

Estacionalidad y colonización de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* en espacios naturales protegidos marinos de la Comunidad Valenciana.

A. M. Enguix¹, J. Argente², J. Chicharro², Z. Ferrer², V. Castañer²

¹Sección de gestión de proyectos de Espacios Naturales Protegidos, Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, Ciudad Administrativa 9 de Octubre, Torre 1, C/ Castán Tobeñas, 77, 46018 Valencia, España. E-mail: enguix_ang@gva.es.

²Equipo de trabajo en medio marino, Vaersa, C/Mariano Cuber, nº17 46011, Valencia.

RESUMEN

*En este trabajo se ha realizado el seguimiento anual de la colonización y evolución estacional del alga invasora *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman y Boudouresque (Chlorophyta, Bryopsidales) en nueve enclaves distribuidos en tres espacios naturales protegidos marinos de la Comunidad Valenciana. El estudio se ha centrado en la variabilidad de la cobertura algal según la estación y el tipo de sustrato sobre el que se realizan los muestreos. El periodo de estudio abarca un ciclo anual comprendido entre 2011 y 2012. Los resultados obtenidos confirman la presencia de *C. racemosa* en las dos áreas de estudio de Alicante (Cabo de San Antonio y Serra Gelada) mientras que no se ha detectado en la situada en Castellón (Sierra de Irta). La vulnerabilidad a la invasión de los distintos hábitats objeto de estudio es distinta, observándose una mayor dispersión sobre sustrato rocoso y mata muerta de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. Se ha detectado baja presencia de *C. racemosa* dentro de las praderas de *Posidonia oceanica*, siendo determinante el buen estado de conservación de estas para frenar la colonización de nuevas zonas.*

Palabras clave: *Caulerpa racemosa*, *Posidonia oceanica*, algas invasoras, espacios naturales protegidos, Comunidad Valenciana.

INTRODUCCIÓN

Caulerpa racemosa sensu lato es un alga de origen tropical que se introdujo probablemente en el Mediterráneo Oriental a través del Canal de Suez, mediante las aguas de lastre de los grandes buques mercantes (Klein y Verlaque, 2008). Fue observada por primera vez en 1926, quedando confinada su expansión a la cuenca oriental durante más de 60 años sin presentar carácter invasor. Actualmente, coexisten en el Mediterráneo tres subespecies de este taxón; *Caulerpa racemosa* var. *turbinata-uvifera* y *C. racemosa* var. *lamourouxii* (Turner) Weber-van Bosse f. *requienii* (Montagne) Weber-van Bosse, están ambas restringidas a la cuenca centro-oriental del Mediterráneo y no presentan carácter invasor. Una tercera variedad, conocida como la variedad invasora, fue introducida más recientemente y corresponde a otra subespecie, endémica de la localidad australiana de Perth, denominada *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman y Boudouresque (Klein y Verlaque, 2008). Esta variedad fue encontrada en el Mar Mediterráneo por primera vez en las costas de Libia en 1990 (Nizamuddin, 1991), mostrando

