

**ECOLOGÍA DEL ENDEMISMO DEL
ESTRECHO DE GIBRALTAR
LIMONIUM EMARGINATUM
EN CEUTA**

M. E. Figueroa Clemente
J. M. Castillo Segura
O. Garzón Gómez
P. García García



INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTIÉS

2013

**ECOLOGÍA DEL ENDEMISMO DEL
ESTRECHO DE GIBRALTAR *LIMONIUM*
EMARGINATUM EN CEUTA**

Manuel E. Figueroa Clemente

Jesús M. Castillo Segura

Orlando Garzón Gómez

Pedro García García



INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES
CEUTA 2013

El contenido de esta publicación procede de la Beca concedida por el Instituto de Estudios Ceutíes, perteneciente a la Convocatoria de Investigación de 2006.

Colección “Trabajos de Investigación”

© EDITA: INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES

Apartado de correos 593 • 51080 Ceuta

Tel.: + 34 - 956 51 0017

E-mail: iec@ieceuties.org

www.ieceuties.org

Comité editorial:

Francisco Herrera Clavero • Alberto Weil Rus

José Luis Ruiz García • José Antonio Alarcón Caballero

Jefa de publicaciones:

Rocío Valriberas Acevedo

Diseño, maquetación y realización:

Enrique Gómez Barceló

Edición Digital:

ISBN: 978-84-92627-55-4

Depósito Legal: CE 45 - 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Estudios Ceutíes por confiar en nuestro proyecto de investigación y otorgarnos una beca de investigación que lo ha hecho posible.

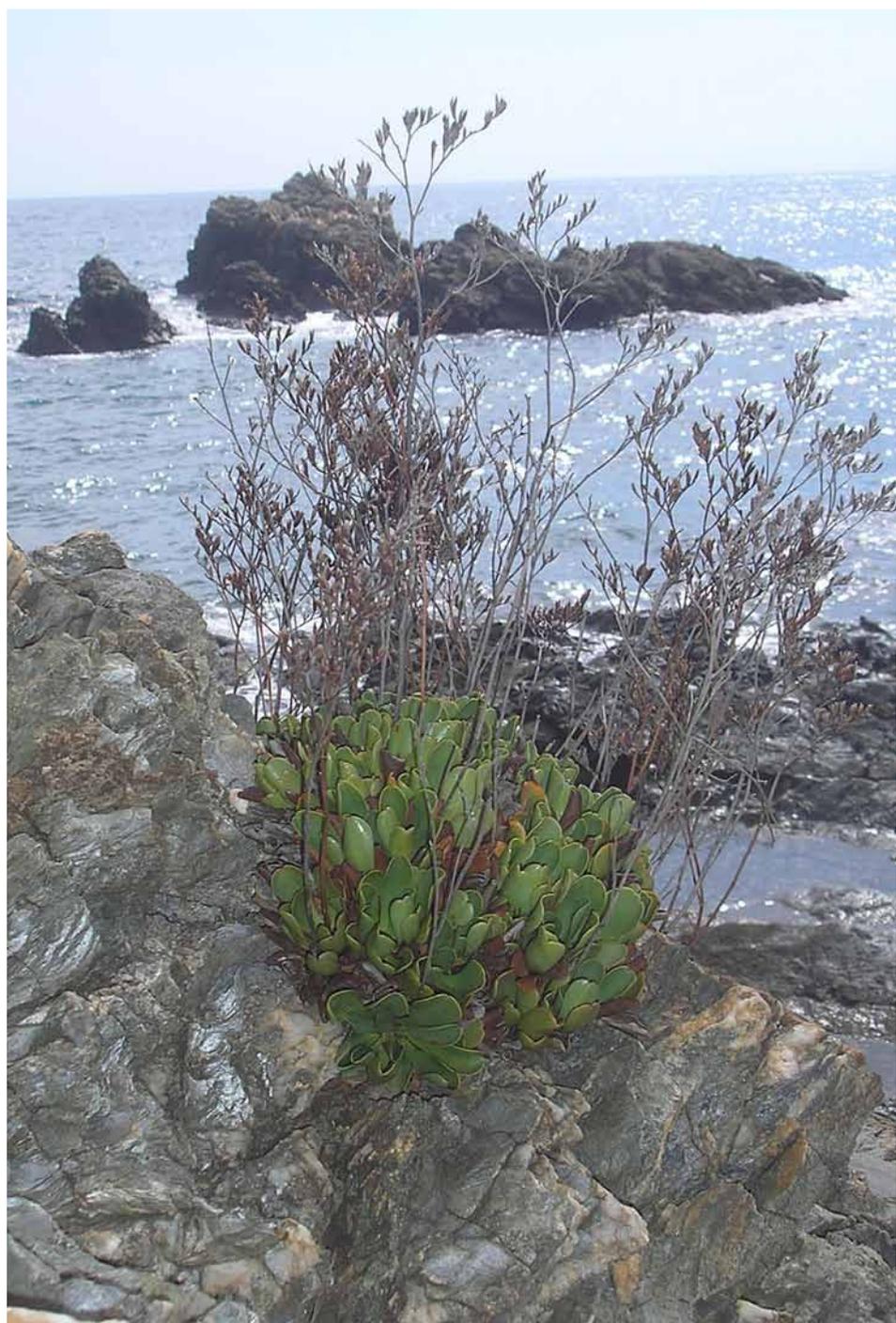
Agradecemos a D. Francisco Javier Martínez Medina y D. José Luis Ruiz García, del Instituto de Estudios Ceutíes, su ayuda y colaboración durante el desarrollo del estudio.

A la concejala de Medio Ambiente de la Ciudad Autónoma de Ceuta por facilitarnos la autorización necesaria para el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE

1. Características ecológicas generales de <i>Limonium emarginatum</i>	13
2. Análisis de la vegetación en las poblaciones ceutíes de <i>Limonium emarginatum</i>	19
3. Diversidad genética de <i>Limonium emarginatum</i> en Ceuta	29
4. Dinámica poblacional de <i>Limonium emarginatum</i> en Ceuta	45
5. Ecofisiología de <i>Limonium emarginatum</i> en Ceuta	75
6. Creación de nuevas poblaciones de <i>Limonium emarginatum</i> en Ceuta mediante trasplantes	91
7. Discusión general sobre el estado de <i>Limonium emarginatum</i> en Ceuta	105
8. Bibliografía	113

**ECOLOGÍA DEL ENDEMISMO DEL
ESTRECHO DE GIBRALTAR *LIMONIUM*
EMARGINATUM EN CEUTA**



1

CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS GENERALES DE LIMONIUM EMARGINATUM

Características botánicas, biología y distribución

Nombre científico: *Limonium emarginatum* (Willd.) O. Kuntze.

Nombre común: Saladina o Siempreviva del Estrecho.

Familia: Plumbaginaceae.

Figura de protección: “Vulnerable” (VU; UICN) y “Vulnerable a la Extinción” en Andalucía.

Descripción

Planta perenne de hojas persistentes, multicaule, glabra, formando una cepa de hasta 25 cm de altura y 50 cm de diámetro. Tallos de hasta 75 cm, erectos o ascendentes, ramificados y con hojas en el 1/3 inferior; después subescaposo. Hojas de 3-20 (-25) x (1.5-) 3-9 (-14) mm, gradualmente estrechadas en un pecíolo de hasta 3,5 mm de anchura, con 1 nervio central muy marcado y 2 laterales menos marcados. Inflo-



rescencia paniculada, a veces con 1-3 ramas cortas estériles. Ramas principales de hasta 18 cm, rectas o arqueadas, laxa o densamente ramificada, con numerosas espigas de 10-50 mm, a su vez con 4-8 espiguillas de 9-11 mm y 1-2 (-3) flores. Brácteas externas de 2,5-4,2 x 1,3-2,4 mm, ovado-oblongas u ovadotriangulares, con márgenes estrechamente membranosos y ápice obtuso. Bráctea interna de 6,5-9 x 4-5 mm, de estrechamente ovada a estrechamente elíptica, subcoriácea, con márgenes estrechamente membranosos y ápice obtuso. Cáliz de 6-8 mm, tan largo o ligeramente más largo que la bráctea interna, con tubo glabro o ligeramente peloso en la base y dientes de 1,0-1,5 mm, triangulares, agudos. Corola con pétalos de 11,0-12,5 mm, cuneiformes, violáceos o azul-violáceos.

Biología reproductiva

Limonium emarginatum florece abundantemente desde abril hasta finales de octubre. La fructificación y liberación de las semillas comienza a finales de julio y se prolonga hasta finales de noviembre.

También se extiende vegetativamente mediante estolones, formando rodales bajos aplicados a las rocas, de hasta 0,5 x 0,4 mm.

Distribución

Se encuentra de modo mayoritario en fisuras de acantilados costeros, aunque también aparece en arenales costeros. Es una especie característica de la comunidad algibico-tingitana *Limonietum emarginati* (Asensi, 1984), en la que se encuentra acompañada por *Asteriscus maritimus*, *Calendula suffruticosa*, *Silene obtusifolia*, *Crithmum maritimum*, etc.

