



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultade de Ciencias

Grao en Bioloxía

Memoria do Traballo de Fin de Grao

Efecto de la complejidad de macrófitos en la selección de hábitat por peces juveniles bajo experimentos en condiciones controladas

Effect of macrophyte complexity on habitat selection by juvenile fish under controlled condition experiments

Efecto da complexidade de macrófitos na selección de hábitat por peixes xuvenís baixo experimentos en condicións controladas

Alberto Gayá Vilar

Curso: 2020 - 2021.

Convocatoria: Febrero

Director 1: Hilmar Hinz

Directora 2: Nuria Fernández Rodríguez



ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	1
Resumo	2
Introducción	3
Materiales y métodos	5
2.1 Especie estudiada	5
2.2 Captura de peces	6
2.3 Diseño experimental	7
2.4 Experimentos de elección de microhábitats	8
2.5 Grabación	8
2.6 Mantenimiento	9
2.7 Prueba experimental	10
2.8 Tratamiento de vídeo	10
2.9 Tratamiento de las algas para la determinación de la complejidad del hábitat	10
2.10 Análisis estadístico	11
Resultados	12
3.1 Experimento Cystoseira-like distinta altura	12
3.2 Experimento Dictyota-like distinta altura	13
3.3 Experimento distinta arquitectura misma altura	15
3.4 Estudio de la movilidad por tratamiento	16
3.5 Estudio de diferencia de complejidad	17
Discusión	17
Conclusión	19
Conclusion	20
Conclusión	20
Bibliografía	20
ANEXO: Algas	27

Resumen

Los hábitats guardería formados por macrófitos son un importante servicio ecosistémico ampliamente reconocido en la valoración de los ecosistemas costeros. Sin embargo, el efecto de la complejidad de las macroalgas sobre la elección de hábitat de los peces juveniles, sigue siendo poco conocido. En nuestro estudio determinamos el impacto de la complejidad algal respecto a la elección de hábitats por peces juveniles mediante señales visuales. Para ello recogimos ejemplares de juveniles de *Coris julis*, especie común en el arrecife rocoso mediterráneo. Realizamos varios experimentos de elección *ex situ* en los que se estudió la respuesta del pez a estímulos visuales de distinta complejidad. Creamos tres escenarios con cuatro microhábitats formados por macrófitos de plástico de diversas complejidades. Dos de los escenarios presentaban algas de la misma arquitectura con distinta altura y el tercero con algas de distinta arquitectura con misma altura. Calculamos la complejidad de las algas mediante dimensión fractal, obteniendo índices de complejidad para cada microhábitat. Observamos que los peces juveniles fueron capaces de diferenciar distintas complejidades de hábitat escogiendo aquellos hábitats con mayor complejidad. Esto es debido a que el incremento de la complejidad aumenta las oportunidades de forraje y refugio, convirtiendo a los hábitats de macrófitos complejos en un valorado servicio ecosistémico que precisa conservación y rehabilitación.

Abstract

Macrophyte nursery habitats are an important ecosystem service widely recognized in the valuation of coastal ecosystems. However, the effect of macroalgal complexity on juvenile fishes choice remains poorly understood. In our study we determined the impact of algal complexity on habitat choice by juvenile fishes using visual cues. For this we collected specimens of juvenile *Coris julis*, a common species in the mediterranean rocky reef. We performed several *ex situ* choice experiments in which we studied the response of fish to visual stimuli of varying complexity. We created three scenarios with four microhabitats formed by plastic macrophytes of various complexities. Two of the scenarios had algae of the same architecture with different heights and the third one had algae of different

architecture with the same height. We calculate the complexity of algae by fractal dimension, obtaining complexity indices for each microhabitat. We observed that juvenile fishes differed according to habitat complexity, choosing habitats with higher complexity. This is because greater complexity increases opportunities for forage and shelter, turning complex macrophyte habitats into a valued ecosystem service that needs conservation and rehabilitation.

Resumo

Os hábitats gardería formados por macrófitos, son un importante servizo ecosistémico amplamente recoñecido na valoración dos ecosistemas costeiros. Con todo, o efecto da complexidade das macroalgas sobre a elección de hábitat dos peixes xuvenís, segue sendo pouco coñecido. No noso estudo determinamos o impacto da complexidade algal respecto á elección de hábitats por peixes xuvenís mediante sinais visuais. Para iso recollimos exemplares de xuvenís de *Coris julis*, especie común no arrecife rochoso mediterráneo. Realizamos varios experimentos de elección *ex situ* nos que se estudou a resposta do peixe a estímulos visuais de distinta complexidade. Creamos tres escenarios con catro microhábitats formados por macrófitos de plástico de diversas complexidades. Dous dos escenarios presentaban algas da mesma arquitectura distinta altura, e o terceiro, con algas de distinta arquitectura mesma altura. Calculamos a complexidade das algas mediante dimensión fractal, obtendo índices de complexidade para cada microhábitat. Observamos que os peixes xuvenís diferenciaron en función da complexidade do hábitat escollendo aqueles hábitats con maior complexidade. Isto é debido a que o incremento da complexidade aumenta as oportunidades de forraxe e refuxio, convertendo aos hábitats de macrófitos complexos, nun valorado servizo ecosistémico que precisa conservación e rehabilitación.

Palabras clave: Complejidad de hábitat · Comportamiento · juvenil · estímulo visual · *Coris julis* · macrófito · *ex situ* · elección de hábitat · Mar Mediterráneo

Key words: Habitat complexity · Behaviour · juvenile · visual stimulus · *Coris julis* · macrophyte · *ex situ* · habitat choice · Mediterranean Sea

Palabras chave: Complexidade de hábitat · Comportamento · xuvenil · estímulo visual · *Coris julis* · macrófito · *ex situ* · elección de hábitat · Mar Mediterráneo

Introducción

La capacidad de los animales para adquirir información de su entorno es esencial para la orientación hacia hábitats adecuados, e influye en su eficiencia y supervivencia. Las señales ambientales, tanto bióticas como abióticas, pueden guiar a los animales a través de un mosaico de diferentes ambientes. Para responder a estas señales, los sistemas sensoriales deben desarrollarse y sintonizarse con información precisa y relevante, que variará entre especies y puede cambiar para las diferentes fases de vida de una especie (Huijbers, *et al.* 2012).

Los lábridos del Mediterráneo son peces marinos demersales, que muestran una estrategia de vida de dos fases, con una etapa larvaria oceánica pelágica seguida de una fase juvenil demersal sedentaria (Caley, *et al.* 1996; Igulu, *et al.* 2011; Fontes, *et al.* 2016). Por lo tanto, deben enfrentarse al desafío de encontrar un hábitat bentónico adecuado tras completar la fase larvaria oceánica. Durante su fase pelágica, las larvas se transforman rápidamente de individuos planctónicos a nadadores con órganos receptores bien desarrollados. Estos permiten detectar su entorno, capacitando la orientación hacia sitios de asentamiento específicos (Leis, 2002 ; Igulu, *et al.* 2011)

Se sabe que los sentidos visuales, olfativos y auditivos son funcionales en los peces a la hora de instalarse en el primer hábitat bentónico (Myrberg and Fuiman, 2002; Montgomery, *et al.* 2006; Huijbers, *et al.* 2008; Simpson, *et al.* 2008). Las señales visuales desempeñan un papel crucial en la selección de microhábitats durante el asentamiento y las fases de vida demersal. Lecchini *et al.* (2007) demostraron que el uso de señales visuales puede ayudar a identificar microhábitats específicos o la presencia de conoespecíficos, para encontrar un hábitat apropiado. Los hábitats más complejos son los más seleccionados debido al aumento de la supervivencia y la alta disponibilidad de alimento (Heck & Crowder, 1991; Jeffries, 1993; Gee & Warwick, 1994; Crowder, *et al.* 1998; Bell, *et al.* 2003; ; Kelaher & Castilla, 2005; Matias, *et al.* 2010 ;Kovalenko, *et al.* 2012; Cheminée, *et al.* 2016; Mercader, *et al.* 2017). La visión es especialmente

importante en entornos donde la transparencia del agua es alta (McCormick & Manassa, 2008) como en los arrecifes rocosos del mediterráneo.