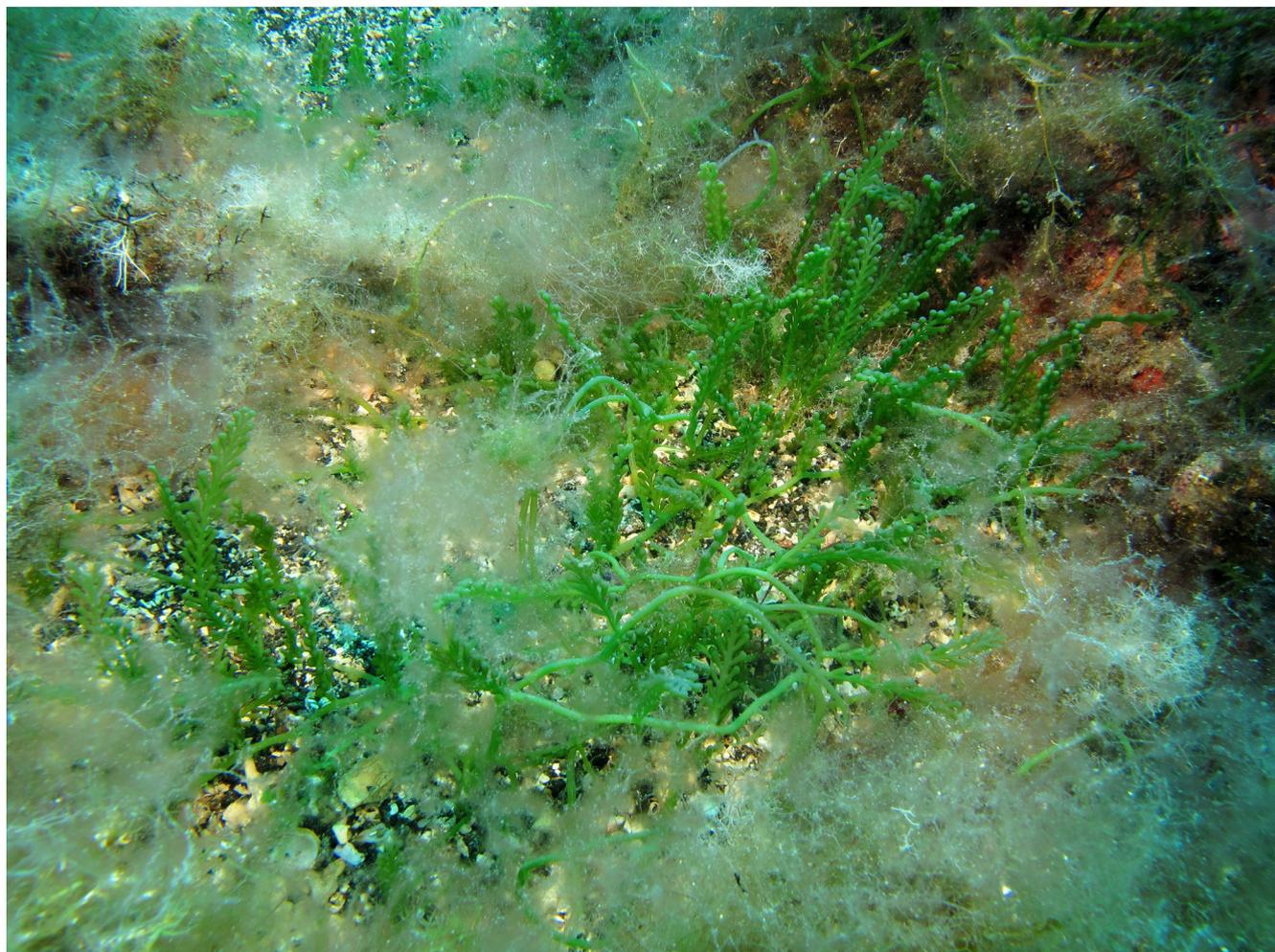
Artículos

un comportamiento invasor muy agresivo e imparable, colonizando las costas de trece países del Mediterráneo así como las Islas Canarias (Kelín y Verlaque 2008). Se cita en las Islas Baleares en 1999 (Ballesteros *et al.*, 1999) y en la Comunidad Valenciana se citó por primera vez en 1999 en Castellón (Aranda *et al.*, 1999) y en 2001 en las costas de Alicante (Aranda *et al.*, 2003 y Pena Martín *et al.*, 2003).

Caulerpa racemosa dispone de varios sistemas de reproducción, tanto sexual de tipo holocárpica mediante liberación masiva de células (Panayotidis y Žuljević, 2001), como vegetativa mediante un rápido patrón de crecimiento, estolones y formación de propágulos (Cecherelli y Piazzzi, 2001), que le permiten una efectiva dispersión y rápida colonización del espacio. Además posee una gran adaptabilidad al estrés ambiental (Cavas y Yurdakoc, 2005) y es capaz de producir metabolitos secundarios que resultan tóxicos para muchas especies herbívoras (Cavas *et al.*, 2006). Estas características hacen de esta especie una seria amenaza para las comunidades nativas susceptibles de su invasión.

En su hábitat originario, esta variedad crece a poca profundidad formando praderas multiespecíficas (Womersley, 1984). En cambio, en el Mediterráneo, se desarrolla sobre un amplio rango batimétrico, colonizando una gran diversidad de biocenosis fotófilas infralitorales y circalitorales, formando en poco tiempo un denso tapiz sobre el fondo colonizado, que impide la difusión de oxígeno al sedimento, volviendo el ambiente tóxico para multitud de especies epibentónicas y la infauna de la biocenosis original (Ruiz Fernández *et al.*, 2007).

C. racemosa entre
Lophocladia lallemandii.



Artículos

La Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Comunitat Valenciana, ha llevado a cabo durante 2011 y 2012 el seguimiento de especies de algas invasoras centrado en el estudio de la cobertura algal de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* en los Parques Naturales con ámbito marino de la Comunidad Valenciana, y enmarcado dentro del convenio establecido con la Fundación Obra Social “La Caixa”, entidad financiadora de esta línea de investigación marina.

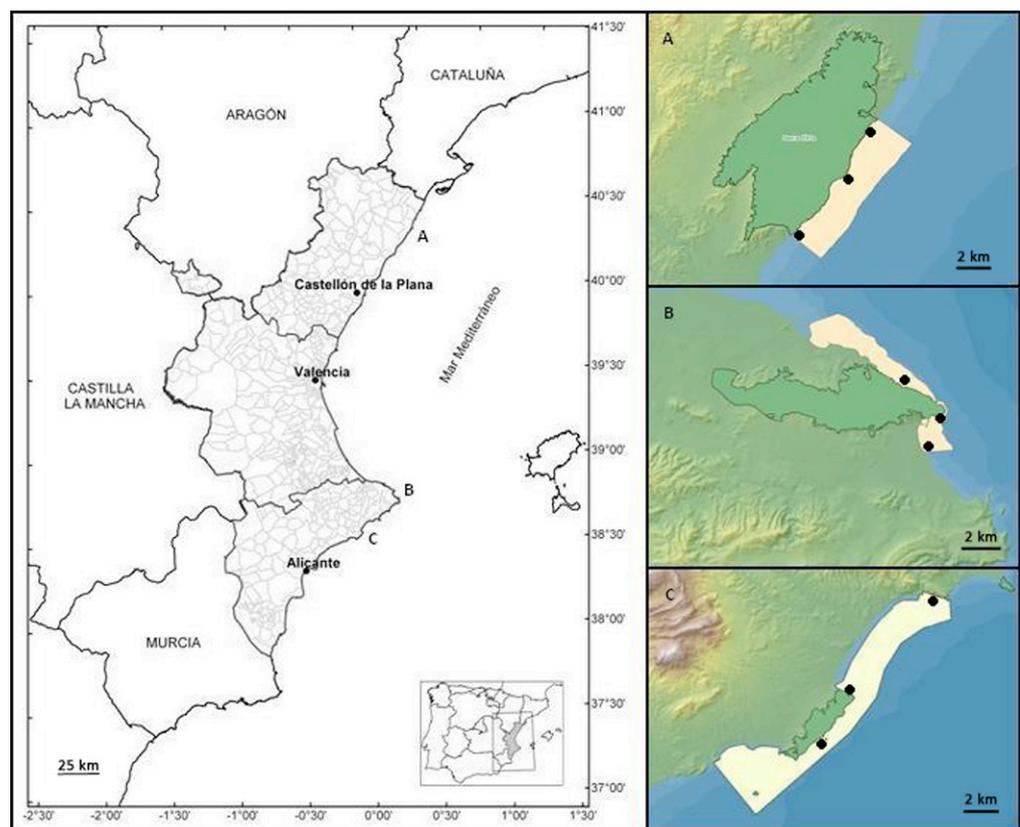
El objetivo de este trabajo ha sido iniciar el seguimiento de la colonización del alga invasora *C. racemosa* en espacios naturales protegidos así como estudiar su evolución anual en cada zona de muestreo, el patrón estacional en cada área de estudio y las diferencias en la colonización sobre cada tipo de sustrato en cada una de estas áreas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en tres espacios protegidos en la costa de la Comunidad Valenciana, España, con el fin de monitorizar los ecosistemas de gran valor ecológico que motivaron la protección de estas zonas por parte de la administración autonómica. Las tres áreas de estudio son la Reserva Natural Marina de Irta (provincia de Castellón), la Reserva Natural de los Fondos Marinos del Cabo de San Antonio y el Parque Natural de la Serra Gelada y su entorno litoral (ambas en la provincia de Alicante) (Fig.1).