Fue descrita originalmente con material procedente del peñón de Gibraltar y considerada como endémica del Peñón. Más tarde se comprobó su presencia en las costas de Cádiz, fuera de Gibraltar, donde se encuentra en algunas localidades desde Punta Carnero, al sur de Algeciras, hasta Punta Camarinal, en Tarifa.



Cubre, además, todos los acantilados de la Isla de Tarifa o de las Palomas. En el continente africano es frecuente en una estrecha banda costera entre isla Perejil, Ceuta y Castillejos.



Especies vegetales de Benzú a monte Hacho

Como hábitat especialmente importante, no incluido en el Anexo I de la Directiva 92/43/CEE, destaca la comunidad *Rupicapnetum africanae*, la única formación calcícola exclusivamente norteafricana de todo el territorio español y de la Unión Europea. Dicha comunidad cuenta con elementos vegetales de excepcional interés al tratarse de endemismos de un área muy reducida y que, además, en la mayoría de los casos presentan una alta fragilidad y grandes dificultades para su regeneración natural.

En cuanto a elementos vegetales cabe destacar la presencia en Ceuta de los siguientes taxones:

- Cuatro endemismos rifeños: tres a nivel específico (*Romulea maroccana*, *Stachys fontqueri* y *Bupleurum balansae*) y uno al subespecífico (*Ruta angustifolia abylenae*).
- Cuatro endemismos algarbico-tingitanos: tres a nivel específico (*Bellis rotundifolia*, ***Limonium emarginatum*** e *Iberis gibraltarica*) y uno a nivel de subespecie (*Teucrium scorodonia baeticum*).
- Cinco endemismos bético-rifeños: cuatro especies (*Crepis tingitana*, *Leontodon tingitanus*, *Polygala baetica* y *Anthericum baeticum*) y una subespecie (*Sedum hisurtum baeticum*).
- Cuatro endemismos del sur de España, Ceuta y norte de Marruecos: uno a nivel de variedad (*Smilax aspera* var. *altissima*) y tres a nivel de especie (*Genista tridens*, *Cytisus baeticus* y *Rupicapnos africana*).
- Veintiún endemismos ibero-mauritánico-atlánticos: uno a nivel de variedad (*Misopates orontium* var. *grandiflorum*), cinco a nivel de subespecie (*Cistus populifolius major*, *Lithodora prostrata lusitanica*, *Carduus bourgeanus bourgeanus*, *Linum tenue tenue* y *Carthamus lanatus baeticus*) y quince a nivel de especie (*Agrostis reuteri*, *Biscutella baetica*, *Erica australis*, *Genista triacanthos*, *Genista tridentata*, *Scilla monophyllos*, *Scrophularia sambucifolia*, *Trifolium isthmocarpum*, *Davallia canariensis*, *Polypodium cambricum*, *Drosophyllum lusitanicum*, *Stauracanthus boivinii*, *Ampelodesma mauritanica*, *Aristolochia baetica* y *Pistorinia hispanica*).
- Una especie endémica del sur de España, noroeste de África y Creta: *Campanula velutina*.
- Una subespecie endémica de la Península Ibérica, islas Baleares y noroeste de África: *Crataegus monogyna brevispina*.



ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN EN LAS POBLACIONES CEUTÍES DE *LIMONIUM EMARGINATUM*

Limonium emarginatum es la especie vegetal dominante en los acantilados del litoral ceutí, donde presenta dos grandes núcleos, uno en el monte Hacho y otro al oeste en las proximidades de Benzú. Además, aparece en una pequeña población al este de Ceuta en Juan XXIII. Junto a *L. emarginatum* aparecen otras acompañantes del dominio fitosociológico *Limonietum emarginati*.

Introducción

El litoral ceutí reúne una serie de características geográficas, climáticas, geológicas, botánicas, faunísticas y ecológicas que le confieren una gran singularidad. Junto a la riqueza paisajística, la gran biodiversidad marina es sin duda uno de los aspectos donde cobra especial importancia la biología de la conservación. Menos conocida, pero también de interés ecológico, son las poblaciones vegetales de la costa y más en concreto de los acantilados. Es en este hábitat donde se desarrolla este trabajo sobre *Limonium emarginatum*, endemismo de la zona del estrecho de Gibraltar (Asensi, 1984; Sánchez-García, 2000) y especie catalogada como ‘vulnerable’ por la UICN. La naturaleza extrema del hábitat, así como su estado de protección y el riesgo de conservación de su hábitat, hacen de su estudio un elemento de interés tanto desde el punto de vista de la conservación de una especie amenazada como desde el análisis de los mecanismos ecológicos que regulan sus poblaciones (Garzón et al., 2003). Los acantilados costeros, como otros ecosistemas litorales como las marismas mareales, los manglares o las dunas, se encuentran actualmente muy amenazados por proyectos de construcción de infraestructuras costeras, como puertos, diques o carreteras, y de proyectos turísticos, como hoteles,

segundas residencias o campos de golf. En Ceuta esta problemática es especialmente importante debido a la concentración de población y de infraestructuras.

Material y métodos

Para el reconocimiento de las poblaciones existentes se realizó el recorrido a pie por todo el litoral ceutí, fijando las zonas con presencia de *L. emarginatum* y determinando en cada lugar la distribución de esta planta.

En cada población de *L. emarginatum* se realizaron una serie de transectos lineales perpendiculares a la línea de marea, espaciados 2 m unos de otros, que comenzaban en el nivel de pleamar astronómica y finalizaban cuando desaparecía *L. emarginatum* (la extensión osciló entre 5 y 80 m). A lo largo de estos transectos se cuantificó la cobertura lineal de todas las especies vegetales presentes y del sustrato desprovisto de vegetación. La cobertura lineal se cuantificó con una precisión de 1 cm y la cobertura relativa se calculó finalmente agrupando los datos en intervalos de 5 cm. También se realizaba un reconocimiento fotográfico de la zona. Para la determinación de las especies vegetales presentes se ha seguido a Valdés et al. (1987).

Se calculó la correlación lineal entre el porcentaje de solapamiento de *L. emarginatum* con otras especies con el porcentaje de solapamiento de estas especies con *L. emarginatum*. Estos valores pueden orientarnos sobre la dependencia de otras especies con respecto a *L. emarginatum* para colonizar determinados medios. Además, a lo largo de los transectos se registraron variables de la matriz abiótica como la naturaleza del sustrato (roca o arena), la pendiente de la zona y la orientación.

Las medias de cobertura relativa de las diferentes especies en sustrato rocoso y arenoso fueron comparadas mediante el test de Student (T-test) para muestras independientes utilizando el paquete estadístico 'SPSS 11.5'.

Resultados

Localización de *Limonium emarginatum* en el litoral ceutí

Limonium emarginatum se localizó de oeste a este del litoral ceutí en diferentes núcleos o subpoblaciones: las tres primeras fueron las subpoblaciones de Benzú, Punta Benzú y Punta Cabeza-Punta Blanca a lo largo de una longitud de 1,2 km y una distancia hacia el interior desde la pleamar astronómica de 30 m. A continuación apareció otro núcleo en Punta Bermeja con una extensión paralela

Limonium Emarginatum en Ceuta

a la costa de 70 m y una distancia a la costa de 25 m. Volvió a aparecer después en el monte Hacho, en playa San Amaro con una longitud de 40 m y tan solo una extensión tierra adentro de 5 m. También en el monte Hacho se localizó en la antigua batería de Santa Catalina, en una superficie de unos 400 m². A partir del cementerio, por la costa, encontramos el endemismo teniendo como puntos de referencia Punta Almina y el Desnarigado, con una longitud aproximada de 2 km y una profundidad hacia el interior en los acantilados de hasta 200 m. Ya en la vertiente mediterránea, *L. emarginatum* también colonizaba la extensión situada desde la playa del Desnarigado hasta el Sarchal con una longitud de 780 m y una extensión hacia tierra en los acantilados de 100 m. Por último, apareció en Juan XXIII, prolongación de la playa del Chorrillo, con una longitud de 100 m y una anchura de 10 m (fig. 2.1).



Figura 2.1. Distribución de *Limonium emarginatum* en el litoral ceutí.

Análisis de la vegetación en las poblaciones de *L. emarginatum* en Ceuta

Las especies más representativas en cuanto abundancia en las comunidades colonizadas por *L. emarginatum* fueron las siguientes: *Limonium emarginatum* (20,3%), *Asteriscus maritimus* (15,2%), *Silene obtusifolia* (8,3%), *Anthemis arvensis* (6,0%) y *Plantago coronopus* (5,5%).

El grado de solapamiento espacial de *L. emarginatum* con otras especies fue reducido ($12,9 \pm 3,8\%$) y la superficie libre de vegetación fue muy elevada ($63,4 \pm 6,7\%$).

La cobertura de *L. emarginatum* estuvo relacionada lineal e inversamente con la superficie libre (fig. 2.2).