La complejidad del hábitat (es decir, los niveles de esfuerzo de interacción entre las especies y el ambiente, sensu Ortiz *et al.* (2015)) es un valor muy mencionado en la bibliografía en relación a las poblaciones de peces. La complejidad del hábitat se relaciona con la diversidad, abundancia (Harborne, *et al.* 2011a) y comportamiento de las especies (Harborne, *et al.* 2011b; Cheminée, *et al.* 2016). Para medir el grado de complejidad del hábitat en ecología se utiliza como herramienta la dimensión fractal, capaz de medir la complejidad de ambientes a distintas escalas (Kostylev, *et al.* 2005; Johnson, *et al.* 2013), desde escalas globales en las que podemos tener en cuenta las migraciones de individuos adultos entre localidades remotas (Amilhat, *et al.* 2016), a escalas locales en las que se relaciona la tasa de depredación y la disponibilidad de alimentos con la complejidad de comunidades algales sobre arrecifes rocosos (Hinz, *et al.* 2019). A escalas locales la dimensión fractal es capaz de medir diferencias en la estructura tridimensional de macrófitos que determinen la "calidad" del hábitat en términos de la relación entre la disponibilidad de alimentos y la tasa de depredación, lo que da como resultado una elección activa de hábitat y/o una mortalidad diferencial de individuos entre hábitats (Dahlgren & Eggleston, 2000; Cheminée, *et al.* 2016; Thomaz, *et al.* 2018).

La alteración de la complejidad del hábitat trae consecuencias que pueden tener efectos en cascada sobre la abundancia y composición de especies. Se ha observado que las praderas y bosques de macroalgas están siendo reemplazados por hábitats de menor complejidad (Agnetta, *et al.* 2015). Estos cambios son causados por factores estresantes antropogénicos y sus posibles efectos sinérgicos como la urbanización de la costa, la contaminación (Sales, *et al.* 2011), el aumento de la turbidez del agua (Milazzo, *et al.* 2004) , las especies invasoras (Sala, *et al.* 2011) y la sobrepesca de depredadores (Sala, *et al.* 1997) que pueden causar el sobrepastoreo de los herbívoros nativos, incluidos los erizos de mar y el pez *Sarpa salpa* (Hereu, 2004; Cuadros, *et al.* 2019). Estos cambios pueden tener un impacto dramático sobre los servicios ecosistémicos como, por ejemplo, sobre el funcionamiento de las zonas de desove o cría (Cheminée, *et al.*

2017b). Se ha demostrado que la complejidad del hábitat, con el tiempo tiene un impacto positivo sobre la abundancia de juveniles de distintas especies (Amilhat, *et al.* 2016). Es por ello que su conservación y rehabilitación es de vital importancia para mantener los roles del ecosistema (Mercader, *et al.* 2017).

Los hábitats guardería costeros son un importante servicio ecosistémico cuya conservación es de vital importancia para mantener las poblaciones de adultos. En nuestro estudio queremos determinar el valor de la complejidad de macrófitos en los hábitats guardería, para lo cual medimos el efecto de la complejidad algal respecto a la elección de hábitats por peces juveniles mediante señales visuales. Para ello, con la especie *Coris julis* realizamos experimentos de selección de hábitat con los siguientes objetivos específicos: i) Determinar diferencias en la selección de microhábitats con algas de un mismo morfotipo pero distinta altura. ii) Determinar diferencias en la selección de microhábitats con algas con distinto morfotipo e igual altura. Además, como objetivo metodológico, se analizó cómo varía el cálculo de complejidad de una unidad de alga respecto a un conjunto en dos dimensiones.

Materiales y métodos

2.1 Especie estudiada

El estudio se enfocó en una especie de pez común y abundante del arrecife rocoso litoral mediterráneo, *Coris julis*, comúnmente conocido como “doncella”. La especie fue escogida por la gran abundancia de juveniles en el periodo de verano (Cheminée, *et al.* 2016; Hinz, *et al.* 2019): Bussotti & Guidetti (2011) indicaron un máximo pico de asentamiento de Lábridos entre julio y agosto, en cambio Raventós (2006) publicó un pico de asentamiento entre julio y mediados de julio. Hinz *et al.* (2019) y Cuadros *et al.* (2019) observaron un mayor pico de densidad a finales de agosto.

C. julis se distribuye en abundancia en gran variedad de hábitats (Cheminée, *et al.* 2016; Guidetti, 2000) pudiendo encontrarse tanto en hábitats rocosos con alta cobertura algal (Félix, *et al.* 2014; Hinz, *et al.* 2019) como en praderas de *Posidonia*

oceanica (Guidetti, 2000). Pudimos observar una posible relación entre los juveniles de *C. julis* y hábitats dominados por *Padina pavonica* - Turf (“ensamblajes de múltiples especies de algas bentónicas filamentosas”) (Bertoncini, *et al.* 2009; Linares, *et al.* 2012), los matorrales de *Dictyotales* - *Sphacelariales* (Cheminée, *et al.* 2017) y bosques de *Cystoseira sp.* dispersos (Cuadros, *et al.* 2019). Por ello, para nuestro experimento, utilizamos microhábitats formados por algas tipo arborescente (*Cystoseira sp.*), acintado (*Dictyota sp.*), de abanico (*Padina sp.*), así como fanerógamas tipo *Posidonia sp.* (ver epígrafe 2.4).

2.2 Captura de peces

La recolección de los peces experimentales se realizó semanalmente durante los periodos de grabación, en los meses de agosto y septiembre. Las capturas se llevaron a cabo en tres zonas localizadas al Sur Oeste de Mallorca (Figura 1).



Figura 1. Zonas de muestreo. 1) Es Total (39°55'31.7"N, 2°36'25.4"E). 2) Cala Egos (39°54'60.5"N, 2°36'92.6"E). 3) Cala Llamp (39°52'76.5"N, 2°38'84.4"E).

Hinz *et al.* 2019

Accedimos a los sectores rocosos mediante barco, facilitado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) o el Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuicultura (LIMIA). Con la ayuda de equipos de buceo con botella nos sumergimos entre 3 y 10 m de profundidad. En un bloque alto y plano del lecho marino colocamos las jaulas de red de pesca, ancladas por un plomo junto con una tablilla donde apuntábamos el número de individuos de peces juveniles capturados. Capturamos los peces con dos redes telescópicas de mango corto realizando movimientos ascendentes o encerrándolos entre las dos sacaderas. Capturamos específicamente los peces más pequeños disponibles; la longitud total fue de $3,75 \pm 0,44$ (N = 94). Teniendo en cuenta que los *C. julis* son considerados peces juveniles entre los 3 - 5 cm de longitud (Bertoncini, *et al.* 2009).

En las instalaciones de LIMIA, transferimos los peces en el menor tiempo posible a un tanque con suministro de aire y con corriente de agua de mar filtrada, sin ningún estímulo. Mantuvimos a los peces sin alimentar durante la noche antes de los experimentos para aclimatarse a las condiciones de laboratorio.

2.3 Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio, aislado de sonidos del exterior. Todos los experimentos fueron puestos en funcionamiento entre las 14:00 y las 19:00 h, momento de menor actividad en el laboratorio. En la zona de experimentación había una baja intrusión de luz del exterior. Se amplificó la iluminación con luces LED adheridas al cristal del acuario, para asegurar unas correctas condiciones de grabación. Cada individuo juvenil fue utilizado solo una vez para evitar aprendizajes y mantener los hábitats como "novel".

Empleamos un acuario de vidrio cúbico (197,5 L). El acuario estaba formado por una zona central de mayor tamaño y cuatro compartimentos en las esquinas, aislados, divididos por paneles de cristal (Figura 2) (Igulu, *et al.* 2011). El fondo y las paredes del tanque estaban forrados con láminas blancas de PVC creando un

espacio de luz homogénea durante la grabación. La parte externa del acuario estaba recubierta por un plástico adhesivo opaco, bloqueando estímulos visuales externos.

El acuario se llenaba de agua marina filtrada y no había suministro de burbujas de aire durante las grabaciones.

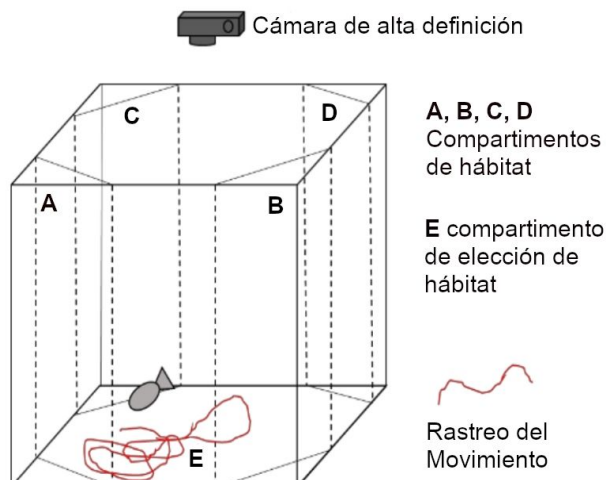


Figura 2. Acuario de respuesta a comportamiento. En los compartimentos A-D encontramos los microhábitats. La zona central E es utilizada para rastrear los movimientos del pez. Al final de cada experimento individual de elección se introduce la silueta de un depredador y se monitorizan los movimientos de respuesta del juvenil.