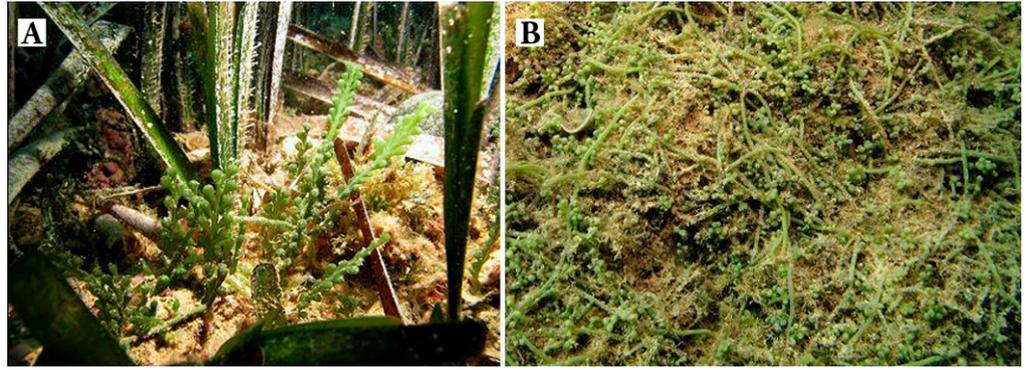
Los muestreos se llevaron a cabo entre septiembre de 2011 y diciembre de 2012, con una periodicidad mensual o bimensual dependiendo de las condiciones meteorológicas. La variable elegida para medir la colonización del alga invasora ha sido la cobertura en proyección sobre diferentes hábitats y en diferentes estaciones del año, medida como el porcentaje de sustrato ocupado por el alga.

Fig.1. Situación geográfica de las áreas de estudio, zonas de muestreo (●) y extensión de los espacios naturales protegidos. Reserva Natural Marina de Irta (A), Reserva Natural de los fondos marinos del Cabo de San Antonio (B) y Parque Natural de la Serra Gelada y su entorno litoral (C).



Artículos

Fig. 2. *Caulerpa racemosa* en pradera de *Posidonia oceanica* en el Cabo de San Antonio a 11 m. de profundidad (A) y sobre fondo rocoso a 7 m. en Serra Gelada (B).



En cada área de estudio se eligieron 3 zonas de muestreo de 1 ha de superficie, distribuidas de norte a sur. La selección de las zonas de muestreo se ha basado en que ofrezcan una buena cobertura espacial del área de estudio y representen los hábitats más característicos de la misma. Tras un muestreo preliminar para establecer las zonas de muestreo, en el caso de Irta, no se detectó el alga invasora con lo que en esta área se realizaron muestreos únicamente con el fin de detectar la posible colonización durante el periodo de estudio. Por otra parte, en las aéreas de estudio alicantinas, una de las tres zonas de muestreo de cada área, funcionó como estación control para saber si se produce colonización durante el estudio, ya que al inicio del mismo, no se detectó presencia de *C. racemosa*.

En cada sesión de muestreo se visitó una de las zonas, en la que dos buceadores obtuvieron datos de cobertura en proyección del alga invasora, mediante muestreos aleatorios a lo largo del recorrido de la inmersión, que se iniciaba en un punto georreferenciado. Utilizando una cuadrícula de 40x40 cm de lado subdividida en 64 subcuadrículas, se estimó el porcentaje de cobertura según la presencia/ausencia contabilizada en cada subcuadrícula, considerando una cobertura del 100% si en las 64 subcuadrículas estaba presente el alga, p.e. En cada muestreo se obtuvieron aproximadamente 20 puntos donde se midió la cobertura algal en la cuadrícula de 40x40 cm y se registró además, el tipo de sustrato observado, siendo 5 los considerados en este estudio (PO = pradera de *P. oceanica*, MPO = margen de pradera de *P. oceanica*, MATTE = mata muerta de *P. oceanica*, ROCA y ARENA, Fig. 2) y la profundidad, el rango batimétrico en que se realizaron las mediciones se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Denominación, localización y caracterización de las zonas de muestreo.

ZONA DE MUESTREO	COORDENADAS SITIOS DE MUESTREO	PROFUNDIDAD (M)	CARACTERIZACIÓN
Badum	40° 19.519' N 0° 21.990' E	5 - 6	Fondos arenosos y paredes rocosas. Elevada exposición al oleaje de primer y segundo cuadrante.
Irta	40° 17.707' N 0° 20.748' E	4 - 5	Pradera de <i>P. oceanica</i> y fondos rocosos. Elevada exposición al oleaje de primer y segundo cuadrante.
Mundina	40° 15.617' N 0° 18.279' E	5 - 6	Fondos arenosos y paredes rocosas. Elevada exposición al oleaje de primer y segundo cuadrante.
Rotes	38° 49.411' N 0° 9.587' E	2 - 5	Fondos rocosos. Elevada exposición al oleaje de primer cuadrante.
Pope	38° 47.944' N 0° 11.592' E	9 - 12	Pradera de <i>P. oceanica</i> y fondo con cascajo. Expuesto a oleaje del segundo cuadrante.
Muntañar	38° 47.137' N 0° 11.159' E	6 - 7	Pradera de <i>P. oceanica</i> y fondo rocoso. Exposición al oleaje del segundo cuadrante.
Mascarat	38° 37.770' N 0° 1.025' E	7 - 9	Pradera de <i>P. oceanica</i> y fondo rocoso. Exposición al oleaje del segundo cuadrante.
Mina	38° 33.949' N 0° 3.207' O	7 - 9	Pradera de <i>P. oceanica</i> y fondo rocoso. Exposición al oleaje del primer cuadrante.
Mitjana	38° 32.165' N 0° 4.424' O	10 - 13	Pradera de <i>P. oceanica</i> y fondo rocoso. Exposición al oleaje del segundo cuadrante.