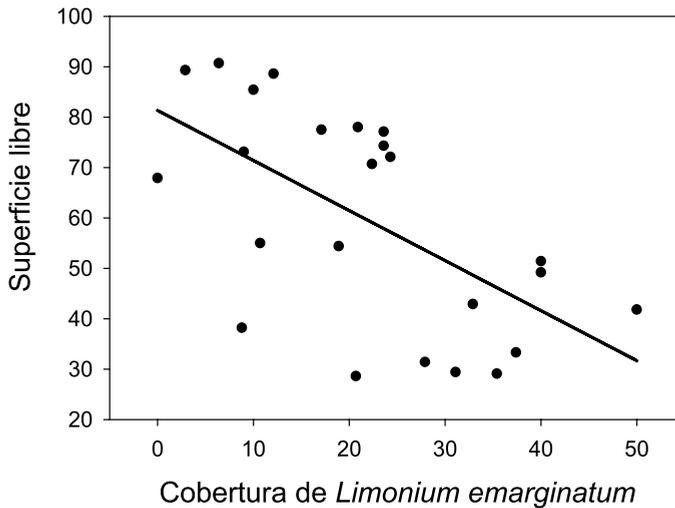


Figura 2.2. Relación entre la superficie libre de vegetación y la cobertura de *Limonium emarginatum* en Ceuta ($r^2 = 0,6$, $P < 0,001$, $n = 24$).

Al comparar la población ceutí con siete poblaciones existentes en el estrecho de Gibraltar se observó que la mayor superficie libre correspondió a Ceuta. Sin embargo, la superficie ocupada por *L. emarginatum* u otras especies fue la segunda más reducida del Estrecho. De igual modo se apreció con el solapamiento (tabla 2.1).

La cobertura máxima media de *Limonium emarginatum* (c. 20%) se alcanzó entre 3 y 23 m de distancia desde el nivel de pleamar astronómica, para disminuir progresivamente con la distancia al mar. En la figura 2.3 que relaciona la cobertura de *L. emarginatum* con la abundancia de superficie desprovista de vegetación en todas las poblaciones se observa que cuando el suelo desnudo fue muy abundante (mayor el 80%), la cobertura relativa del endemismo no superó el 15%. Estas zonas correspondieron con zonas bajas cercanas al mar. Sin embargo, la cobertura de *L. emarginatum* con valores de superficie libre entre 20 y 40% fue muy variable,

Limonium Emarginatum en Ceuta

oscilando entre 5 (en zonas altas donde *L. emarginatum* era excluido por competencia interespecífica) y 65% (en zonas bajas con biodiversidad baja).

Poblaciones	Superficie libre	Cobertura <i>L. emarginatum</i>	Solapamiento <i>L. emarginatum</i>	Cobertura otras especies	N
Gibraltar	25,4 ± 8,2	33,1 ± 5,1	18,5 ± 6,1	54,4 ± 11,0	5
Punta Carnero	56,0 ± 7,5	25,7 ± 9,5	28,9 ± 18,0	28,5 ± 15,6	4
Punta Chorlito	38,2 ± 1,5	22,1 ± 4,2	10,5 ± 2,8	43,7 ± 2,7	2
Isla Palomas	49,6 ± 6,3	28,6 ± 3,6	21,7 ± 4,4	32,7 ± 9,0	6
Punta Paloma	37,3 ± 0,0	30,4 ± 0,0	27,9 ± 0,0	55,0 ± 0,0	2
Punta Camarinal	51,9 ± 6,5	17,3 ± 2,3	27,9 ± 4,4	40,2 ± 6,0	6
Ceuta	63,4 ± 6,7	20,3 ± 5,8	12,9 ± 3,8	17,0 ± 6,1	5
TOTAL	47,5 ± 3,5	24,8 ± 2,1	21,1 ± 2,6	36,5 ± 4,1	30

Tabla 2.1. Superficie de sustrato sin vegetación (%), cobertura de *L. emarginatum* (%), solapamiento de *L. emarginatum* con otras especies (%), cobertura relativa de otras especies (%) para siete poblaciones de *L. emarginatum* en el estrecho de Gibraltar. N: número de zonas muestreadas en cada una de las poblaciones.

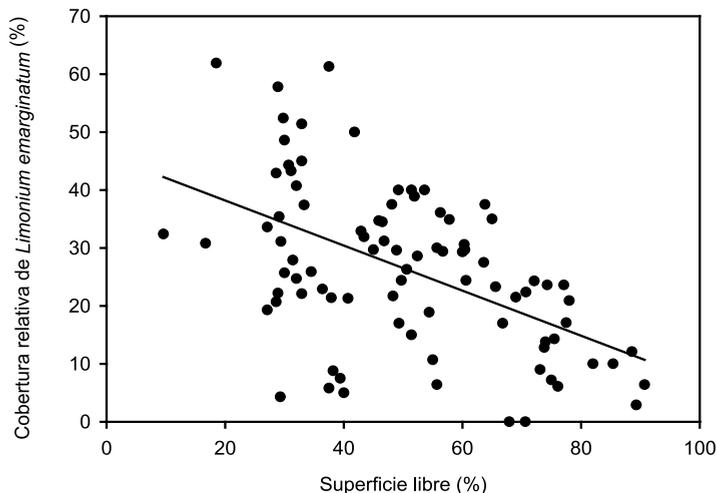


Figura 2.3. Cobertura relativa de *Limonium emarginatum* (%) frente a superficie libre de vegetación (%) en siete poblaciones del estrecho de Gibraltar. Ecuación de regresión: $y = 45,96 - 0,39 x$ ($r^2 = 0,52$, $P < 0,0001$).

Discusión

Por su extensión, se puede considerar a Ceuta como el mayor enclave de *L. emarginatum* en el estrecho de Gibraltar, y por tanto del mundo. Hay que tener en cuenta que la distribución de la saladina en Ceuta no es uniforme, apareciendo concentrada principalmente en dos zonas: las proximidades de Benzú y el monte Hacho. Estas subpoblaciones o núcleos podrían estar relacionados genéticamente y formar una estructura metapoblacional. Sin embargo, como veremos más adelante con el análisis genético, parece que ambos núcleos principales están realmente bastante aislados genéticamente (ver capítulo 3).

En general, fueron muy pocas las especies que aparecieron junto a *L. emarginatum* debido a las condiciones abióticas potencialmente tan estresantes de los acantilados costeros: aerosol salino que determina salinidades elevadas, la acción de fuertes vientos y un sustrato predominantemente rocoso y frecuentemente con pendientes elevadas donde es difícil anclarse. Estas condiciones determinaron que fueran pocas las especies adaptadas, que existiera poco solapamiento entre la saladina y otras especies acompañantes, y que aparecieran grandes extensiones de sustrato desprovisto de vegetación. Estas características de las poblaciones de la Siempreviva del Estrecho nos indicarían poblaciones saludables en las que la especie estudiada es la dominante y en la que no aparecen otras especies que pudieran desplazarla por competencia interespecífica. Cabe destacar que una de las causas de regresión de *L. emarginatum* en otros enclaves en el litoral de la Península Ibérica es la competencia con otras especies tras procesos de degradación de su hábitat, como la ruderalización y nitrificación debido al pastoreo.

Aunque el estado de *L. emarginatum* en Ceuta es actualmente bueno en los núcleos existentes es muy importante tener en cuenta con vistas a su conservación que su distribución está muy restringida a determinados enclaves. Por lo tanto, proyectos concretos de actuaciones, como la construcción de infraestructuras costeras o zonas residenciales o turísticas que afectasen a estas zonas, podrían poner en riesgo grave la permanencia a medio o largo plazo del endemismo. Así, se recomienda que se establezca un seguimiento continuo, con al menos periodicidad anual, que evalúe el estado de conservación de los diferentes núcleos de *L. emarginatum*. Además, será especialmente importante contemplar en el Estudio de Impacto Ambiental, y en todo el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, los impactos ambientales que pudieran conllevar los proyectos mencionados anteriormente y desarrollados en las zonas de distribución de la saladina. En este sentido, *L. emarginatum* puede ser utilizado como un bioinformador del estado de conservación de los acantilados ceutíes. De manera que una regresión de sus poblaciones nos informará de que las condiciones ambientales típicas de los acantilados se han visto alteradas.

Limonium Emarginatum en Ceuta



Limonium emarginatum en Punta Benzú



DIVERSIDAD GENÉTICA DE *L. EMARGINATUM* EN CEUTA

El análisis genético a través de los marcadores de ADN (ISSRs), técnica de microsatélites, nos permitió determinar la variabilidad genética de las diferentes zonas geográficas de Ceuta y su relación con los demás núcleos del estrecho de Gibraltar. A partir de la información obtenida se ha intentado explicar cuál ha podido ser la ruta seguida en la colonización de los diferentes hábitats de *Limonium emarginatum*.

Introducción

Los microsatélites son secuencias cortas de ADN constituidas por motivos de 1 a 6 nucleótidos que se repiten consecutivamente 10 o más veces. Estas secuencias simples de ADN son muy variables y pueden ser estudiadas con una metodología rápida y relativamente simple. Los microsatélites también son conocidos como SSRs (“Simple Sequence Repeats”).

