia entre el número de individuos sueltos en la etapa crítica y en la etapa intermedia. En ésta última el número de individuos sueltos es mayor, lo que refuerza la idea de que su capacidad de natación mejora con la edad así como otras capacidades como la visión, y les permite ir en busca de su alimento.



Figura 28: Animales garrados a la estructura, comportamiento que presentaban la mayor parte del tiempo



A pesar de que el número de individuos sueltos aumenta al mediodía, la gran mayoría de los juveniles de *H. erectus* permanecen agarrados, incluso para alimentarse, lo que refuerza la teoría de que los caballitos de mar son una especie oportunista. Esto se ha observado en trabajos realizados con la misma especie (James y Heck, 1994) así como en otras, tal es el caso del *H. reidi* (Felício *et al.*, 2006) o el *H. zosterae* (Tipton y Bell, 1988) donde en términos generales los animales esperan agarrados a su estructura hasta que tienen el alimento a su alcance.

Se observó que los juveniles de *H. erectus* presentaban mayor actividad durante el día que durante la noche o en horas previas a ésta. Diversas especies de caballitos de mar reflejan el mismo comportamiento diurno. Así es el caso por ejemplo de adultos de *H. breviceps* el cual en estudios realizados en cautividad presenta un comportamiento social más evidente durante las primera horas del día cambiando el brillo en el color de su cuerpo cuando están próximos a otros individuos (Moreau y Vincent, 2004). Por otro lado un comportamiento similar se observó en estudios realizados con adultos *H. whitei* el cual cesa su actividad social reflejada en cambios en la coloración pocas horas después del atardecer, a no ser que el cortejo haya comenzado y permanecen inactivos durante la noche (Vincent y Sadler, 1995b). Esto se pudo comprobar con las observaciones realizadas durante el amanecer en momentos relacionados con la alimentación; puede apreciarse como el número de animales sueltos en la columna de agua va en aumento a medida que avanza el día. En cambio las observaciones realizadas en momentos relacionados con la alimentación al atardecer, mostraron un patrón de comportamiento de fijación contrario al que ocurría durante el amanecer. La proporción de animales sueltos en la columna de agua disminuyó después de haber sido

alimentados o lo que es lo mismo, cuando disminuía el alimento en el medio. Los individuos comenzaban a tener comportamientos más aletargados, muy parecidos a los observados en el amanecer, antes de ser alimentados, es decir, la actividad disminuía en este momento. Esto hace pensar que no es tanto la abundancia de alimento en el medio lo que determina su patrón de comportamiento de fijación sino el momento del día, reforzándose la idea de que los juveniles de *H. erectus* son animales de hábitos diurnos.

El comportamiento de fijación durante la Etapa Crítica en el amanecer no presentó diferencias entre la densidad de cultivo baja y alta y en cambio sí en la Etapa Intermedia. Durante esta etapa el número de individuos sueltos en la columna de agua fue mayor en los acuarios con densidad de cultivo baja con respecto a los acuarios con densidad de cultivo alta. En la Etapa Intermedia los juveniles de *H. erectus* tienen más de 20 días de vida, han aumentado en tamaño en el transcurso de estas primeras semanas (Choo y Liew, 2006; Lin *et al.*, 2008b). Un aumento del tamaño y volumen de los individuos mantenidos en un mismo recipiente y en densidades constantes conlleva a un aumento en la densidad de cultivo (mg de biomasa por ml de volumen) lo que puede influir en su comportamiento de fijación.

Al finalizar el presente trabajo se hace latente la necesidad de estudiar en profundidad la relación entre el comportamiento de fijación y la presencia de alimento. Durante el presente trabajo se observó que no solo aumentaba la proporción de individuos sueltos en la columna de agua en momentos posteriores a la alimentación en el amanecer, o que disminuía en momentos posteriores a la alimentación en el atardecer, sino que muchos de estos individuos que se soltaban de la estructura y se agarraban unos a otros formando grupos. Sería interesante comprobar si dicho comportamiento de agrupación

influye de forma positiva o negativa en la tasa de ingestión o si es el resultado de una competencia entre ellos al ir creciendo. Además sería interesante realizar observaciones con otras especies, para comparar el comportamiento de fijación o incluso con la misma especie pero proveniente de otros ambientes, para determinar si dicho comportamiento es característica de la especie o por el contrario de la región donde se encuentran las diferentes poblaciones.