Igulu et al. 2013

2.4 Experimentos de elección de microhábitats

Realizamos tres experimentos: dos con algas artificiales de la misma estructura pero distintas alturas y otro con algas artificiales de la misma altura pero distintas estructuras. Cada unidad de alga presentaba un pie y cuatro haces. Para los experimentos de distintas alturas utilizamos dos tipos de algas de plástico: uno con talos erectos acintados (Dictyota-like) y otro con talos erectos arborescentes (Cystoseira-like) (Anexo Algas). En este experimento creamos cuatro microhábitats en cada compartimento del acuario: hábitat vacío, algas de 6 cm, algas de 11 cm y algas de 28 cm. Los microhábitats estaban compuestos por 8 unidades de alga (U).

En el experimento de distinta arquitectura de alga con misma altura, utilizamos las algas ya mencionadas además de algas de talo laminar en forma de abanico (Padina-like) y algas con haces largos y acintados (Posidonia-like). En cada uno de los compartimentos colocamos 6U de 11 cm, creando cuatro compartimentos con distintas morfologías de alga pero todas de la misma altura.

2.5 Grabación

Para cada escenario de hábitats llevamos a cabo 30 grabaciones con diferentes individuos de la misma especie. Las grabaciones fueron realizadas 24 h después de la captura, para asegurarnos unas bajas condiciones de estrés. Utilizamos una cámara de alta definición (GOPRO hero 7) que sujetamos con un soporte a 93,5 cm desde la base del acuario.

Antes de comenzar con los juveniles se realizó una calibración, colocando un patrón de ajedrez en el fondo del acuario (Figura 3A). Una vez calibrado, introdujimos los juveniles individualmente en el compartimento central E (Figura 3B) durante 15 min. Tras finalizar la grabación apuntábamos la longitud total del pez juvenil.

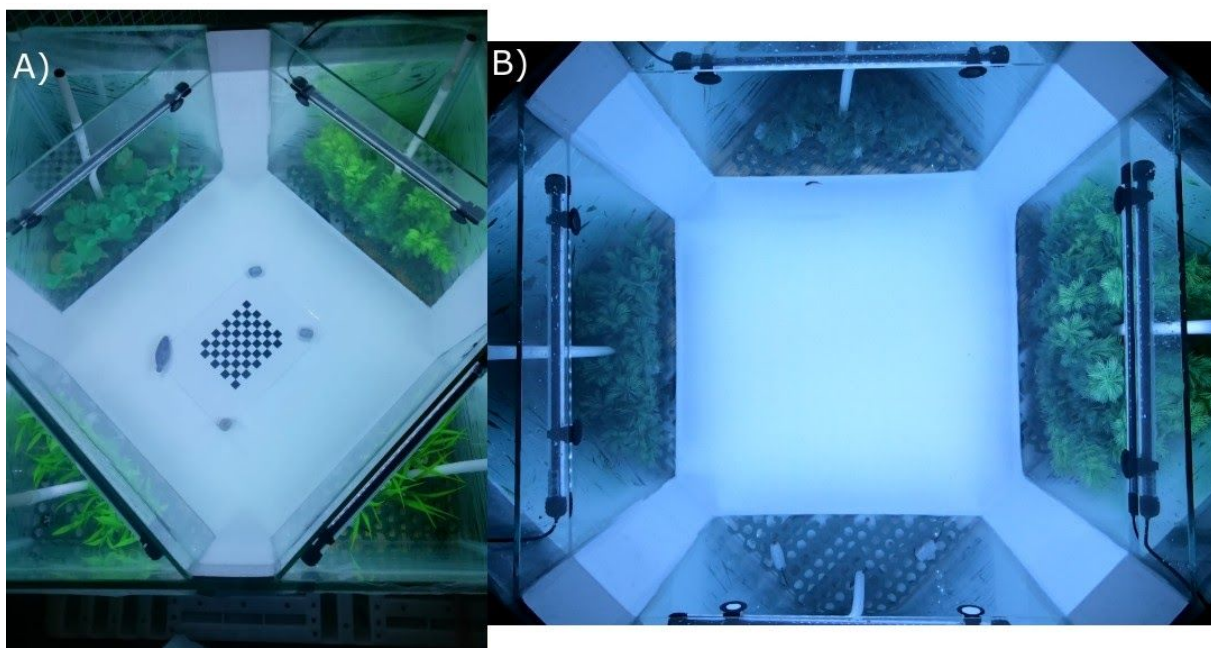


Figura 3. A) Calibración con fondo de ajedrez. B) Imagen de grabación experimental. El pez juvenil explora los hábitats mientras se rastrean sus movimientos.

2.6 Mantenimiento

Para asegurar la correcta condición del acuario, antes de cada día de grabación, limpiamos con alcohol y sifonamos cualquier tipo de artefacto que pudiera haber en el acuario. Tomamos la temperatura ($27,90 \pm 0,14$ °C) al comenzar y finalizar

el día. Al concluir las grabaciones vaciamos y limpiamos el tanque dejándolo preparado para el siguiente día de grabación.

2.7 Prueba experimental

Para determinar el tiempo de grabación necesario y saber qué tipo de comportamiento observar, llevamos a cabo una prueba piloto. En ella capturamos individuos juveniles de distinta especie (*Symphodus tinca*, *Symphodus roissali* y *Coris julis*) (Figura 4). Sometimos a los peces a los distintos escenarios de hábitats realizando un análisis visual de la respuesta a los estímulos. Además, perfeccionamos las técnicas de manipulación de peces y grabación.

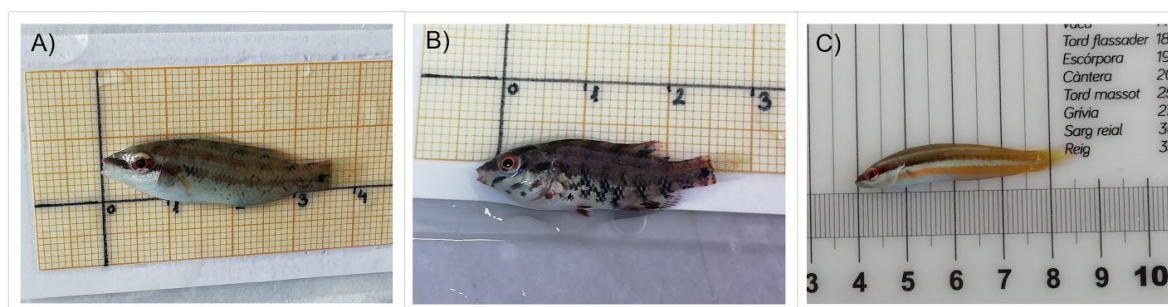


Figura 4. Ejemplares juveniles de *Symphodus tinca* (A), *Symphodus roissali* (B) y *Coris julis* (C).

2.8 Tratamiento de vídeo

Realizamos metrajés de 15 min/ individuo. Dado que los primeros 5 min eran de acondicionamiento al nuevo espacio fueron eliminados obteniendo vídeos de 10 min. Transformamos los vídeos a AVI. El análisis fue realizado con el software idtracker.ai, que nos permitió obtener valores de posición y tiempo por compartimento.

2.9 Tratamiento de las algas para la determinación de la complejidad del hábitat

Para la determinación de complejidad del hábitat, debíamos tener imágenes de las algas correctamente iluminadas. Para ello utilizamos una caja de luz de 61x61x61 cm. La caja de luz es una caja flexible con un armazón interno

recubierto con tela blanca translúcida. Se emplea para iluminar objetos de una forma homogénea eliminando sombras ya que genera una luz suave e indirecta. En el interior de la caja colocamos de forma independientemente una unidad algal de cada tipo. Para fotografiar las algas utilizamos una cámara reflex (Canon EOS 2000D) con un trípode de soporte. Utilizamos el trípode para poder manipular libremente la velocidad de obturación y asegurarnos de que todas las algas iban a ser fotografiadas igual. Realizamos cuatro fotografías por alga quedándonos con la mejor iluminada.

Para el tratamiento de imagen utilizamos el programa de Microsoft "CorelDRAW Graphics Suite 2020". En este programa aislamos la imagen del alga del fondo y posibles sombras modificando la tolerancia. Posteriormente vectorizamos la imagen para convertir los píxeles en vectores y así poder tener la imagen del alga a cualquier escala sin que esta pierda calidad. Una vez vectorizada duplicamos la imagen haciendo el número de réplicas necesarias para recrear nuestro hábitat de estudio. Mantuvimos los archivos tanto de unidades algales como de hábitat para a posteriori realizar un análisis comparativo de su complejidad.