Los microsatélites reúnen una serie de características que los hacen idóneos para ser utilizados para la identificación varietal porque son altamente polimórficos, muy abundantes y están distribuidos por todo el genoma, son de herencia codominante (se distinguen todos los homocigotos entre sí y estos de los heterocigotos), muy reproducibles, se necesita poco ADN para detectarlos y su automatización es fácil.

Se constituye como una de las técnicas más adecuadas para realizar un estudio de diversidad genética de poblaciones, y en nuestro caso de *Limonium emarginatum*. A través de este estudio podemos determinar la variabilidad genética de

las poblaciones y las relaciones que existen entre ellas. Esto nos puede permitir establecer una posible guía de cuál ha sido el itinerario de colonización de los hábitats del Estrecho.

Material y métodos

¿Cómo se realiza un test de identificación varietal?

En primer lugar se extrae el ADN de una muestra de la variedad a estudiar. El ADN se obtuvo de tejido de hoja y cada extracción permite estudiar muchos microsatélites. Cada uno de ellos da un patrón de bandas (o picos si se usa un secuenciador automático), normalmente una o dos por microsatélite. La suma de la información producida por varios microsatélites distintos (entre 15 y 25 es un número suficiente) produce un patrón de bandas conjunto que es específico de esta variedad. Este patrón de bandas es como una huella dactilar, perfil molecular o genotipo de la variedad y puede ser usado para distinguirla de las demás.

Si tenemos el perfil molecular de una muestra desconocida y queremos saber si corresponde al de una variedad determinada tendremos que compararlos. Si los dos perfiles difieren entre sí, las variedades son distintas. Si los dos perfiles son iguales, las variedades son idénticas o, caso poco probable, tienen el mismo patrón de bandas siendo distintas. Para resolver este último dilema se puede calcular la probabilidad de encontrar un perfil idéntico al de la variedad conocida con los microsatélites que hemos usado para caracterizarla (coeficiente "I"). El valor medio de este coeficiente (Aranzana y cols., 2001) fue de 5×10^{-16} , lo que significa que la probabilidad media de que se pueda encontrar por azar un patrón de bandas idéntico al obtenido siendo la variedad distinta es de 5 en 10.000 billones, es decir, una probabilidad tan baja como para descartar esta hipótesis con gran seguridad.

Material vegetal

El material vegetal empleado en el presente trabajo ha consistido en 29 poblaciones de *Limonium*, de las que 27 fueron clasificadas como *L. emarginatum*, 1 como *L. virgatum* y 1 como un posible híbrido entre ambas especies (tabla 1). De cada una de las poblaciones se han analizado 3 plantas.

Limonium Emarginatum en Ceuta

Nº	Código	
1	TS	Tarifa
2	TY	Tarifa
3	CS	Cala Secreta
4	PCH	Punta Chorlito
5	PCHO	Punta Camarinal
6	PCAMSE	Punta Camarinal
7	PCAME	Punta Camarinal
8	PCAMSP	Punta Camarinal
9	PCAM+	Punta Camarinal
10	V	¿Híbrido?
11	LVIR	<i>L. virgatum</i>
12	EP	Gibraltar
13	CB	Gibraltar
14	EG	Gibraltar
15	PEEN	Gibraltar
16	CEME	Ceuta
17	JXIII	Ceuta
18	MH	Ceuta
19	ITE2	Ceuta
20	BE	Ceuta
21	CARRO	Ceuta
22	GUA	Guadalmesí
23	TOR	Tarifa
24	TOA	Tarifa
25	TEA	Tarifa
26	TER	Tarifa
27	PC	Punta Carnero
28	PP	Punta Paloma
29	LL	Los Lances

Tabla 3.1. Poblaciones de *Limonium emarginatum* analizadas.

Métodos para el análisis de los marcadores de ADN (ISSRs)

El ADN se extrajo a partir de hojas desecadas en silicagel mediante el DNeasy Plant Mini Kit (Quiagen), siguiendo el protocolo proporcionado por la empresa. Posteriormente se realizaron las reacciones de PCR con un volumen final 25 μ l, añadiendo las siguientes cantidades de reactivos por cada muestra:

- Tampón con MgCl ₂ (10X)	2,5 μ l
- BSA (10 μ g/ μ l)	2,0 μ l
- dNTP (2,0 mM de cada uno)	2,0 μ l
- Cebador (5 pmoles/ μ l)	2,5 μ l
- <i>Taq</i> DNA polimerasa (5 U/ μ l)	0,2 μ l
- ADN (10 ng/ μ l)	2,0 μ l
- H ₂ O	13,8 μ l

Se utilizaron 11 cebadores (University of British Columbia, primer set #9), elegidos por originar bandas repetibles (tabla 2).

Nº del cebador	Secuencia (5'→ 3')
815	CTC TCT CTC TCT CTC TG
821	GTG TGT GTG TGT GTG TT
822	TCT CTC TCT CTC TCT CA
826	ACA CAC ACA CAC ACA CC
828	TGT GTG TGT GTG TGT GA
834	AGA GAG AGA GAG AGA GYT
835	AGA GAG AGA GAG AGA GYC
846	CAC ACA CAC ACA CAC ART
864	ATG ATG ATG ATG ATG ATG
878	GGA TGG ATG GAT GGA T
886	VDV CTC TCT CTC TCT CT

Tabla 3.2. Cebadores utilizados para la obtención de marcadores ISSRs.

Las condiciones de amplificación fueron 7 minutos a 94 °C, 45 ciclos de 30 segundos a 94 °C, 45 segundos a 52 °C, 2 minutos a 72 °C, un ciclo final de 7 minutos a 72 °C y enfriamiento a 4 °C por un tiempo indefinido.

Una vez finalizada la PCR se recogieron 15 µl de la reacción y se agregaron 5 µl de tampón de carga (10% glicerol, 0,25 % azul de bromofenol y 0,25% xilenol). Esta mezcla se analizó en un gel de agarosa de 20 cm de largo al 2% en 1X TAE. Transcurrida la electroforesis a 100 voltios durante 5 horas a temperatura ambiente, el gel se introdujo en una solución de bromuro de etidio (0,5 µg/ml) y los fragmentos de ADN se visualizaron con un transiluminador a luz UV 300 nm. Como referencia para la estimación de los tamaños de los productos amplificados se utilizó el marcador de peso molecular 1 Kb Plus DNA Ladder de GibcoBRL®.

Para cada cebador utilizado se obtuvo un conjunto de bandas y para cada individuo se registró la presencia (1) o ausencia (0) de las mismas.

En todos los casos, cada banda se ha analizado como un marcador diferente que presentara dos alelos, uno dominante responsable de la presencia de banda y otro recesivo que determinaría la ausencia de la misma.

Las medidas de variabilidad utilizadas han sido las siguientes:

- 1.-Número medio de alelos por locus (A) de cada población.
- 2.-Índice de polimorfismo (P_j) de Brown et al. (1980).

Cuantifica el polimorfismo de cada locus en cada una de las poblaciones. Se ha estimado mediante el parámetro P_j :

$$P_j = \sum_{i=1}^n P_i(1 - P_i) = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2$$

donde P_i es la frecuencia del fenotipo i-ésimo en el locus j-ésimo y n es el número de fenotipos observados para dicho locus en cada población.

- 3.-Para estudiar la contribución interpoblacional e intrapoblacional a la variabilidad total observada se han calculado una serie de parámetros.

Uno de ellos es el parámetro D_{ST} que mide la diferenciación que existe entre poblaciones (Nei 1973). Se define como

$$D_{ST} = P_T - \overline{P_S}$$

P_T se calcula como P_s pero utilizando a todos los individuos de una especie como pertenecientes a una misma población, y P_s es la media aritmética de los P_s de los distintos loci en las poblaciones analizadas de la especie en cuestión.

Otro índice utilizado ha sido el coeficiente de diferenciación G_{ST} definido por Nei (1973). Es una magnitud relativa de la diferencia entre poblaciones con respecto al total de la variación observada. Se define como

$$G_{ST} = D_{ST}/P_T$$

4.-Para determinar la semejanza existente entre las distintas poblaciones se ha utilizado el índice de similitud de Hedrick.

El índice de similitud de Hedrick atiende a las frecuencias de los genotipos o fenotipos de las poblaciones y fue escogido porque nos proporciona una idea de la diferenciación genotípica que existe en ellas. Este índice

$$I_H = \frac{\sum_{j=1}^n P_{jY} P_{jX}}{1/2 \left(\sum_{j=1}^n P_{jX}^2 + \sum_{j=1}^n P_{jY}^2 \right)} \quad (\text{Hedrick, 1971})$$

con respecto a un locus entre dos poblaciones X e Y se calcula como

donde P_{jX} y P_{jY} son las frecuencias del genotipo o fenotipo j-ésimo en las poblaciones X e Y respectivamente y n es el número de genotipos o fenotipos para dicho locus. Con el valor obtenido para cada locus se realizó una media aritmética para estimar la similitud entre las poblaciones.