Artículos

El tratamiento estadístico se ha realizado con el programa informático Statgraphics Centurion XVII.I. Para estudiar la evolución anual, se han representado gráficamente los resultados obtenidos en cada una de las zonas de muestreo, mostrando los datos de cobertura media estacional y su desviación típica. El periodo de estudio sobrepasa el ciclo anual, lo que permite establecer comparaciones entre la cobertura media de otoño del año 2011 con la de otoño del 2012. Para valorar estas diferencias se ha recurrido test G, comparando las frecuencias absolutas de las cuadrículas con presencia y ausencia de cada otoño.



Caulerpa racemosa sobre *Cladocora caespitosa*.

Para analizar la variación estacional se muestra en una tabla los datos de cobertura media estacional, su desviación típica y el rango, que indica el valor mínimo y máximo de las mediciones. Se ha representado gráficamente la cobertura media estacional en cada área de estudio y se han comparado con el test Kruskal-Wallis, para obtener diferencias entre estaciones dentro de cada área y con el test U de Mann-Whitney, para obtener diferencias entre áreas en la misma estación. Para detectar que estaciones se diferencian significativamente de otras en cada área, se ha realizado una comparación múltiple según el test de Bonferroni, debido a la diferencia entre los tamaños muestrales.

La preferencia de hábitat de *C. racemosa* se ha estudiado en función del sustrato sobre el que crece, utilizando sólo los datos de cobertura estival, ya que es la estación en que la dispersión es máxima y las posibles diferencias observadas serán independientes de la variabilidad estacional. Se muestran los datos de cobertura media estacional, su desviación típica y el rango. También se representa gráficamente la cobertura media estival observada en

cada sustrato para cada área de estudio. Los datos medidos para cada área se han analizado con el test de Kruskal-Wallis y para detectar concretamente diferencias significativas entre cada sustrato se ha aplicado el test de Bonferroni.

El análisis de la influencia de la profundidad se ha llevado a cabo mediante el test de Kruskal-Wallis, comparando los datos de cobertura dentro de cada área de estudio en función de la profundidad a la que se obtuvieron.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Reserva Natural Marina de Irta se realizaron transectos de búsqueda en 3 zonas, Badum, Irta y Mundina durante todas las estaciones, no encontrándose presencia de *C. racemosa* durante el periodo de estudio. En la Reserva Natural de los fondos marinos del Cabo de San Antonio se examinaron igualmente 3 enclaves, de los que Rotes se hallaba libre del alga invasora al inicio del estudio, es una zona control, por lo que para el estudio de la cobertura de *C. racemosa* en esta área, se consideran sólo los datos obtenidos en el conjunto de las dos restantes zonas, Muntañar y Pope. Por otro lado, en el Parque Natural de Serra Gelada y su entorno litoral también se examinaron 3 enclaves y, al igual que en el caso anterior, en uno de ellos, Mascarat, no se detectó la presencia del alga, tomando en consideración para este análisis las mediciones efectuadas en Mina y Mitjana.

El periodo de estudio se ha prolongado durante más de un año, pudiendo obtener comparativas anuales sobre la presencia del alga en las dos áreas de estudio alicantinas. En Rotes (fig. 3), se produjo la colonización de la zona durante el periodo de estudio, terminando el periodo con una cobertura de $5,49 \pm 22,35$ en otoño de 2012. En el resto de zonas del Cabo de San Antonio, no se encuentran diferencias significativas en la evolución de la cobertura algal entre el inicio y el final del estudio (fig. 4, Pope, G-test, $G_{adj^{*}lg.l.} = 0,02510$; $P > 0,70$; fig. 5, Muntañar, G-test, $G_{adj^{*}lg.l.} = 1,048$; $0,1 < P < 0,70$).

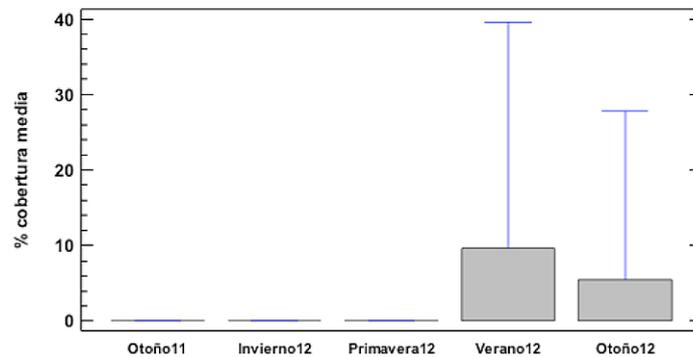


Fig. 3. Cobertura media estacional y SD de *C. racemosa* en Rotes, n=120.