## 7. Conclusiones

1. Los juveniles de caballito de mar *H. erectus* son capaces de pasar de la fase planctónica a la fase bentónica en menos de 24 horas de vida.
2. La altas tasas supervivencia obtenida durante las fases de desarrollo estudiadas confirman a la especie *H. erectus* como buena candidata para su cultivo.
3. El comportamiento de fijación durante la Etapa Crítica en el amanecer no presentó diferencias entre la densidad de cultivo baja y alta y en cambio sí en la Etapa Intermedia. Durante esta etapa el número de individuos sueltos en la columna de agua fue mayor en los acuarios con densidad de cultivo baja con respecto a los acuarios con densidad de cultivo alta.
4. La densidad influyó sobre el comportamiento de fijación en el amanecer durante la Etapa Intermedia pero no en la Etapa Crítica en los momentos relacionados con la alimentación. El número de animales sueltos en la columna de agua fue menor en densidad baja con respecto a densidad alta en ambas etapas.
5. La densidad influyó sobre el comportamiento de fijación en ambas etapas de desarrollo durante el atardecer en los momentos relacionados con la alimentación. En la Etapa Crítica el número de animales sueltos en la columna de agua fue mayor en densidad baja y durante la Etapa Intermedia fue mayor en densidad alta.
6. La proporción de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura varió en función del momento del día en el que se encontraban presentando una mayor cantidad de animales sueltos en la columna de agua durante el mediodía con respecto al resto de los momentos definidos en ambas etapas de desarrollo.

7. La cantidad de animales sueltos en la columna de agua en los diferentes momentos del día aumenta en la Etapa Intermedia con respecto a la Etapa Crítica.
8. La proporción de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura estuvo influenciada por la alimentación durante la mañana en ambos tratamientos de densidad de cultivo y durante las dos etapas de desarrollo estudiadas, aumentándose la proporción de animales sueltos en la columna al pasar entre una y dos horas después de la alimentación.
9. La proporción de animales sueltos en la columna de agua y agarrados a estructura estuvo influenciada por la alimentación durante la tarde en ambos tratamientos de densidad de cultivo y durante las dos etapas de desarrollo estudiadas, disminuyendo la proporción de animales sueltos en la columna hasta pasar entre una y dos horas después de la alimentación.
10. Demostraron un comportamiento diurno. Los animales en el momento después de la alimentación durante la tarde comenzaban a tener un comportamiento similar al observado en el amanecer, antes de ser alimentados, es decir, el momento del día fue lo que determinó el comportamiento de fijación por encima de la abundancia de alimento o la densidad de cultivo.