A partir de estas similitudes se ha realizado un análisis de agrupamiento UPGMA (Sneath y Sokal, 1973) para obtener un dendrograma que representara de un modo gráfico dichos valores.

Resultados

Se han analizado un total de 219 bandas (loci) para el conjunto de los cebadores utilizados. El número de fragmentos amplificados para cada uno varió entre 8 y 31 (fig. 3.1).

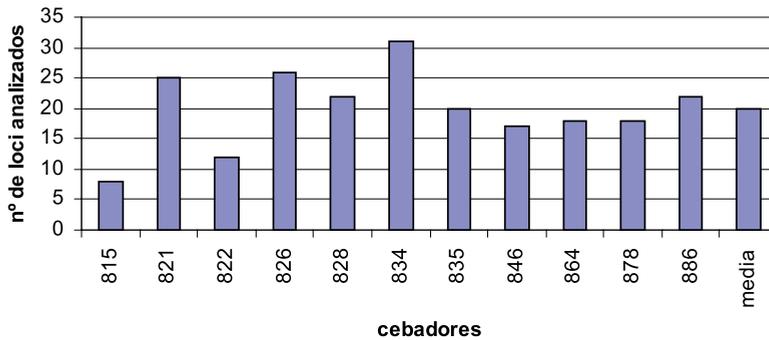


Figura 3.1. Número de loci analizados por cebadores. Loci estudiados: 219. Cebadores utilizados: 31.

El grado de polimorfismo de los distintos loci dentro de las poblaciones, medido como P_j , se representa en la figura 3.2.

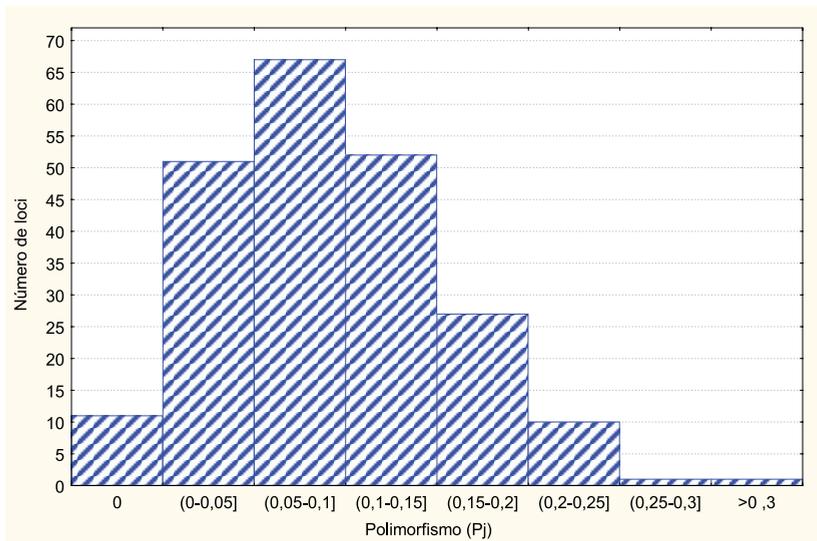


Figura 3.2. Grado de polimorfismo de los distintos loci dentro de las poblaciones.

El grado de polimorfismo de los distintos loci en el conjunto total de las poblaciones, medido como P_j , se representa en la figura 3.3.

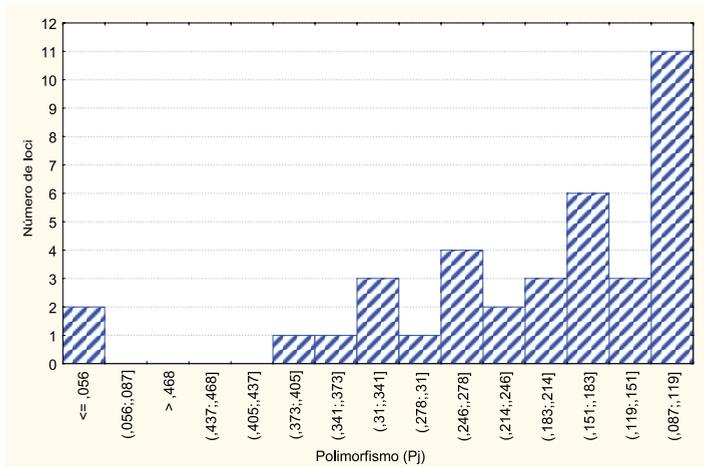


Figura 3.3. Grado de polimorfismo de los distintos loci en el conjunto total de las poblaciones.

Los valores de distribución de la variabilidad dentro y entre poblaciones han sido

$$P_T = 0,316$$

$$P_S = 0,093$$

$$D_{ST} = 0,223$$

$$G_{ST} = 0,706$$

El valor indica que gran parte de la variación detectada (el 70%) se debe a diferencias genéticas entre las poblaciones, si bien este valor resulta elevado por la inclusión en el análisis de una muestra de una especie diferente.

Las relaciones genéticas entre las muestras se representa en el dendrograma obtenido a partir de los índices de similitud de Hedrick (fig. 3.4).

Del total de núcleos estudiados (29), la gran mayoría se encontró encuadrados en una roseta (24), representándose de modo diferenciado 5 núcleos. Dos de ellos (010, 011) se correspondieron con otra especie (*Limonium virgatum*) en Punta Camarinal, otros dos con *Limonium emarginatum* en Punta Paloma (028) y

Limonium Emarginatum en Ceuta

Los Lances (029) y, por último, un núcleo correspondiente a un patrón diferente localizado en Punta Camarinal (008).

Los núcleos de Ceuta se agruparon entre sí del siguiente modo: Playa San Amaro (016) y Juan XXIII (017) se relacionan entre sí y con el grupo formado por Desnarigado (018) y Punta Bermeja (019). Por otro lado se asociaron Benzú (020) y Punta Blanca (021). Estos dos últimos núcleos tuvieron una mayor relación con los situados en la Isla de las Palomas (Tarifa) y Guadalmesí (022, 023, 024). Los cuatro núcleos mencionados anteriormente tuvieron mayor relación con los núcleos situados en el peñón de Gibraltar (013, 014, 015) (fig. 3.5).

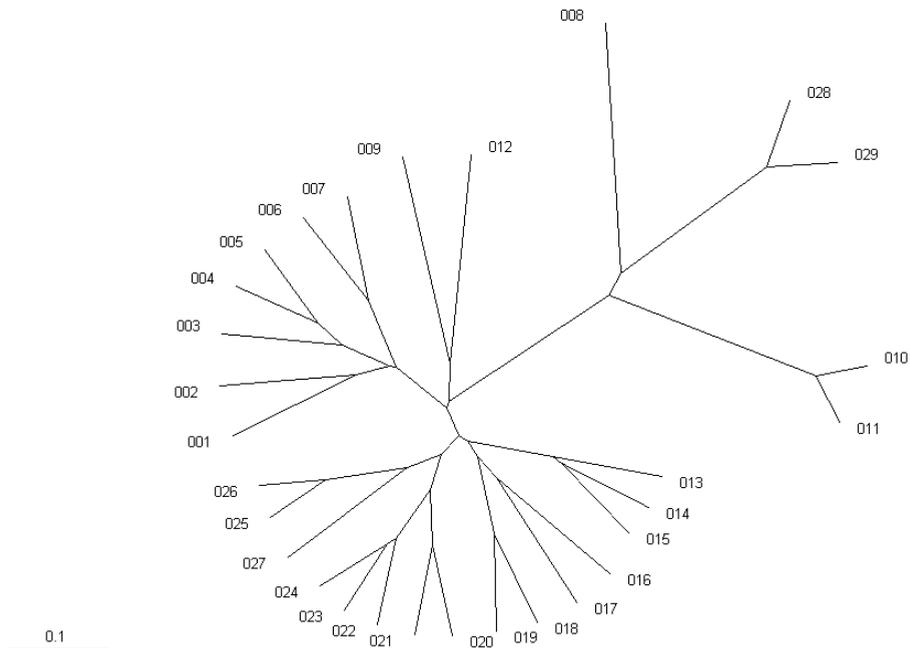


Figura 3.4. Dispersión de las muestras estudiadas. Índice de Similitud de Hedrick. 01: Tarifa sur, 02: Tarifa noroeste, 03: Cala secreta, 04: Punta Chorlito este, 05: Punta Chorlito oeste, 06: Punta Camarinal sureste, 07: Punta Camarinal este, 08: Punta Camarinal surestedif, 09: Punta Camarinal oeste, 10: Punta Camarinal vir, 11: Punta Camarinal lv, 12: Punta Europa, 13: Catalan Bay, 14: Peñón este, 15: Peñón sureste, 16: Playa San Amaro, 17: Juan XXIII, 18: Desnarigado, 19: Punta Bermeja, 20: Benzú, 21: Punta Blanca, 22: Guadalmesí, 23: Tarifa oeste roca, 24: Tarifa oeste arena, 25: Tarifa este arena, 26: Tarifa este roca, 27: Punta Carnero, 28: Punta Paloma, 29: Los Lances. Número de locus estudiados: 219. N° de muestras estudiadas: 29.