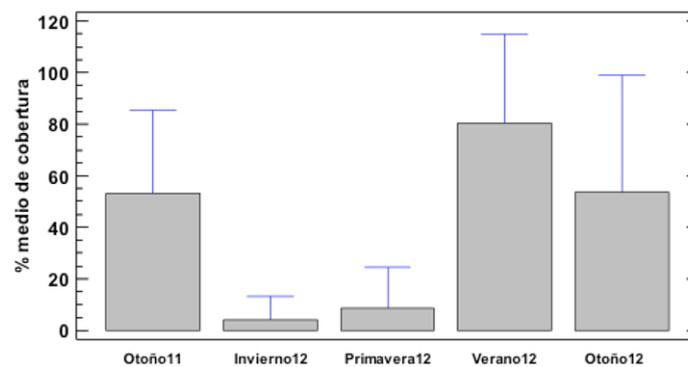


Fig. 4. Cobertura media estacional y SD de *C. racemosa* en Pope, n=145.

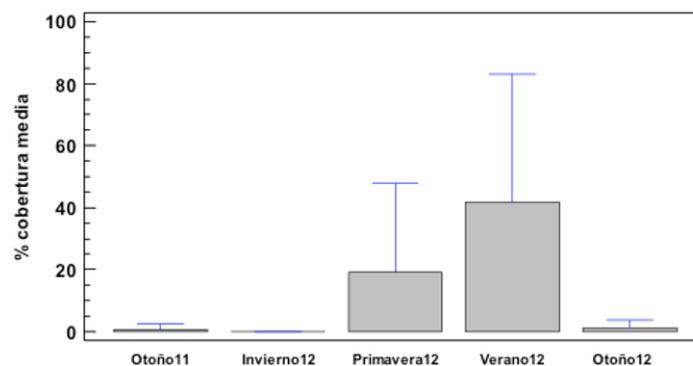


Fig. 5. Cobertura media estacional y SD de *C. racemosa* en Muntañar, n=132.

Artículos

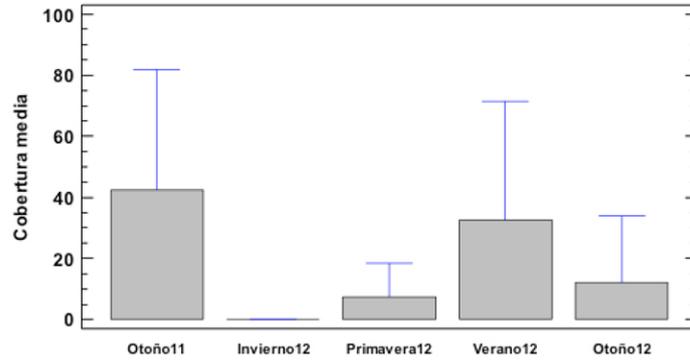


Fig. 6. Cobertura media estacional y SD de *C. racemosa* en Mina, n=100.

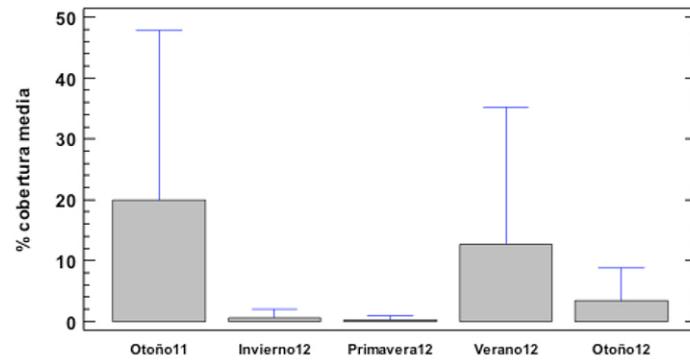


Fig. 7. Cobertura media estacional y SD de *C. racemosa* en Mitjana, n=110.

En el área de estudio de Serra Gelada, no se ha detectado *C. racemosa* en la zona control de Mascarat. En Mina y Mitjana se ha observado una disminución en la cobertura algal entre el inicio y final del estudio, habiéndose obtenido diferencias estadísticamente significativas (fig. 6, Mina, G-test, $G_{adj}^{*1g.l.} = 303,81; P < 0,001$; fig. 7, Mitjana, $G_{adj}^{*1g.l.} = 205,66; P < 0,001$).

En las dos áreas de estudio se aprecia un patrón estacional en la frecuencia de aparición del alga invasora. Para el conjunto de datos de cobertura que se muestra en la tabla 2, se observa un claro patrón estacional, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre las distintas estaciones en el Cabo de San Antonio (Kruskal-Wallis, $H = 59,1879; P < 0,001$). En el caso de Serra Gelada, y para el mismo ciclo, también aparece un patrón estacional, estableciéndose diferencias significativas entre las distintas estaciones (Kruskal-Wallis, $H = 25,98; P < 0,001$).

Tabla. 2. Cobertura media estacional de *C. racemosa* en las áreas marinas estudiadas (n = número de muestras analizadas, SD = desviación típica).

	ESTACIÓN	N	% COBERTURA ± SD	RANGO
Cabo San Antonio	Otoño11	30	35,6 ± 36,1	0 - 100,0
	Invierno12	40	2,9 ± 8,1	0 - 37,5
	Primavera12	80	14,4 ± 24,1	0 - 93,7
	Verano12	67	59,0 ± 42,6	0 - 100,0
	Otoño12	40	27,3 ± 41,4	0 - 100,0
Serra Gelada	Otoño11	40	31,1 ± 35,6	0 - 100,0
	Invierno12	30	0,4 ± 1,1	0 - 4,7
	Primavera12	20	3,9 ± 8,3	0 - 30,0
	Verano12	76	20,4 ± 32,5	0 - 100,0
	Otoño12	44	7,2 ± 5,4	0 - 78,6