## 8. Bibliografía

- Alexandre, D. 2009. "Sobrevivência e Crescimento de juvenis de cavalos-marinhos (*Hippocampus sp.*)", Tese de Mestre. Universidade do Algarve, Campus Gambelas, Faro, Portugal.
- Baum, J. K., Meeuwig, J. J. y Vincent, A. C. J. 2003. "Bycatch of lined seahorses (*Hippocampus erectus*) in a Gulf of Mexico shrimp trawl fishery." Fishery Bulletin **101**(4): 721-731.
- Bruckner, A. W. 2005. "The importance of the marine ornamental reef fish trade in the wider Caribbean." Revista de Biología Tropical **53**(Supl. 1): 127-137.
- Cato, J. y Brown, C. L. 2003. "Marine ornamental species: collection, culture and conservation." Iowa State Press, Ames: 395pp.
- CITES 2014. Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora. Apéndice II.
- Curtis, J. M. R., Moreau, M.-A., Marsden, D. A., Bell, E. M., Martin-Smith, K., Samoilys, M. A. y Vincent, A. C. J. (2004). Underwater visual census for seahorse population assessments, Project Seahorse, Fisheries Centre, University of British Columbia.
- Curtis, J. M. R. y Vincent, A. C. J. 2006. "Life history of an unusual marine fish: survival, growth and movement patterns of *Hippocampus guttulatus* Cuvier 1829." Journal of Fish Biology **67**: 707-733.
- Choo, C. K. y Liew, H. C. 2006. "Morphological development and allometric growth patterns in the juvenile seahorse *Hippocampus kuda* Bleker." Journal of Fish Biology **69**(2): 426-445.
- Dzyuba, B., VanLook, K. J. W., Cliffe, A., Koldewey, H. J. y Holt, W. V. 2006. "Effect of parental age and associated size on fecundity, growth and survival in the yellow seahorse *Hippocampus kuda*." The Journal of Experimental Biology **209**: 3055-3061.
- Faleiro, F., Narciso, L. y Vicente, L. 2008. "Seahorse behaviour and aquaculture: How to improve *Hippocampus guttulatus* husbandry and reproduction?" Aquaculture **288**(1-4): 33-40.
- Felício, A. K. C., Rosa, I. L., Souto, A. y Freitas, R. H. A. 2006. "Feeding behavior of the longsnout seahorse *Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933." Japan Ethological Society and Springer-Verlag **24**: 219-225.
- Foster, S. J. y Vincent, A. C. J. 2004. "Review paper: Life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management." Journal of Fish Biology **65**(1): 1-61.
- Gardner, T. 2008. "The Copepod/Artemia Tradeoff in the Captive Culture of *Hippocampus Erectus*, a Vulnerable Species in Lower New York State". Marine Ornamental Species, Blackwell Publishing Company: 297-304.
- Herrera-Silveira, J. A. 2006. "Lagunas costeras de Yucatán (SE México), investigación, diagnóstico y manejo." Ecotrópicos **19**(2): 94-108.
- Hora, M. d. S. C. d. y Joyeux, J.-C. 2009. "Closing the reproductive cycle: Growth of the seahorse *Hippocampus reidi* (Teleostei, Syngnathidae) from birth to adulthood under experimental conditions." Aquaculture **292**(1-2): 37-41.
- Hossain, M. A. R., Beveridge, M. C. M. y Haylor, G. S. 1998. "The effects of stocking density, light and shelter on the growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) fingerlings. ." Aquaculture **160**: 251-258.

- IUCN. (2014). "Lista roja de las especies amenazadas de la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN)." Retrieved 02/02/2013, from [www.redlist.org](http://www.redlist.org).
- James, P. L. y Heck, K. L. J. 1994. "The effects of habitat complexity and light intensity on ambush predation within a simulated seagrass habitat." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **176**: 187–200.
- Jiménez-García 2012. "Aspectos de la biología reproductiva y conducta del caballito de mar *Hippocampus erectus*", Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Nacional de México.
- Koldewey, H. J. (2005). "Syngnathid Husbandry in Public Aquariums". Manual, Project Seahorse: 137.
- Koldewey, H. J. y Martin-Smith, K. M. 2010. "A Global review of seahorse aquaculture." Aquaculture **302**(3-4): 131-152.
- Kuiter, R. H. 2009. "Seahorses and their relatives." Seaford: Aquatic Photographics **77**: 308-309.
- Kvarnemo, C., Moore, D. I., Jones, A. G., Nelson, W. S. y Avise, J. C. 2000. "Monogamous pair bonds and mate switching in the Western Australian seahorse *Hippocampus subelongatus*." Journal of Evolutionary Biology **13**(6): 882-888.
- Lin, Q., Lin, J. y Huang, L. 2010. "Effects of light intensity, stocking density and temperature on the air-bubble disease, survivorship and growth of early juvenile seahorse *Hippocampus erectus* Perry, 1810." Aquaculture Research **42**(1): 91-98.
- Lin, Q., Lin, J. y Zhang, D. 2008a. "Breeding and juvenil culture of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* Perry, 1810." Aquaculture **277**(3-4): 287-292.
- Lin, Q., Lin, J. y Zhang, D. 2008b. "Breeding and juvenile culture of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* Perry, 1810." Aquaculture **277**(3-4): 287-292.
- Lin, Q., Lin, J., Zhang, D. y Wang, Y. 2009a. "Weaning of juvenile seahorses *Hippocampus erectus* Perry, 1810 from live to frozen food." Aquaculture **291**(3-4): 224-229.
- Lin, Q., Zhang, D. y Lin, J. 2009b. "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.
- Lourie, S. A. (2003). Measuring seahorses, Project Seahorse, Fisheries Centre, University of British Columbia.
- Lourie, S. A., Foster, S. J., Cooper, E. W. T. y Vincent, A. C. J. (2004). "A Guide to the Identification of Seahorses". Washington, University of British Columbia and World Wildlife Fund.
- Martin-Smith, K. y Vincent, A. C. J. 2005. "Seahorse declines in the Derwent estuary, Tasmania in the absence of fishing pressure." Biological Conservation **123**(4): 533-545.
- Martinez-Cardenas, L. y Purser, G. J. 2011. "Effect of stocking density and photoperiod on growth and survival in cultured early juvenile pot-bellied seahorses *Hippocampus abdominalis* Lesson, 1827." Aquaculture Research **43**(10): 1536-1549.
- Monticini, P. 2010. "The ornamental fish trade, production and commerce of ornamental fish: technical-managerial and legislative aspects. ." GLOBEFISH Research Programme. **102**. : 132.