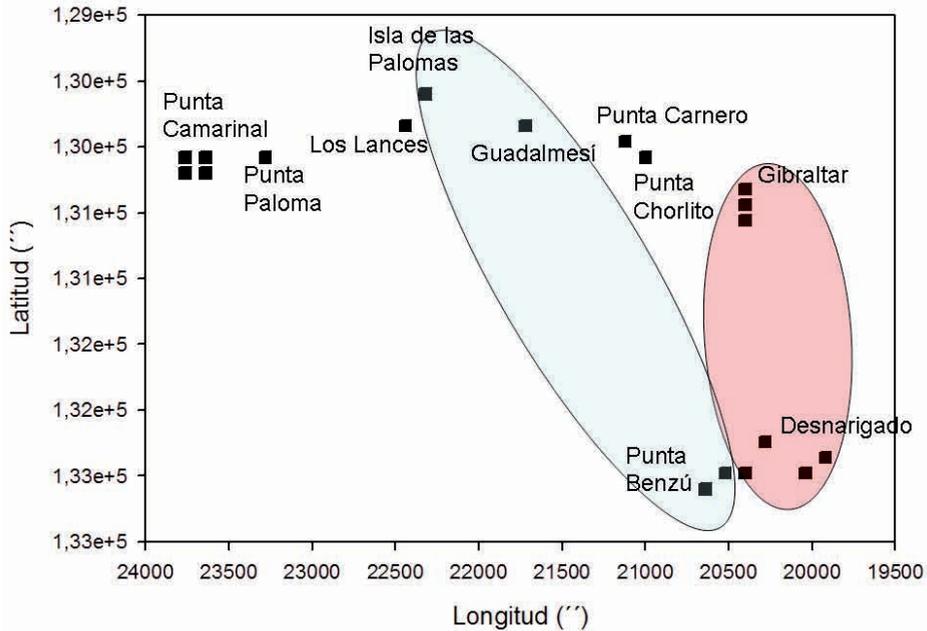


Figura 3.5. Relación genética entre los núcleos poblacionales de la costa peninsular y ceutí. Número de locus estudiados: 219. Núcleos estudiados: 29.

Por tanto, se encontró a nivel genético dos unidades diferenciadas, distribuidas al oeste y al este de Ceuta. Los núcleos de Punta Benzú y Punta Blanca manifestaron más afinidad genética con los núcleos situados al oeste de la Isla de las Palomas (Tarifa) y Guadalmesí. Los núcleos de Punta Bermeja, Playa San San Amaro, Desnarigado y Juan XXIII manifestaron más afinidad genética con los núcleos situados en el peñón de Gibraltar (fig. 3.6).

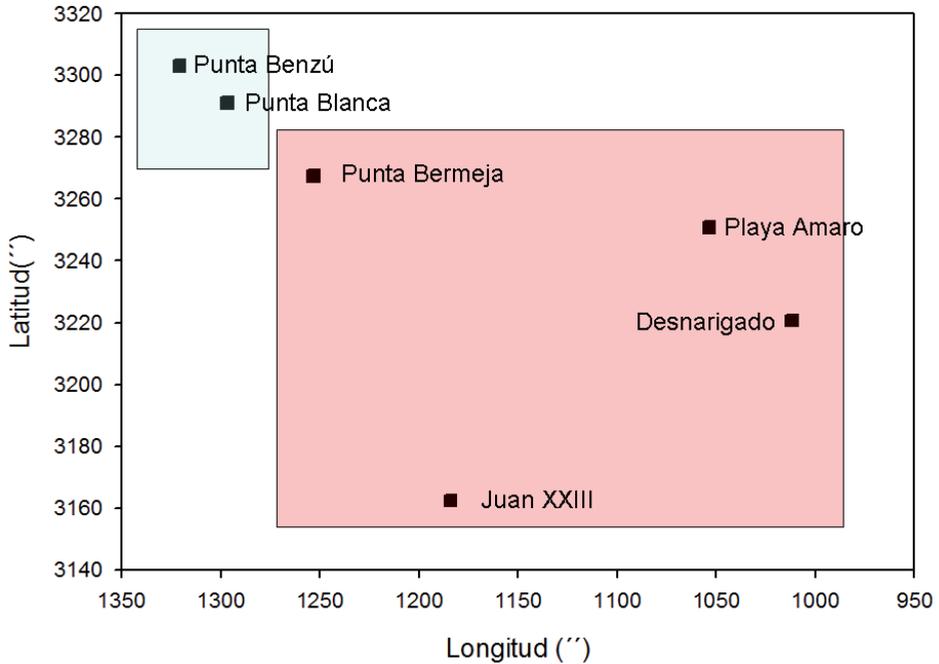


Figura 3.6. Semejanza genética de los núcleos poblacionales de *L. emarginatum* en el litoral ceutí. Número de locus estudiados: 219. Núcleos estudiados: 6.

Discusión

El estudio genético de los núcleos de Ceuta manifiesta que existen dos zonas diferenciadas en cuanto a diversidad genética. Estas zonas se entienden dentro del contexto del estrecho de Gibraltar donde se extiende *Limonium emarginatum*. La relación existente con los núcleos al otro lado del Estrecho nos determina una colonización que ha sabido saltar la barrera natural que constituye el mar que separa ambos continentes. La posible discusión de dónde se originó este endemismo no tiene fácil solución. Si atendemos a la variabilidad encontrada en cada una de las zonas estudiadas en el Estrecho, la Isla de las Palomas (Tarifa) presentó tres patrones diferentes y por tanto el núcleo que estableció mayor relación.

Las relaciones observadas fueron las siguientes:

- Isla de las Palomas con Punta Carnero, Punta Chorlito, Guadalmesí, Punta Camarinal y Ceuta.

- Ceuta con la Isla de las Palomas y el peñón de Gibraltar.
- Punta Camarinal con Punta Chorlito.
- Punta Paloma con Los Lances.

Las vías de migración posibles pueden ser varias: a través del viento, a través del mar o a través de las aves en migración. Los fuertes vientos del Estrecho pueden tener un papel importante en la dispersión de las semillas. Este factor podría explicar las relaciones que encontramos en algunos núcleos. La zona este del litoral ceutí podría haberse desarrollado a partir de un núcleo inicial y extendida por la acción de los vientos. Las relaciones de la Isla de las Palomas con otros núcleos de la costa europea podría deberse también a este factor. Con respecto al salto del estrecho de Gibraltar, sin menoscabo de otras posibilidades se presenta como viable la dispersión debida a la migración de aves. El estrecho de Gibraltar es uno de los tres pasos de aves de Europa hacia África por donde cientos de miles de aves realizan su travesía dos veces al año. Las diferentes rosa de los vientos a ambos lados del Estrecho nos puede llevar a considerar como menos probable a