El estudio de complejidad fue realizado con el programa de Microsoft ImageJ. En este programa hicimos el último tratado de imagen, convirtiendo nuestra imagen de hábitat en una imagen binaria y dibujando su contorno. Calculamos la dimensión fractal (D) con el plugin Fraclac. En este plugin realizamos un cálculo Boxcount con 12 ubicaciones de cuadrícula diferentes, en power series de base 2 exponente 2 y un calibre del 45%. Así obtuvimos la D de los distintos hábitats y de las unidades algales de forma independiente. Con las que posteriormente calcularemos la diferencia entre hábitat y unidad de alga en 2 dimensiones.

2.10 Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas para determinar diferencias de elección entre los distintos microhábitats experimentales, se realizaron en la interfaz "JupyterLab" con R versión 3.6.1 y Python 3.8.5 para Linux. Para cada uno de los tres experimentos realizamos el siguiente procedimiento: primero se calculó el porcentaje de tiempo sectorizado (basado en un total de 10 minutos). Los datos de los individuos que permanecieron inmóviles durante el metraje fueron descartados de las pruebas comparativas, al

igual que aquellos de la parte media del acuario, ya que representaba la falta de atracción hacia cualquiera de las 4 señales simultáneas ofrecidas y por lo tanto no se incorporaron a las pruebas estadísticas (Tolimieri, *et al.* 2004). Con los porcentajes de tiempo sectorizado en cada uno de los cuatro microhábitats, realizamos un análisis descriptivo mediante gráficos de cajas. Para observar las variaciones entre grupos utilizamos el análisis de la varianza (ANOVA) y pruebas comparativas por pares post-hoc de Bonferroni, Duncan y TukeyHSD para detectar diferencias entre los grupos. La normalidad de los datos se comprobó con las pruebas de Shapiro-Wilks, Kolmogorov-Smirnov y Cramer-von Mises. La homocedasticidad de los residuos se comprobó con una prueba de Levene. Todos los datos que no mostraron varianzas homogéneas se transformaron en $\log(x + 1)$ y se realizó una prueba de Levene una vez más.

Además, se realizó un análisis de regresión para aproximar la dependencia del porcentaje de tiempo por la complejidad del hábitat. Para probar la independencia de la inmovilidad del pez a los distintos tratamientos, se utilizó una prueba Chi cuadrado. Para todas las pruebas, el nivel de significación estadística se fijó en $p = 0,05$.

Resultados

3.1 Experimento Cystoseira-like distinta altura

En el experimento con Cystoseira-like pudimos observar una preferencia de elección hacia aquellos hábitats con mayor altura y complejidad (Anexo Algas). Obtuvimos valores significativos de diferencia de elección entre hábitats (ANOVA, dif: 3, F-valor: 5,88, p-valor: 0,0012). Observamos un descenso de la elección a medida que disminuye la altura (Figura 5A). Pasaron un 45% del tiempo en el hábitat C1 de mayor altura con respecto a un 25% en C2, 21% en C3 y 9% en C4 []. Como podemos ver en la Figura 5A se aprecia un bajada de la mediana a medida que se reduce la altura. Las pruebas comparativas de TukeyHSD y Bonferroni arrojaron valores significativos ($p\text{-valor} < 0,05$) de diferencia de elección de C1 en cuanto a C3 y C4 [] (Figura 6A). La prueba Duncan además diferenciaba el hábitat C1 del C2 con un $p\text{-valor}$ del 0,025. En la Figura 7A observamos una correlación entre el aumento de la complejidad y el tiempo transcurrido en cada hábitat. A medida que aumenta la complejidad aumenta el porcentaje de tiempo transcurrido. No se respetan las leyes

de idoneidad de residuos, descartando la normalidad y homocedasticidad. Sin embargo, con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis obtenemos un p-valor del 0,00028.

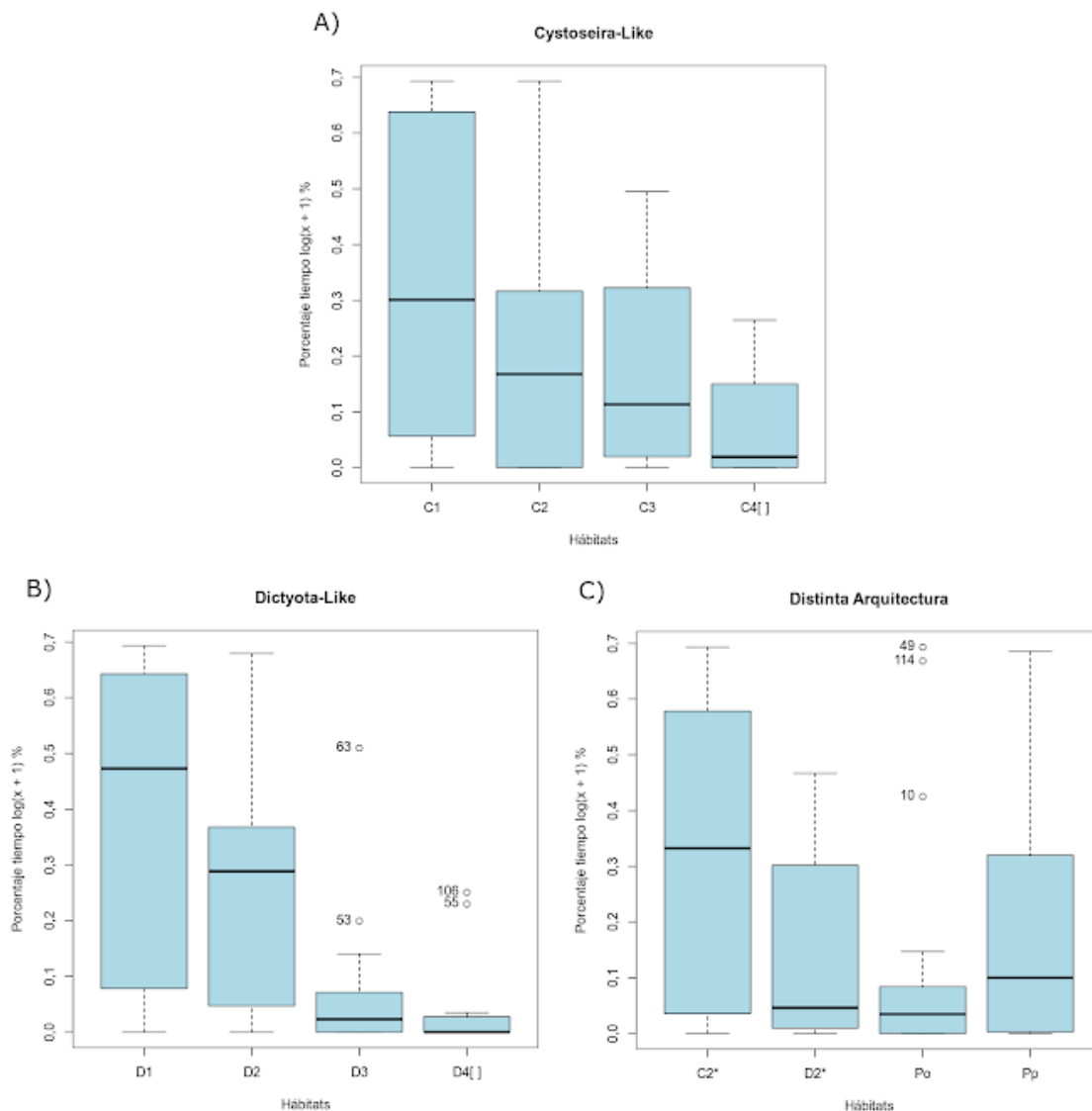


Figura 5. Gráficos de cajas de los distintos tratamientos. A) Cystoseira-like. B) Dictyota-like. C) Distinta arquitectura misma altura. En ellos se muestra el porcentaje de tiempo que lo ejemplares de *C.julis* pasaron por compartimento en cada uno de los tratamientos.