Artículos

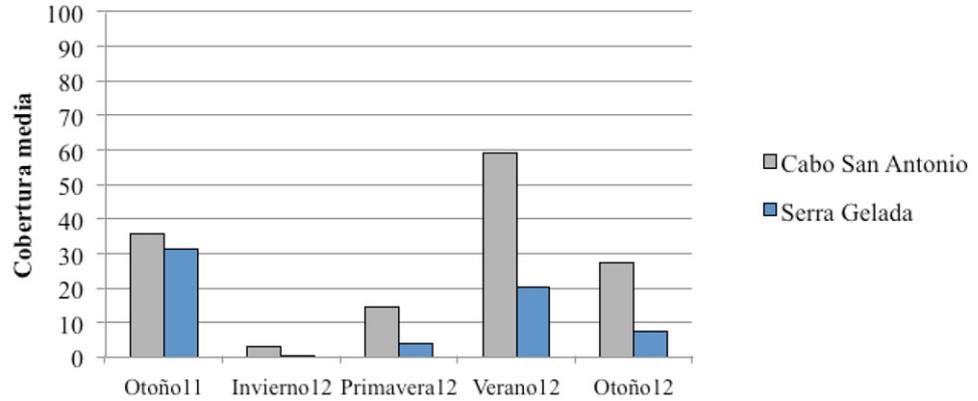


Fig. 8. Variación estacional de la cobertura media de *C. racemosa*.

El análisis de la variabilidad de la cobertura estacional en cada área de estudio se resume en la fig. 8, en la que se aprecia como *C. racemosa* afecta por igual a las dos áreas en otoño de 2011 (Mann-Whitney $U = 553, P = 0,57$) y a partir de ese momento la cobertura del alga invasora es muy superior en el Cabo de San Antonio, aunque las diferencias solo son significativas durante el verano (Mann-Whitney, $U = 1430; P < 0,001$). Para el ciclo estacional correspondiente a 2012, la cobertura media de verano de 2012, es la única que muestra diferencias significativas con todas las demás en cada una de las dos áreas de estudio (Bonferroni, $P < 0,05$).

Para analizar la influencia del sustrato solo se tendrá en cuenta la cobertura estival en las dos áreas de estudio debido a que es cuando se dan las frecuencias máximas de aparición del alga y es la única estación del año que muestra diferencias estadísticamente significativas dentro del ciclo anual en el presente estudio. Los resultados de la cobertura media estival de *C. racemosa* en los diferentes sustratos de ambas áreas se detallan en la tabla 3.

Tabla. 3. Cobertura media estival de *C. racemosa* en las áreas marinas estudiadas (n = número de muestras analizadas, SD = desviación típica).

	ESTACIÓN	N	% COBERTURA ± SD	RANGO
Cabo San Antonio	PO	15	0	–
	ARENA	4	13,6 ± 23,2	0 - 48,4
	MPO	1	26,5 ± –	26,5 – 26,5
	MATTE	13	85,4 ± 17,6	50 – 100,0
	ROCA	34	81,3 ± 28,9	0 – 100,0
Serra Gelada	PO	22	3,5 ± 9,2	0 - 37,5
	ARENA	4	0	–
	MPO	5	41,9 ± 42,6	0 - 100,0
	MATTE	10	22,5 ± 28,9	0 - 81,2
	ROCA	35	33,3 ± 38,3	0 – 100,0

Se han podido determinar marcadas diferencias en la vulnerabilidad de cada sustrato a la invasión del alga. Los porcentajes de cobertura más elevados se han registrado sobre sustrato rocoso (ROCA), márgenes de pradera de *P. oceanica* (MPO) y mata muerta de *P. oceanica* (MATTE). Los más bajos, se han observado en fondos arenosos (ARENA) y *P. oceanica* (PO) (fig. 9).

Artículos

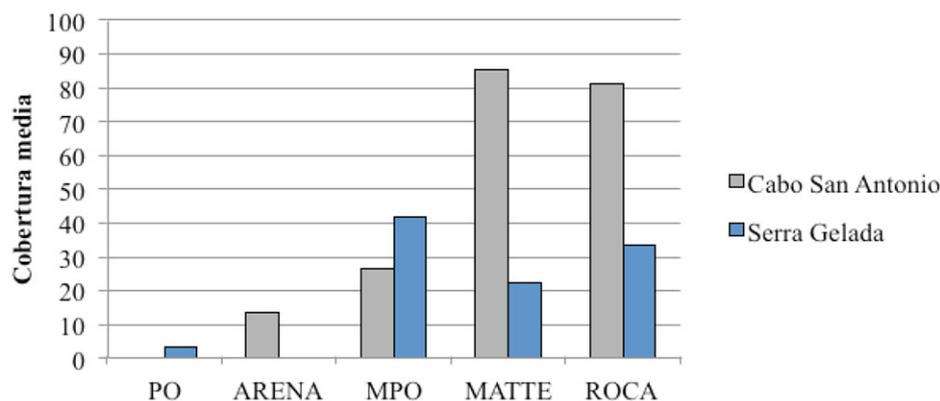


Fig. 9. Variación de cobertura media estival según el sustrato en cada área de estudio. (PO = *P. oceanica*, MPO = Margen de pradera de *P. oceanica*, MATTE = Mata muerta de *P. oceanica*).

En el Cabo de San Antonio se han obtenido diferencias significativas para la cobertura entre los 5 tipos de sustrato (Kruskal-Wallis $H = 41,115$; $P < 0,001$). En el análisis de comparación múltiple de los distintos sustratos, se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las coberturas de dos grupos homogéneos que son [PO, ARENA] y [ROCA, MATTE], es decir, que existen diferencias entre los sustratos PO-ROCA, PO-MATTE, ARENA-ROCA, ARENA-MATTE (Bonferroni $P < 0,05$). El valor muestral de la cobertura sobre sustrato MPO es solo de $n = 1$, por lo que se ha excluido del análisis por su baja representatividad.

En Serra Gelada, también se han obtenido diferencias significativas para la cobertura entre los 5 tipos de sustrato (Kruskal-Wallis $H = 16,41$; $P = 0,0025$). En este caso, al realizar la comparación múltiple solo aparece diferencia significativa entre PO y ROCA (Bonferroni, $P < 0,05$).