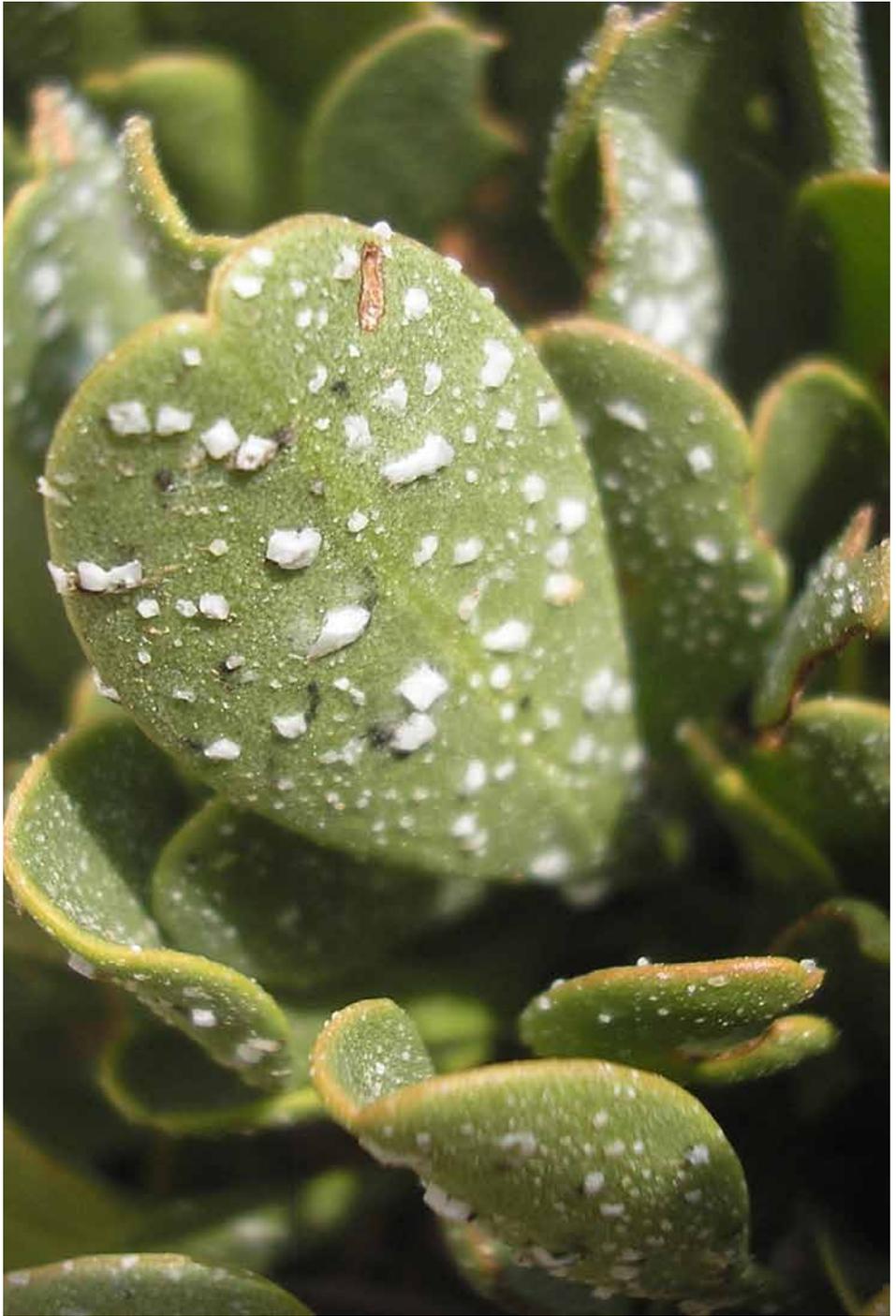
Limonium emarginatum en Punta Cabeza

Limonium Emarginatum en Ceuta

este factor. Una tercera posibilidad sería la debida a las corrientes marinas. Es la más improbable de todas, pero dada la capacidad de dormancia de las semillas en ambientes salinos y la posterior capacidad de germinación con unas condiciones más favorables, este factor debiera tenerse en cuenta.



Limonium emarginatum en Punta Blanca



4

DINÁMICA POBLACIONAL DE *LIMONIUM EMARGINATUM* EN CEUTA

Conocer la dinámica poblacional de especies amenazadas como *L. emarginatum* es clave para poder desarrollar estrategias de conservación adecuadas. Este capítulo investiga la dinámica poblacional en 5 localidades colonizadas por *L. emarginatum* a lo largo de la costa ceutí durante nueve meses con el objeto de identificar cuáles son las fases de desarrollo más frágiles y los factores ambientales que condicionan su desarrollo. Las mayores tasas de natalidad y las menores tasas de mortalidad y la menor fuerza de mortalidad se registró en las localidades con orientación oeste y en las situadas más al oeste de Ceuta en las proximidades de Punta Benzú. Además, las mayores tasas de mortalidad se registraron durante el verano, lo que indicaría al estrés hídrico como el factor abiótico principal que condiciona la supervivencia de las plántulas de *L. emarginatum* durante su primer año de desarrollo. Así, el período más sensible en el desarrollo de la saladina parece ser el primer verano, cuando se registraron tasas de mortalidad muy elevadas. Por otro lado, la mortalidad fue mayor en las zonas donde la densidad de plántulas fue mayor, de manera que antes de la llegada del primer verano se produciría un ajuste del número de individuos a través de un proceso de mortalidad densodependiente. Las mayores tasas de supervivencia y de crecimiento coincidieron, además, con las zonas con más influencia de los vientos de poniente (que mostraban unas condiciones climáticas más benignas con temperaturas menores y más humedad relativa del aire), lo que parece indicar que el estrés hídrico podría disminuir debido al aporte de agua por parte del aerosol salino. *Limonium emarginatum* cuenta con glándulas en sus hojas que expulsan activamente sales, por lo que podría obtener agua del aerosol marino.

Introducción

El conocimiento de la dinámica poblacional de una especie endémica con distribución muy restringida como *Limonium emarginatum* es clave de cara a su conservación. Aunque por las observaciones de campo la saladina puede llegar a vivir durante decenas de años, seguramente las mayores tasas de mortalidad se registren, como en otras especies vegetales, durante el estado de plántulas e individuos jóvenes. El conocimiento detallado de los factores ambientales que condicionan su supervivencia nos facilitará el desarrollo de estrategias de conservación. El factor ambiental abiótico que podría limitar principalmente su supervivencia sería la escasez de agua (estrés hídrico) durante el estío veraniego. Además, el conocer la época en que aparecen por germinación los individuos nuevos y cuando se producen las mayores tasas de mortalidad nos permitirá también desarrollar técnicas eficientes de creación de nuevas poblaciones desde semillas o individuos jóvenes.

Material y métodos



Figura 4.1. Localización de los núcleos estudiados en Ceuta. De Oeste a Este y de Norte a Sur: 1: Benzú ($35^{\circ} 55' 3.08''$ N – $005^{\circ} 22' 1.21''$ W), 2: Punta Blanca ($35^{\circ} 54' 51''$ N – $005^{\circ} 21' 36''$ W), 3: Punta Bermeja ($35^{\circ} 54' 27''$ N – $005^{\circ} 20' 53''$ W), 4: Playa Amaro ($35^{\circ} 54' 10''$ N – $005^{\circ} 17' 33''$ W), 5: Punta Almina ($35^{\circ} 54' 0.99''$ N – $005^{\circ} 16' 56.14''$ W), 6: Desnarigado ($35^{\circ} 53' 40''$ N – $005^{\circ} 16' 52''$ W), 7: Chorrillo (Juan XXIII) ($35^{\circ} 52' 42''$ N – $005^{\circ} 19' 44''$ W).

Limonium Emarginatum en Ceuta

Para estudiar la dinámica de población de *L. emarginatum* se eligieron cinco núcleos, de Oeste a Este (Benzú, Punta Blanca, Punta Bermeja, Playa San Amaro y Desnarigado), donde la densidad de individuos de la saladina era adecuada. Con el objetivo de analizar cómo afectaba la heterogeneidad ambiental a la dinámica de poblaciones, las parcelas se distribuyeron a lo largo de la costa. Se delimitaron en estos cinco núcleos un total de 14 parcelas de 10 x 10 cm, subdivididas a su vez en 64 parcelas de 1,25 x 1,25 cm, localizándose 4 en Benzú, 3 en Punta Blanca, 3 en Punta Bermeja, 2 en Playa San Amaro y 2 en Desnarigado (fig. 4.1). El número de parcelas fue reducido debido a la escasa germinación observada.

Se llevaron a cabo seis muestreos durante nueve meses, comenzando el 17 de febrero de 2007 y finalizando el 18 de octubre del mismo año. En cada muestreo se registró el número de individuos totales identificándose a cada planta de forma individual y registrándose los individuos nuevos procedentes de germinación desde el último muestreo y los individuos muertos, así como el número de hojas verdes de cada individuo.

Los datos se agruparon de modo general y por núcleos a la hora de analizar la dinámica poblacional, se hicieron tablas de vida y se estudiaron ocho parámetros demográficos (Begon, Harper y Townsend, 1998):

1. Tamaño neto de población (a_x) o plántulas vivas observadas en cada medición.
2. Natalidad (nat_x) o emergencia de nuevas plántulas.
3. Mortalidad ($mort_x$) o número de individuos que mueren en cada muestreo.
4. Tasa de mortalidad. $Q_x = - mort_{x+1}/a_x$.
5. Fuerza de mortalidad. $K_x = \log_{10}(a_x/(a_{x+1} - nat_{x+1}))$.
6. Supervivencia o proporción de la cohorte que sobrevive a cada fase. $L_x = (L_{x-1}/N_{x-1}) * N_x$.
7. Proporción de la cohorte que muere en cada fase. $dx = L_x - L_{x+1}$.
8. Proporción de la cohorte que vive en cada fase. $N_x = (N_{x-1}/a_{x-1}) * (a_x - nat_x)$.

Además, se analizaron las relaciones existentes entre los factores abióticos registrados (ver más adelante) con las diferentes variables de la dinámica de poblaciones y el número de hojas de las plántulas. Los datos meteorológicos se obtuvieron de la Estación Meteorológica de Ceuta, perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología. Entre el 24 de febrero y el 25 de marzo de 2007 se colocaron unos sensores termo-higrómetros en diferentes puntos del estudio (Desnarigado,

Punta Bermeja, Punta Blanca y Benzú) que medían la temperatura y la humedad relativa del aire cada 30´.

Para estudiar la distribución de los distintos parámetros poblacionales se realizó la prueba de normalidad (Test de Kolmogorov-Smirnov). Si cumplían la normalidad ($P > 0.05$) se contrastaron las diferencias entre medias mediante Anova de una vía. Se aplicó el Test de Tukey como test *post-hoc* para comparar las medidas dos a dos cuando la ANOVA fue significativa ($P < 0.05$). Si los datos obtenidos no cumplían el test de normalidad ($P < 0.05$), utilizamos una Anova no paramétrica de Kruskal-Wallis y posteriormente el Mann-Whitney U-Test para contrastar las diferencias entre grupos dos a dos. Para el estudio de correlaciones entre series de datos paramétricas se aplicó el coeficiente de Pearson (r) y el de Spearman para no paramétricas ($P < 0.05$).