- Moreau, M.-A. y Vincent, A. C. J. 2004. "Social structure and space use in a wild population of the Australian short-headed seahorse *Hippocampus breviceps* Peters, 1869." Marine and Fresh Research **55**: 231-239.
- Murugan, A., Dhanya, S., Sreepada, R. A., Rajagopal, S. y Balasubramanian, T. 2009. "Breeding and mass-scale rearing of three spotted seahorse, *Hippocampus trimaculatus* Leach under captive conditions." Aquaculture **290**(1-2): 87-96.
- Oliveira, R. y Galhardo, L. 2007. "Sobre a aplicação do conceito de bem-estar a peixes teleósteos e implicações para a piscicultura." Revista Brasileira de Zootecnia **36**: 77-86.
- Ortegón-Aznar, I., Sánchez-Molina, I. y Casanova-Cetz, R. 2009. "Distribuição espaço-temporal das algas marinhas de uma laguna costeira do norte da Península de Yucatán, México." Neotropical Biology and Conservation **4**(2): 99-105.
- Otero-Ferrer, F. 2012a. Los caballitos de mar en Gran Canaria(España): la ecología y la Acuicultura como herramientas complementarias para la Conservación Marina, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Otero-Ferrer, F. 2012b. Seahorses in Gran Canaria Island (Spain):Ecology and Aquaculture-Combined Tools for MARine Conservation Issues, Tesis Doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria. **Tesis Doctoral**: 273.
- Otero-Ferrer, F., Molina, L., Socorro, J., Herrera, R., Fernández-Palacios, H. y Soledad Izquierdo, M. 2010b. "Live prey first feeding regimes for short-snouted seahorse *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1758) juveniles." Aquaculture Research **41**(9): e8-e19.
- Palma, J., Bureau, D. P. y Andrade, J. P. 2011. "Effect of different Artemia enrichments and feeding protocol for rearing juvenile long snout seahorse, *Hippocampus guttulatus*." Aquaculture **318**(3-4): 439-443.
- Payne, M. F. y Rippingale, R. J. 2000. "Rearing West Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*." Aquaculture **188**(3-4): 353-361.
- Perez-Ruzaba, A. y Marcos-Diego, C. 1985. "Técnicas de recolección y estudio en la clase *Holothuroidea*. Generalidades, sistemática, ecología, biología y comportamiento." Anales de Biología (Biología Animal, I.) **3**: 13-35.
- Planas, M., Quintas, P. y Chamorro, A. 2013. "Maturation of *Hippocampus guttulatus* and *Hippocampus hippocampus* females by manipulation of temperature and photoperiod regimes." Aquaculture **388-391**: 147-152.
- Reynoso, F. L., Castañeda-Chávez, M., Zamora-Castro, J. E., Hernández-Zárate, G., Ramírez-Barragán, M. A. y Solís-Morán, E. 2012. "La acuariofilia de especies ornamentales marinas: un mercado de retos y oportunidades." Latin American Journal of Aquatic Research **40** (1): 12-21.
- Segade, A. 2012. Caracterización y modulación del color en el caballito de mar (*Hippocampus hippocampus*). Las Palmas de Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. **Master**: 76.
- Setu, S. K., Ajith Kumar, T. T., Balasubramanian, T., Dabbagh, A. R. y Keshavarz, M. 2010. "Breeding and rearing of regal damselfish *Neopomacentrus cyanomos* (Bleeker, 1856): the role of green water in larval survival. ." World J. Fish Mar. Sci. **2**(6): 551-557.
- Teixeira, R. L. y Musik, J. A. 2001. "Reproduction and food habits of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Teleostei: Syngnathidae) of Chesapeake bay, Virginia." Revista Brasileira de Biología **61**(1): 79-90.