3.2 Experimento Dictyota-like distinta altura

En el tratamiento con Dictyota-like observamos una preferencia de elección hacia hábitats con mayor altura y complejidad (Anexo Algas). Obtuvimos valores significativos de diferencia de elección entre hábitats (ANOVA, dif: 3, F-valor: 9,4249, p-valor: 3,87e-5). Observamos un descenso de la elección en el D3 Y D4[]

(Figura 5B). Los juveniles transcurrieron un 49,4% del tiempo en el hábitat D1 y un 35,7% en el D2, hábitats de mayor altura y complejidad (Anexo algas). El resto del tiempo lo pasaron en el D3 (9,6%) y D4[] (5,3%). En la Figura 5B se aprecia como el porcentaje de tiempo se encuentra concentrado en los primeros dos compartimentos de mayor estructura. Las pruebas comparativas de TukeyHSD y Duncan arrojaron valores significativos (p -valor $< 0,05$) de diferencia de elección de D1 Y D2 frente a D3 y D4[] (Figura 6B). La prueba Bonferroi sin embargo no contemplaba una diferenciación significativa entre D2 Y D3 (p -valor: 0,058). En la Figura 7B observamos una correlación entre el aumento de la complejidad y el tiempo transcurrido en cada hábitat. A medida que aumenta la complejidad aumenta el porcentaje de tiempo transcurrido. No se respetan las leyes de idoneidad de residuos, descartando la normalidad y homocedasticidad. Con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis obtenemos un p -valor del 0,00028.

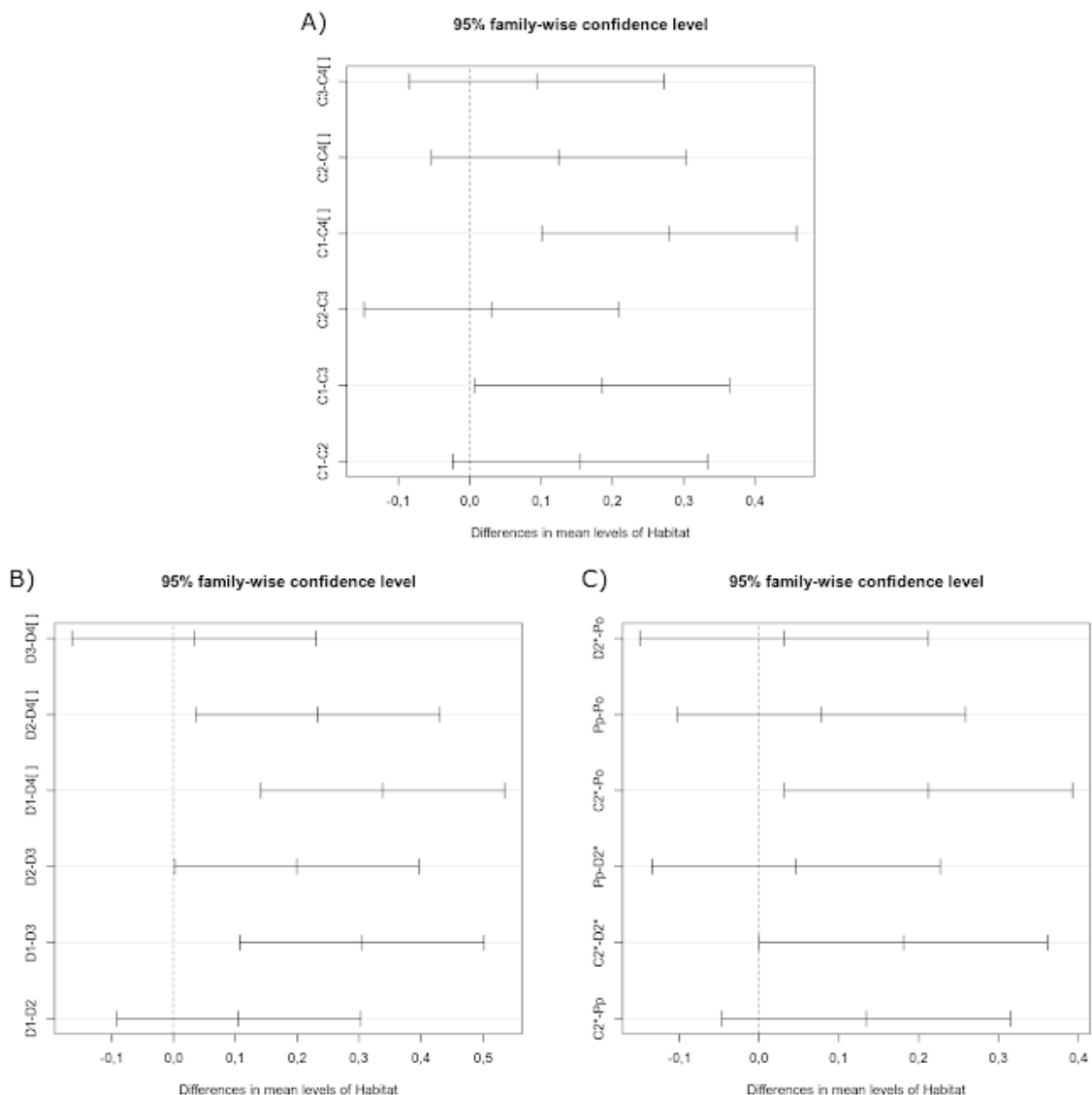


Figura 6. Prueba HSD de TUKEY, crea comparaciones múltiples con un nivel de confianza simultáneo de 95%. Si un intervalo no contiene el cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes. En el tratamiento *Cystoseira-like* (A), el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias de los microhábitats C1 y C4 [] es de 0,101 a 0,458 (p-valor: 0,0005) y para C1 y C3 es de 0,007 a 0,364 (p-valor: 0,0385). En el tratamiento *Dictyota-like* (B), D2 y D4 es de 0,035 a 0,430 (p-valor: 0,0143); D1 y D4 es de 0,141 a 0,535 (p-valor: 0,0017); D2 y D3 es de 0,002 a 0,396 (p-valor: 0,0464) y D1 y D3 es de 0,107 a 0,501 (p-valor: 0,0007). Y para el tratamiento con distinta arquitectura (C), C2* y Po es de 0,031 a 0,392 (p-valor: 0,0146) y para C2* y D2* es de 0,0001 a 0,3613 (p-valor: 0,0497).

3.3 Experimento distinta arquitectura misma altura

En el tratamiento a misma altura distinta arquitectura observamos una preferencia de elección hacia el hábitat *Cystoseira-like* (C2*) (Anexo Algas). Obtuvimos valores significativos de diferencia de elección entre hábitats (ANOVA, dif: 3, F-valor: 3,6899, p-valor: 0,0152). Observamos una predilección por el hábitat C2* (Figura 5C). Los juveniles ocupan un 41,11% del tiempo en el hábitat C2* hábitats de mayor complejidad (Anexo algas). El resto del tiempo lo pasaron en Pp (24,7%), D2* (18,68%) y Po (11,34%). En la Figura 5C se aprecia la mediana y el cuartil superior más elevado en el hábitat C2* respecto al resto. Las pruebas comparativas de TukeyHSD y Duncan arrojaron valores significativos (p-valor < 0,05) de diferencia de elección de C2* frente a Po y D2* (Figura 6C). La prueba Bonferroi sin embargo no contemplaba una diferenciación significativa entre C2* y D2* (p-valor: 0,062). En la Figura 7C, al igual que en los otros tratamientos, observamos una correlación entre el aumento de la complejidad y el tiempo transcurrido en cada hábitat. A medida que aumenta la complejidad aumenta el porcentaje de tiempo transcurrido. No se respetan las leyes de idoneidad de residuos, descartando la normalidad y homocedasticidad. Con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis obtenemos un p-valor del 0,0602.