Por último se ha analizado la variabilidad en cada área de estudio en función de la profundidad a la que aparece *C. racemosa* durante los meses de verano, que es cuando su cobertura alcanza los valores máximos. El resultado ha sido la ausencia de diferencias estadísticamente significativas para esta variable en el rango de profundidades estudiadas (test de Kruskal-Wallis, Cabo de San Antonio $H = 43,45$, $P = 0,07$; Serra Gelada $H = 43,32$, $P = 0,29$).

DISCUSIÓN

Las primeras citas de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* en la Comunidad Valenciana se dieron en los alrededores del puerto de Castellón en 1999 (Aranda *et al.*, 1999), la dinámica costera que moviliza materiales de norte a sur, su alto éxito reproductivo y factores antrópicos de dispersión, le podrían haber permitido alcanzar en pocos años el resto de la costa valenciana y alicantina.

La ausencia de *C. racemosa* en la Reserva Natural Marina de Irta podría deberse a la lejanía de posibles focos de invasión conocidos al norte, ya que, en la costa catalana el alga no está muy expandida. Por otra parte, el sustrato predominante en esta reserva marina está constituido por fondos blandos, a los que el alga no puede fijarse (Ruitton *et al.*, 2005). La franja inmediatamente litoral, rocosa y con pequeñas praderas dispersas de *P. oceanica*, es la que por su naturaleza podría alojar a *C. racemosa*, pero aquí, el efecto del hidrodinamismo y el buen estado de conservación de las praderas y las comunidades algales nativas podrían estar dificultando su establecimiento.

Artículos

En las áreas de estudio situadas al sur de la comunidad, el alga se citó por primera vez en 2001 (Aranda *et al.*, 2003 y Pena Martín *et al.*, 2003). La gran presión antrópica (por presencia de emisarios submarinos, la construcción de puertos deportivos, la falta de regulación del fondeo de embarcaciones, pesca ilegal, etc.) podría haber influido de manera significativa en el deterioro de las comunidades biológicas y las praderas de fanerógamas marinas favoreciendo la dispersión de *C. racemosa*. La acumulación excesiva de sedimentos favorece la degradación y el cambio de las comunidades nativas algales en fondos rocosos (Airoldi, 2000), en los que pasan a predominar algas con mayor valencia ecológica de tipo cespitoso, las cuales, y según últimos estudios pueden favorecer la fijación y dispersión de *C. racemosa* (Bulleri *et al.*, 2010).

El ciclo estacional de *C. racemosa* en las áreas de estudio del Cabo de San Antonio y Serra Gelada, con un máximo crecimiento desde el verano a otoño, una drástica regresión durante el invierno y la recuperación del crecimiento en primavera, se corresponde con estudios previos realizados en el Mediterráneo (Piazzi *et al.*, 1997, 1999, 2001; Serio y Pizzuto, 1998; Piazzi y Cinelli, 1999; Buía *et al.*, 2001; Cecherelli *et al.*, 2000, 2001). Durante la regresión estacional que se produce en invierno se pueden detectar pequeños fragmentos de rizoides y estolones e incluso frondes erectos de forma similar a lo que ocurre en otros lugares con latitudes similares como Grecia (Panayotidis y Montesanto, 1994) o Italia (Cecherelli *et al.*, 2000, 2001; Modena *et al.*, 2000; Piazzi *et al.*, 2001).

En el Cabo de San Antonio, los sustratos MATTE y ROCA presentan las mayores coberturas de *C. racemosa*, mientras que las encontradas en PO y ARENA son significativamente menores. Estas diferencias descritas se corresponden con estudios previos (Katsavakis *et al.*, 2010).

Estolones de *C. racemosa*.



Artículos

En el área de estudio de Serra Gelada, el tipo de sustrato MPO es el más afectado por la colonización de *C. racemosa*, aunque según las observaciones, también MATTE y ROCA presentan niveles altos de cobertura del alga. Se ha detectado presencia de *C. racemosa* en zonas de pradera de *P. oceanica* fragmentada. Se ha comprobado que en praderas de *P. oceanica* bien conservadas, las elevadas densidades de haces, dificultan la colonización de *C. racemosa*, viéndose restringido su crecimiento a los márgenes y a los parches (Cecherelli *et al.*, 2000; Klein y Verlaque, 2008).

La ausencia de diferencias significativas de cobertura según la profundidad probablemente se deba a que el rango de profundidades consideradas en una misma zona es bastante reducido. En otros estudios, se han constatado patrones dispares de respuesta a la profundidad, desde un descenso de la cobertura al aumentar la profundidad (De Biasi *et al.*, 1999), hasta una mayor biomasa, longitud de estolones y longitud y número de frondes en zonas profundas en comparación con otras más someras (Cebrián y Ballesteros, 2009).

CONCLUSIONES

- » En las áreas de estudio situadas en la costa de Alicante se han detectado grandes extensiones colonizadas por *C. racemosa*, localizadas en zonas afectadas por la acción antrópica, sobretudo sobre sustrato rocoso y mata muerta de *P. oceanica*.
- » *C. racemosa* presenta un patrón estacional en la mayoría de las zonas de muestreo invadidas desde el principio del estudio (Pope, Mina y Mitjana), y un patrón más heterogéneo en aquellas inmersas en los primeros estadios del proceso de invasión (Rotes y Muntañar).
- » El verano es la estación del año en la que la cobertura del alga es más elevada, por lo que se convierte en el periodo más adecuado para realizar los muestreos dentro de un programa de seguimiento a largo plazo.
- » La vulnerabilidad a la invasión de *C. racemosa* varía en función del tipo de hábitat y sustrato, constituyendo la roca, la mata muerta y los márgenes de pradera de *P. oceanica*, los sustratos más vulnerables a la invasión. Dentro de las praderas de *P. oceanica* el alga aparece con una baja frecuencia y es más probable encontrarla en praderas fragmentadas, con parches y bajas densidades de haces. En las praderas en buen estado de conservación no se ha detectado presencia de *C. racemosa*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIROLDI, A., 2000. Responses of algae with different life histories to temporal and spatial variability of disturbance in subtidal reefs. *Marine Ecology*, 195: 81:92.
- ARANDA, A., MALLOL, J., SOLANO, I., 1999. Presencia del alga *Caulerpa racemosa* forsskål J. Agardh (Chlorophyta, caulerpales) en el Mediterráneo ibérico. *Actas XIII Congreso Nac. Bot. Criptogámica*, 53.
- ARANDA, A., BUENO, M., SOLANO, I., GUILLÉN, J. E., 2003. Red de vigilancia del litoral valenciano frente al peligro de invasión de especies exóticas del género *Caulerpa*. *Actas del I Congreso Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras*, 2003. 160:161.