- Tipton, K. y Bell, S. S. 1988. "Foraging patterns of two syngnathid fishes: importance of harpacticoid copepods." Marine Ecology Progress Series **47**: 31-43.
- Thlusty, M. 2002. "The benefits and risks of aquacultural production for the aquarium trade. ." Aquaculture **205**: 203-219.
- Vincent, A. C. J. 1994a. " Seahorses exhibit conventional sex roles in mating competition, despite male pregnancy." Behaviour **128**: 135-151.
- Vincent, A. C. J. 1994b. "Operational sex ratios in seahorses. ." Behaviour **128**: 153-167.
- Vincent, A. C. J. 1995. "A role for daily greeting in maintaining seahorse pair bonds." Animal Behaviour **49**(1): 258-260.
- Vincent, A. C. J. 1996. "*The International Trade in Seahorses*. ." Cambridge: TRAFFIC International.
- Vincent, A. C. J., Foster, S. J. y Koldewey, H. J. 2011. "Conservation and management of seahorses and other Syngnathidae." Journal of Fish Biology **78**(6): 1681-1724.
- Vincent, A. C. J. y Sadler, L. M. 1995a. "Faithful pair bonds in wild seahorses, *Hippocampus whitei*." Animal Behaviour **50**(6): 1557-1569.
- Vincent, A. C. J. y Sadler, L. M. 1995b. "Faithful pair bonds in wild seahorses, *Hippocampus whitei*." Animal Behaviour **50**: 1557-1569.
- Wabnitz, C., Taylor, M., Green, E. y Razak, T. (2003). From Oceans to Aquarium. Cambridge, UK, UNEP World Conservation Monitoring Center.
- Wabnitz C., Taylor M., Green E. y T., R. 2003. " From ocean to aquarium." Cambridge, UK. United Nations Environment Programme - World Conservation Monitoring Centre.
- Wijesekara, R. G. S. y Yakupitiyage, A. 2000. "Ornamental fish industry in Sri Lanka: present status and future trends." Aquarium Sciences and Conservation **3**: 241-252.
- Willadino, L., P., S.-S. L., Mélo, R. C. S., Brito, A. P., Barros, C. S., Araújo-Castro, C. M. V., Galvão, D. B., Gouveia, A., Regis, C. G. y Cavalli, R. O. 2012a. "Ingestion rate, survival and growth of newly released seahorse *Hippocampus reidi* fed exclusively on cultured live food items." Aquaculture **360-361**: 10-16.
- Willadino, L., Souza-Santos, L. P., Mélo, R. C. S., Brito, A. P., Barros, N. C. S., Araújo-Castro, C. M. V., Galvão, D. B., Gouveia, A., Regis, C. G. y Cavalli, R. O. 2012b. "Ingestion rate, survival and growth of newly released seahorse *Hippocampus reidi* fed exclusively on cultured live food items." Aquaculture **360-361**: 10-16.
- Wood, E. 2001. "Collection of coral reef fish for aquaria: Global trade, conservation issues and management strategies." Marine Conservation Society: 80pp.
- Woods, C. M. C. 2000a. "Improving initial survival in cultured seahorses, *Hippocampus abdominalis* Leeson, 1827 (Teleostei:Syngnathidae)." Aquaculture **190**: 377-388.
- Woods, C. M. C. 2000b. "Preliminary observations on breeding and rearing the seahorse *Hippocampus abdominalis* (Teleostei: Syngnathidae) in captivity." New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research **34**(3): 475-485.
- Woods, C. M. C. 2003. "Effect of stocking density and gender segregation in the seahorse *Hippocampus abdominalis*." Aquaculture **218**: 167-176.
- Woods, C. M. C. 2005c. "Evaluation of VI-alpha and PIT tagging of the seahorse *Hippocampus*

*abdominalis*. ." Aquaculture International. **13**: 175-186.

Zhang, D., Zhang, Y., Lin, J. y Lin, Q. 2010. "Growth and survival of juvenile lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Perry), at different stocking densities." Aquaculture Research **42**(1): 9-13.