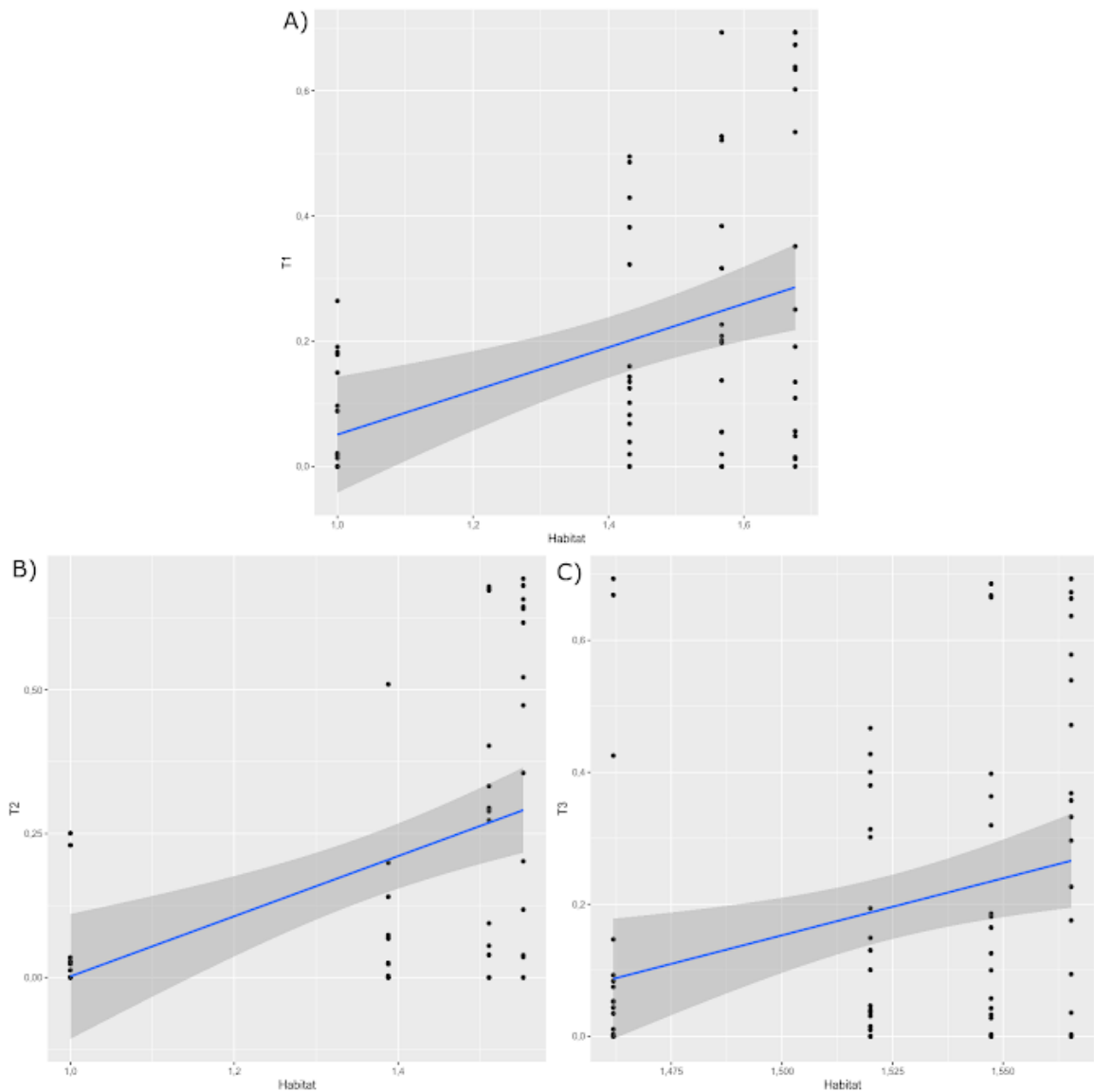


Figura 7. Recta de regresión lineal del porcentaje de tiempo en función de la complejidad de hábitat. El tratamiento *Cystoseira*-like (A) presenta un R-cuadrado de 0,162 y un p-valor del 0,0004. *Dictyota*-like (B), presenta un R-cuadrado de 0,222 y un p-valor de 0,00013. Y el tratamiento de distinta arquitectura (C) nos arroja unos valores de R-cuadrado de 0,084 y un p-valor del 0,0072.

3.4 Estudio de la movilidad por tratamiento

En las pruebas Chi-cuadrado para observar la relación de los individuos inmóviles en función del tratamiento, obtuvimos un p-valor $> 0,05$, por lo tanto, las variables de tratamiento y movimiento son independientes entre ellas y sus fluctuaciones son debidas al azar.

3.5 Estudio de diferencia de complejidad

Se estudió la divergencia de complejidad algal en dos dimensiones entre microhábitats y unidades algales con el plugin FracLac de ImageJ. En la diferencia de hábitat respecto a unidad algal distinguimos que solamente en D3 la unidad presenta una mayor complejidad (1,3981 D) que el conjunto de las 8 unidades formadoras del hábitat (1,388 D) (Figura 8A). La diferencia entre ambas es de 0,0101 D. Cuando comparamos los hábitats de 6U con respecto a los de 8U con la misma estructura vemos que D2 es más complejo con 6U (1,52) con una diferencia de 0.0092 D.

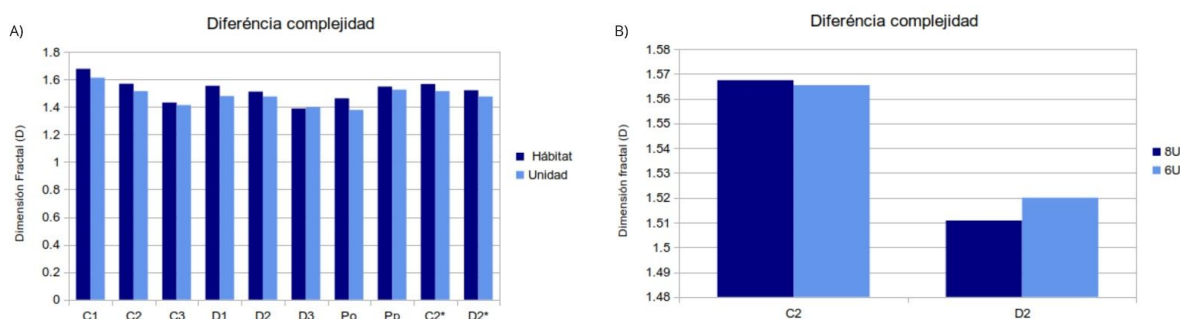


Figura 8. A) Histograma de dimensión fractal de los microhábitats de estudio respecto a sus unidades algales. B) muestra las diferencias de dimensionalidad fractal del de los hábitats con 6U (C2* y D2*) y 8U (C2 y D2).

Anexo Algas

Discusión

El presente estudio muestra que los peces juveniles son claramente capaces de distinguir hábitats de distinta complejidad mediante señales visuales. Además, los peces prefirieron aquellos hábitats con mayor complejidad respecto a los simples o vacíos. Los hábitats con mayor altura fueron preferentemente escogidos respecto al resto con un 45% del tiempo en el hábitat C1 formado por *Cystoseira* de 28 cm y un 49,4% en el D1 formado por *Dyctiota* de 28 cm (frente a alturas de 11 y 6 cm) (Anexo Algas). En el tratamiento de distinta arquitectura misma altura vemos que hay una clara preferencia por el hábitat *Cystoseira*-like (C2*) con un 41,11% seguido de un 24,7% de *Padina*-like (Pp).

Coris julis es una especie cosmopolita, común en gran variedad de hábitats. Podemos encontrarlos en *Posidonia oceanica*, roca cubierta por algas o hábitats rocosos (Guidetti & D'Ambrosio, 2000; Cheminée, *et al.* 2016). Los hábitats de alta calidad para los juveniles generalmente se han caracterizado por altas oportunidades de refugio y alimento para los peces juveniles residentes (Cheminée, *et al.* 2013; Cheminée, *et al.* 2017a). Es por ello, que deben escoger hábitats con una altura óptima y de gran complejidad. La altura es un parámetro de gran importancia, ya que si el alga es de gran altura podrían ser presa de depredadores de emboscada y si es demasiado baja podrían ser vistos. Los adultos de *C. julis* tienen cierta predilección por hábitats simples de turf o *Asparagopsis*, debido a su comportamiento y su rol ecológico como limpiadores (Cheney, *et al.* 2008; Bertoncini, *et al.* 2009). En cambio, esta preferencia no ha sido registrada en los ejemplares juveniles.

La elección en el estudio es clara respecto a la complejidad, ya que, la complejidad refleja la heterogeneidad e irregularidad de los niveles de elementos estructurales (Taniguchi, *et al.* 2003). Dicha predilección es, por lo tanto, comprensible dadas la propiedades de refugio, forraje y capacidad de huida (Alemany, 2004; Igulu, *et al.* 2011; Thomaz, *et al.* 2018). Numerosos autores sostienen la asociación entre mayor complejidad estructural y la abundancia y diversidad de peces, debido a una menor competencia y depredación (Alemany, 2004; Cheminée, *et al.* 2016). Alemany (2004), observó que en hábitats coralinos la complejidad de hábitat tenía efectos positivos sobre la abundancia de adultos y un efecto débil en la abundancia de reclutas. Esto es debido a que el aumento de la complejidad del hábitat puede haber inhibido el forrajeo de depredadores transitorios pero no de depredadores residentes. En cambio en el Mediterráneo, es distinto ya que los macrófitos aumentan las capacidades de forrajeo de los juveniles (Thomaz, *et al.* 2018) y proporcionan un refugio que no es válido para las comunidades depredadoras adultas. Se suele relacionar en la bibliografía a los *C. julis* adultos o juveniles de mayor longitud (>4 cm) con hábitats simples (Bertoncini, *et al.* 2009; Cuadros, *et al.* 2019). Cuando los individuos de *C. julis* son de pequeño tamaño presentan una coloración críptica además de ser menos veloces en el medio. En cambio, al aumentar de tamaño van adoptando coloración y morfología de adulto, lo que les permite ser más veloces y desarrollarse en hábitats simples (Cuadros, *et al.* 2019).