Artículos

- BALLESTEROS, E., GRAU, M., RIERA, F., 1999. *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) a Mallorca. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 42: 68.
- BUIA, M.C., GAMBI, M.C., TERLIZZI, A. y MAZZELLA, L., 2001. Colonization of *Caulerpa racemosa* along the southern Italian coasts: I. Distribution, phenological variability and ecological role. EN: GRAVEZ, V., RUITTON, S., BOUDOU-RESQUE, C.F., LE DIREACH, L., MEINESZ, A., SCABBIA, G., VERLAQUE, M., eds. Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*., Marseille, France: GIS Posidonie Publisher, 352:360.
- BULLERI, F., BALATA, D., BERTOCCI, I., TAMBURELLO, L., BENEDETTI-CECCHI, L., 2010. The seaweed *Caulerpa racemosa* on Mediterranean rocky reefs: from passenger to driver of ecological change. *Ecology*, 91(8): 2205:2212.
- CAVAS, L., YURDAKOC, K., 2005a. A comparative study: Assessment of the antioxidant system in the invasive green alga *Caulerpa racemosa* and some macrophytes from the Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 321:35:41.
- CAVAS, L., BASKIN, Y., YURDAKOC, K., OLGUN, N., 2006. Antiproliferative and newly attributed apoptotic activities from an invasive marine alga: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 339:11:119.
- CEBRIAN, E., Y BALLESTEROS, E., 2009. Temporal and spatial variability in shallow- and deep-water populations of the invasive *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the Western Mediterranean. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 83: 469:474.
- CECCHERELLI, G., PIAZZI, L., CINELLI, F., 2000. Response of the non-indigenous *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh to the native seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: effect of density of shoots and orientation of edges of meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 243: 227:240.
- CECCHERELLI, G., PIAZZI, L., 2001. Dispersal of *Caulerpa racemosa* fragments in the Mediterranean: lack of detachment time effect on establishment. *Botanica Marina*, 44: 209:213.
- DE BIASI A.M., GAI F., VANNUCCI A., 1999. Biologia delle Secche della Meloria: considerazioni sull'ecologia di *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh. *Biol Mar Medit*, 6(1): 376:379.
- KATSANEVAKIS, S., ISSARIS, Y., POURSANIDIS, D., THESSALOU-LEGAKI, M., 2010. Vulnerability of marine habitats to the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* within a marine protected area. *Marine Environmental Research*, 70: 210:218.
- KLEIN, J., VERLAQUE, M., 2008. The *Caulerpa racemosa* invasion: a critical review. *Marine Pollution Bulletin*., 56: 205:225.
- MODENA, M., MATRICARDI, G., VACCHI, M., GUIDETTI, P., 2000. Spreading of *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (Bryopsidaceae, Chlorophyta) along the coasts of the Ligurian Sea. *Cryptogamie Algologie*, 21: 301:304.
- NIZAMUDDIN, M., 1991. *The Green Marine Algae of Libya*. Elga Publisher, Bern.
- PANAYOTIDIS, P., MONTESANTO, B., 1994. *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the greek coasts. *Cryptogamie Algologie*, 15(2): 159:161.

Artículos

- PANAYOTIDIS, P., ŽULJEVIĆ, A., 2001. Sexual reproduction of the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *occidentalis* in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 24(2): 199:203.
- PENA MARTÍN, C., CRISTÓBAL FERNANDEZ, J.C., CRESPO, M.B., SÁNCHEZ POVEDA, M., 2003. *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J. Agardh (Caulerpales, Chlorophyceae), nueva para la flora de Alicante. *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 60(2): 448:449.
- PIAZZI, L., BALESTRI, E., MAGRI, M., CINELLI, F., 1997. Expansion de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J. Agardh (Bryopsidophyceae, Chlorophyta) le long de la cote toscane (Italie). *Cryptogamie Algologie*, 18: 343:350.
- PIAZZI, L., CINELLI, F., 1999. Développement et dynamique saisonnière d'un peuplement méditerranéen de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J. Agardh. *Cryptogamie Algologie*, 20: 295:300.
- PIAZZI, L., CECCHERELLI, G. Y CINELLI, F., 2001. Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 210: 149:159.
- RUITTON, S., VERLAQUE, M., BOUDOURESQUE, C.F., 2005. Seasonal changes of the introduced *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) at the northwest limit of its Mediterranean range. *Aquatic Botany*, 82: 55:70.
- RUIZ FERNÁNDEZ, J.M., RAMOS SEGURA, A., GARCÍA MUÑOZ, R., 2007. Introducción reciente y expansión del alga tropical invasora *Caulerpa racemosa* en el litoral de la Región de Murcia. *Informe del Instituto Español de Oceanografía*, Murcia.
- SERIO, D., PIZZUTO, F., 1998. Studio di un prato a *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) di Brucoli (SR) con osservazioni in coltura della specie. *Bollettino dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali Catania*, 31: 201:209.
- WOMERSLEY, H.B.S., 1984. *The Marine Benthic Flora of Southern Australia Part I*. Adelaide: S.A. Government Printer. 329 pp.