Hay un gran desconocimiento sobre este tema y poca bibliografía del desarrollo de la especie. Para saberlo con evidencia y rigor científico debería realizarse un futuro estudio con *C. julis* juveniles de distintos grupos de tamaños frente a hábitats de diversas complejidades.

Se han encontrado limitaciones a medida que realizamos el estudio que permiten aportar sugerencias para estudios futuros. En un principio íbamos a realizar el estudio sobre dos especies de peces *C. julis* y *S. ocellatus*, pero debido a la falta de tiempo para el procesamiento de imágenes no se ha podido realizar el análisis de la especie *S. ocellatus*. Una de las limitaciones de este procesamiento de imágenes fue el cálculo de la complejidad. La clave de motivación para trasladar complejidad estructural a valores cuantitativos es la necesidad de entender las posibles relaciones entre la complejidad estructural y diversos factores ecológicos, como su implicación para la salud del ecosistema y planes de mantenimiento y conservación. La complejidad fractal es una excelente herramienta para el cálculo de la complejidad ampliamente desarrollada en la bibliografía. Pero al calcular la complejidad de imágenes en dos dimensiones de varias algas se puede producir un solapamiento de estructuras, como es el caso de D2, que aparece con una mayor complejidad con 6U (1.52 D) respecto a 8U (1.5108 D). Para solventar este problema y obtener una complejidad más certera se podrían obtener imágenes en tres dimensiones del hábitat y calcular la complejidad entorno a esa imagen 3D (Young, *et al.* 2017). Otro inconveniente fue la idoneidad de los residuos en los resultados. Los residuos no respondían a una distribución normal ni eran homocedásticos. Para ello, se debería aumentar el número de observaciones e incluso añadir otra variable explicativa.

Conclusión

El presente estudio demostró que los peces se sienten atraídos por señales visuales bióticas asociadas a complejidades algales durante su etapa temprana de vida. Los juveniles fueron capaces de diferenciar distintas complejidades de hábitat escogiendo con un porcentaje superior al 40% aquellos hábitats con mayor complejidad. Finalmente, demostramos que las macroalgas complejas son hábitats importantes para los juveniles de *C. julis*, aunque se necesitan estudios para describir la contribución definitiva de cada hábitat al reclutamiento final de la

población adulta y su valor como servicio ecosistémico. Por tanto, se requiere un trabajo adicional sobre la supervivencia, el crecimiento y el movimiento de los juveniles hacia los hábitats de los adultos.

Conclusion

The present study demonstrated that fishes are attracted to biotic visual cues associated with algal complexity during their early life stage. Juveniles distinguished among habitat complexities, choosing with a percentage higher than 40% those habitats with higher complexity. Finally, we demonstrate that complex macroalgae are important juvenile habitats. Although further studies are needed to describe the definitive contribution of each habitat to the final recruitment of the adult population and its value as an ecosystem service. Therefore, additional work is required on the survival, growth and movement of juveniles into adult habitats.

Conclusión

O presente estudo demostrou que os peixes seéntense atraídos por sinais visuais bióticas asociadas a complexidades algais durante a súa etapa temperá de vida. Os xuvenís foron capaces de diferenciar distintas complexidades de hábitat escollendo cunha porcentaxe superior ao 40% aqueles hábitats con maior complexidade. Finalmente, demostramos que as macroalgas complexas son hábitats importantes para os xuvenís de *C. julis*, aínda que se necesitan estudos para describir a contribución definitiva de cada hábitat ao recrutamento final da poboación adulta e o seu valor como servizo ecosistémico. Por tanto, requírese un traballo adicional sobre a supervivencia, o crecemento e o movemento dos xuvenís cara aos hábitats dos adultos

Bibliografía

Alemany, G., 2004. Differential effects of habitat complexity, predators and competitors on abundance of juvenile and adult coral. *Community Ecology*, 141: 105 - 113.

Amilhat, E., Arestrup, K., Faliex, E., Simon, G., Westerberg, H., Righton, D., 2016. First evidence of European eels exiting the Mediterranean Sea during their spawning migration. *Scientific reports*, 6: 21817.

Bell, S., Brooks R.A., Ellis, W.E., 2003. Structural spacing, the determination of habitat complexity: examining the Bartholomew et al. (2000) index. *Marine Ecology Progress Series*, 248: 293 - 295.

Bertoncini, A. A., Machado, L.F., Barreiros, J.P., Hostim-silva, M., Verani, J.R., 2009. Cleaning activity among Labridae in the Azores: the rainbow wrasse *Coris julis* and the Azorean blue wrasse *Centrolabrus caeruleus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 89(4), 859 - 861.

Bussotti, S., Guidetti., 2011. Timing and habitat preferences for settlement of juvenile fishes in the Marine Protected Area of Torre Guaceto (south-eastern Italy, Adriatic Sea). *Italian Journal of Zoology*, 78: 243 - 254.

Caley, M.J., John, J., 1996. Refuge availability structures assemblages of tropical reef fishes. *Journal Animal Ecology*, 65: 414 - 428.

Cheminée, A., Sala, E., Pastor, J., Bodilid, P., 2013. Nursery value of *Cystoseira* forests for Mediterranean rocky reef fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 442: 70 - 79.

Cheminée, A., Merigot, B., Vanderklift, M., Francour, P., 2016. Does habitat complexity influence fish recruitment? *Mediterranean Marine Science*, 17(1): 39 - 46.

Cheminée, A., Pastor, J., Bianchimani, O., Thiriet, P., Sala, E., Cottalorda, J., Dominici, J., Lejeune, P., Francour, P., 2017a. Juvenile fish assemblages in temperate rocky reefs are shaped by the presence of macro-Algae canopy and its three-dimensional structure. *Scientific Reports*, 7: 14638.

Cheminée, A., Rider, M., Lenfant, P., Zawadzki, A., Mercière, A., Crec'hriou, R., Mercader, M., Saragoni, G., Neveu, R., Ternon, Q., Pastor, J., 2017b. Shallow rocky nursery habitat for fish: Spatial variability of juvenile fishes among this poorly protected essential habitat. *Marine Pollution Bulletin*, 119 (1): 245 - 254.

Cheney, K.L., Bshary, R., Grutter, A.S., 2008. Cleaner fish cause predators to reduce aggression toward bystanders at cleaning stations. *Behavioral Ecology*, 19: 1063 - 1067.

Crowder, L.B., McCollum, E.W., Martin, T.H., 1998 .Changing perspectives on food web interactions in lake littoral zones. Springer, Berlin: 240 - 249.

Cuadros, A., Moranta J., Cardonal, L., Thiriet, P., Francour, P., Vidal, E., Sintés, J., Cheminée, A., 2019. Juvenile fish in *Cystoseira* forests: influence of habitat complexity and depth on fish behaviour and assemblage composition. *Mediterranean Marine Science*, 20(2): 380 - 392.

Dahlgren, C.P., Eggleston, D.B., 2000. Ecological processes underlying ontogenetic habitat shifts in a coral reef fish. *Ecology*, 81(8): 2227 - 2240.

Félix, H.F., Hackradt, C., Treviño, O.J., Pérez R.A., García, C.J., 2014. Habitat use and ontogenetic shifts of fish life stages at rocky reefs in South-western Mediterranean Sea. *Journal of Sea Research*, 88: 67 - 77.

Fontes, J., Semmens, B., Caselle, J., Santos, R., Prakya, S., 2016. Ocean Productivity May Predict Recruitment of the Rainbow Wrasse (*Coris julis*). *PLOS ONE*, 11(11): e0165648.

Gee, J.M., Warwick, R.M., 1994. Metazoan community structure in relation to the fractal dimensions of marine macroalgae. *Marine Ecology Progress Series*, 103:141 - 150.

Guidetti, P., 2000. Differences among fish assemblages associated with nearshore *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky-algal reefs and unvegetated sand habitats in the adriatic sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50(4): 514 - 529.

Guidetti, P., D'Ambrosio, P., 2004. Spatial distribution patterns of *Coris julis* and *Thalassoma pavo* (Pisces, Labridae) along the south-eastern Apulian coast (SE Italy). *Thalassia Salentina*, 27: 81 - 90.

Harborne, A., Mumby, P., Ferrari, R., 2011a. The effectiveness of different meso-scale rugosity metrics for predicting intra-habitat variation in coral-reef fish assemblages. *Environmental Biology of Fishes*, 1 - 12.

Harborne, A.R., Mumby, P.J., Kennedy, E.V., Ferrari, R., 2011b. Biotic and multi-scale abiotic controls of habitat quality: their effect on coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 437(15): 201 - 214.

Heck, L.J., Crowder, L.B., 1991. Habitat structure and predator-prey interactions in vegetated aquatic systems. In: Bell, S.S., McCoy, E.D., Mushinsky, H.R., *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*. Chapman and Hall, London: 281 - 299.

Hereu, B., 2004. The role of trophic interactions between fish-es, sea urchins and algae in the northwest Mediterranean rocky infralittoral. PhD Thesis. University of Barcelona, Spain, 295.

Hinz, H., Reñones, O., Gouraguine, A., Johnson, A.F., Moranta, J., 2019. Fish nursery value of algae habitats in temperate coastal reefs. *PeerJ*, 7:e6797.

Huijbers, C.M., Mollee, E.M., Nagelkerken, I., 2008. Post-larval French grunts (*Haemulon flavolineatum*) distinguish between seagrass, mangrove and coral reef water: implications for recognition of potential nursery habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 357: 134 - 139.

Huijbers, C.M., Nagelkerken, I., Lössbroek, P.A.C., Schulten, I.E., Siegenthaler, A., Holderied, M.W., Simpson, S.D., 2012. A test of the senses: fish select novel habitats by integrating multiple cues. *Ecology*, 93: 46 - 55.

Igulu, M.M., Nagelkerken, I., Fraaije, R., van Hintum, R., Ligten-berg, H., Mgya, Y.D., 2011. The potential role of visual cues for microhabitat selection during the early lifephase of a coral reef fish (*Lutjanus fulviflamma*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 401: 118 - 125.

Igulu, M.M., Nagelkerken, I., van der Beek, M., Schippers, M., van Eck, R., Mgya, Y.D., 2013. Orientation from open water to settlement habitat by coral reef fish: behavioral flexibility in the use of multiple reliable cues. *Marine Ecology Series*, 493: 243 - 257.

Jeffries, M., 1993. Invertebrate colonization of artificial pond-weeds of differing fractal dimension. *Oikos*, 67: 142 - 148.

Johnson, M.P., Frost, N.J., Mosley, M.W.J., Roberts, M.F., Hawkins, S.J., 2003. The area-independent effects of habitat complexity on biodiversity vary between regions. *Ecology Letters*, 6: 126 - 132.

Kelaher, B.P., Castilla, J.C., 2005. Habitat characteristics influence macrofaunal communities in coralline turf more than mesoscale upwelling on the coast of Northern Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63: 155 - 165.

Kostylev, V.E., J. Erlandsson, M., Ming Y., Williams, G.A., 2005. The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: fractal application on rocky shores. *Ecological Complexity*, 2: 272 - 286.

Kovalenko, K.E., Sidinei, M., Thomaz, D., Warfe, M., 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia*, 685: 1 - 17.

Lecchini, D., Osenberg, C.W., Shima, J.S., Mary, C.M., Galzin, R., 2007. Ontogenetic Changes in habitat selection during settlement in a coral reef fish: ecological determinants and sensory mechanisms. *Coral Reefs*, 26: 423 - 432.

Leis, J.M., McCormick, M.I., 2002. The biology, behavior, and ecology of the pelagic, larval stage of coral reef fishes. In: Sale, P.F. (Ed.), *Coral Reef Fishes: Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press, San Diego, pp. 171 - 199.

Matias, M. G., Underwood, A.J., Hochuli D.F., Cole-man, R.A., 2010. Independent effects of patch size and structural complexity on diversity of benthic invertebrates. *Ecology*, 91: 1908 - 1915.

McCormick, M.I., Manassa, R., 2008. Predation risk assessment by olfactory and visual cues in a coral reef fish. *Coral Reefs*, 27: 105 - 113.

Mercader, M., Mercière, A., Saragoni, G., Cheminée, A., Crec'hriou, R., Pastor, J., Rider, M., Dubas, R., Lecaillon, G., Boissery, P., Lenfant, P., 2017. Small artificial habitats to enhance the nursery function for juvenile fish in a large commercial port of the Mediterranean. *Ecological Engineering*, 150: 78 - 86.

Montgomery, J.C., Jeffs, A., Simpson, S.D., Meekan, M., Tindle, C., 2006. Sound as an orientation cue for the pelagic larvae of reef fishes and decapod crustaceans. *Advances in Marine Biology*, 51: 143 - 196.

MyrbergRaventós N. 2006. Nest site characteristics and nesting success of the five-spotted wrasse *Symphodus roissali* in the north-western Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology* 68(1):305 - 309, J.A.A., Fuiman, L.A., 2002. The sensory world of coral reef fishes. In: Sale, P.F.(Ed.), *Coral Reef Fishes. Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press, San Diego, 23 - 148.

Ortiz, B.S., 2015. Habitat Complexity. In: Kennish M.J. *Encyclopedia of Estuaries. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht, 145 - 156.

Raventós, N., 2006. Nest site characteristics and nesting success of the five-spotted wrasse *Symphodus roissali* in the north-western Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 68(1): 305 - 309.

Sala, E., Ballesteros, E., 1997. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 152: 273 - 283.

Sala. E., Kizilkaya, Z., Yildirim, D., Ballesteros, E., 2011. Alien marine fishes deplete algal biomass in the Eastern Mediterranean. *PLOS ONE*, 6(2): e17356.

Sales, M., Cebrian, E., Tomas, F., Ballesteros, E., 2011. Pollution impacts and recovery potential in three species of the genus *Cystoseira* (Fucales, Heterokontophyta). *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 92(3): 347 - 357.




Simpson, S. D., Meekan, M.G., Jeffs, A., Montgomery, J.C., McCauley, R.D., 2008. Settlement-stage coral reef fish prefer the higher-frequency invertebrate-generated audible component of reef noise. *Animal Behaviour*, 75:1861 - 1868.





Taniguchi, H., Nakano, S., Tokeshi, M., 2003. Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biology*, 48: 718 - 728.




Thomaz M., Dibble D., Evangelista R., Higuít T., Bini, M., 2018. Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biology*, 53: 358 - 367.

Young, G.C., Dey, S., Rogers, A.D., Exton, D., 2017. Cost and time-effective method for multi-scale measures of rugosity, fractal dimension, and vector dispersion from coral reef 3D models. *PLoS ONE*, 12(4): e0175341.

ANEXO: ALGAS

Cystoseira Like		
	<p>C1</p> <p>U = 8</p> <p>h = 28 cm</p> <p>D = 1.6758</p> <p>SD = 0.0062</p> <p>$r^2 = 0.9987$</p>	<p>C1</p> <p>U = 1</p> <p>h = 28 cm</p> <p>D = 1.6114</p>
	<p>C2</p> <p>U = 8</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.5674</p> <p>SD = 0.0048</p> <p>$r^2 = 0.9971$</p>	<p>C2</p> <p>U = 1</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.5139</p>
	<p>C2*</p> <p>U = 6</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.5654</p> <p>SD = 0.0075</p> <p>$r^2 = 0.9966$</p>	<p>C2*</p> <p>U = 1</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.5139</p>

	<p>C3</p> <p>U = 8</p> <p>h = 8 cm</p> <p>D = 1.4314</p> <p>SD = 0.003</p> <p>r² = 0.9944</p>	<p>C3</p> <p>U = 1</p> <p>h = 8 cm</p> <p>D = 1.4127</p>
Dictyota Like		
	<p>D1</p> <p>U = 8</p> <p>h = 28 cm</p> <p>D = 1.5527</p> <p>SD = 0.0042</p> <p>r² = 0.9958</p>	<p>D1</p> <p>U = 1</p> <p>h = 28 cm</p> <p>D = 1.4782</p>
	<p>D2</p> <p>U = 8</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.5108</p> <p>SD = 0.0133</p> <p>r² = 0.9953</p>	<p>D2</p> <p>U = 1</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.4748</p>
	<p>D2*</p> <p>U = 6</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.52</p> <p>SD = 0.0138</p> <p>r² = 0,9951</p>	<p>D2*</p> <p>U = 1</p> <p>h = 11 cm</p> <p>D = 1.4748</p>

	D3 U = 8 h = 8 cm D = 1.388 SD = 0.011 r² = 0.9961	D3 U = 1 h = 8 cm D = 1.3981
Posidonia Like		
	Po U = 6 h = 11 cm D = 1.4619 SD = 0.0075 r² = 0.9966	Po U = 1 h = 11 cm D = 1.3778
Padina Like		
	Pp U = 6 h = 11 cm D = 1.5473 SD = 1.0034 r² = 0.9969	Pp U = 1 h = 11 cm D = 1.525

U = Unidades algales
h = Altura del alga
D = Dimensión fractal
SD(σ) = Desviación estandar
r² = Coeficiente de determinación