Resultados

Climatología

Los vientos dominantes durante la investigación resultaron ser los de componente Oeste (poniente, 17,4%), Este (levante, 13,8%), Estesureste (levante, 9,9%), Oestenoroeste (poniente, 8,7%), Sursureste (8,1%), Oestesuroeste (poniente, 5,9%), Sureste (5,8%), Suroeste (5,8%) y Sur (5,2%), siendo por tanto el Oeste (poniente) la componente del viento mayoritario (fig. 4.2).

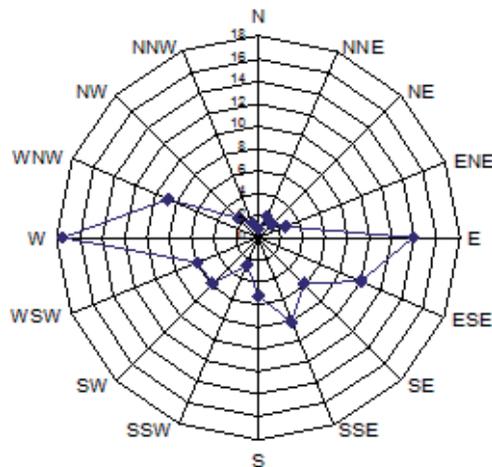


Figura 4.2. Rosa de los vientos de Ceuta. Frecuencia media (%). Datos aportados por la Estación Meteorológica del INM (VIÑA ACEVEDO). Altitud: 87 m. (35° 53' 19'' N - 05° 20' 45'' W) del INM. Meses de enero a octubre de 2007.

Limonium Emarginatum en Ceuta

Con respecto a las temperaturas, estuvieron estabilizadas durante los meses de febrero a abril, siendo los mínimos en enero y los máximos en julio de 2007. Las precipitaciones oscilaron, siendo los valores mínimos en junio y julio de 2007 (fig. 4.3).

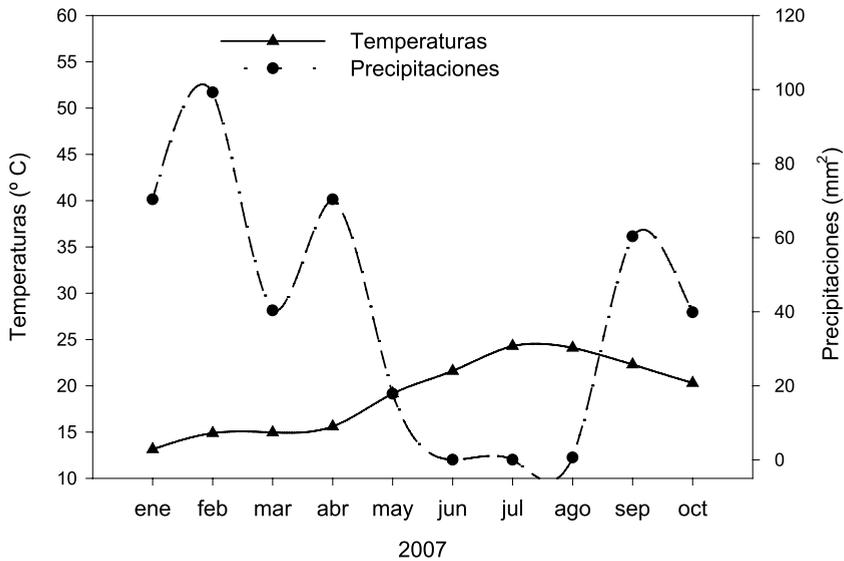


Figura 4.3. Climograma de Ceuta. Temperatura (°C) y precipitación (mm²). Datos aportados por la Estación Meteorológica de Ceuta (VIÑA ACEVEDO). Altitud: 87m. (35° 53' 19" N - 05° 20' 45" W) del INM. Meses de enero a octubre de 2007.

Dinámica de poblaciones

La natalidad acumulada a lo largo del estudio en las catorce parcelas estudiadas fue de 214 plántulas. La población inicial se muestreó el 17 de febrero de 2007, con densidades muy variables (entre 500 y 2800 individuos/m²). La población neta máxima se alcanzó en febrero, con 181 ejemplares, correspondiente a una densidad media de 1293 ± 173 plántulas/m². La población neta mínima se alcanzó en agosto, con 32 ejemplares, correspondiente a una densidad media de 229 ± 64 plántulas/m². Fue en este mes cuando se encontró la mayor tasa de mortalidad (Qx) (Anova: $P < 0,05$, $df = 69$, $F = 11,14$; Test Tukey: $P < 0,05$) (fig. 4.4).

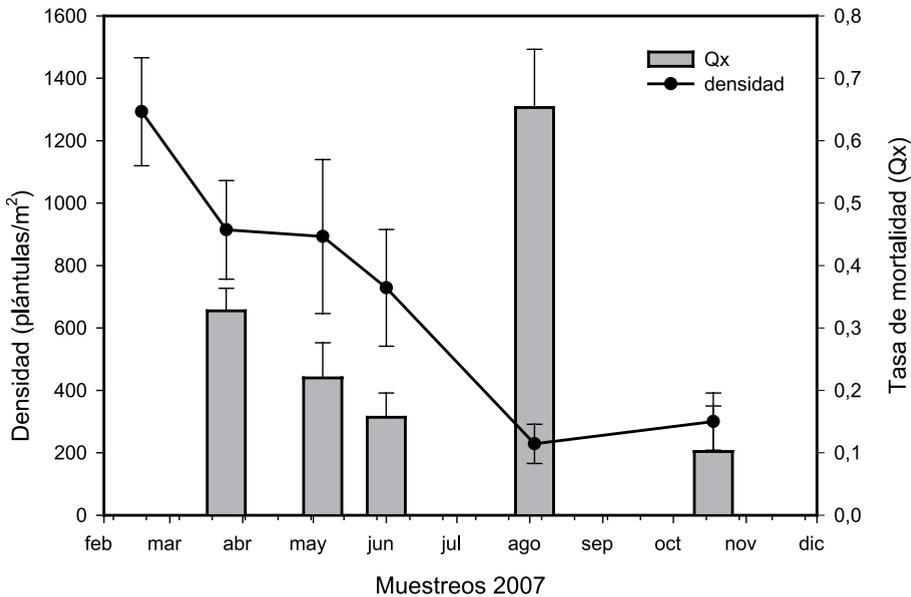


Figura 4.4. Variaciones temporales de la tasa de mortalidad (Qx; barras) y la densidad (plántulas/m²; línea) en *L. emarginatum* en el litoral ceutí desde febrero a octubre de 2007 (n = 30; media ± SEM).

La población neta inicial (febrero de 2007) más baja se localizó en Punta Benzú, con una densidad de 725 ± 75 plántulas/m². Sin embargo, en octubre de 2007, este núcleo alcanzó la densidad más alta (425 ± 85 plántulas/m²). Atendiendo a la densidad, la supervivencia fue de un 59% para Punta Benzú, un 0% para Desnarigado, un 40% para San Amaro, y un 7% para Punta Bermeja y Punta Blanca. En Punta Benzú y Playa San Amaro se observó un aumento de la densidad entre agosto y octubre de 2007 (Punta Benzú: 300/425 plántulas/m²; Playa San Amaro: 500/700 plántulas/m²), siendo los dos únicos núcleos donde hubo un incremento en esta fecha (Anova: df = 29, F = 2,75, P < 0,05; Test-Tukey: P < 0,05) (fig. 4.5).

La tasa de mortalidad (Qx) fue significativamente mayor en agosto de 2007 que en los demás meses en todos los núcleos (Test-Tukey: P < 0,05) excepto en Benzú. Desde agosto a octubre de 2007 no se apreció mortalidad en Benzú, Punta Blanca y Punta Bermeja, las poblaciones dispuestas más al Oeste (fig. 4.5).

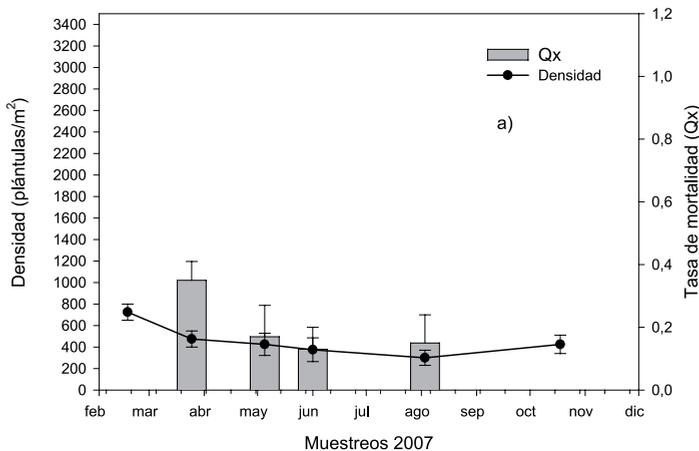
La aparición de plántulas fue mayoritaria en febrero de 2007, encontrándose también un incremento en mayo y octubre. En marzo se dio el mayor crecimiento de

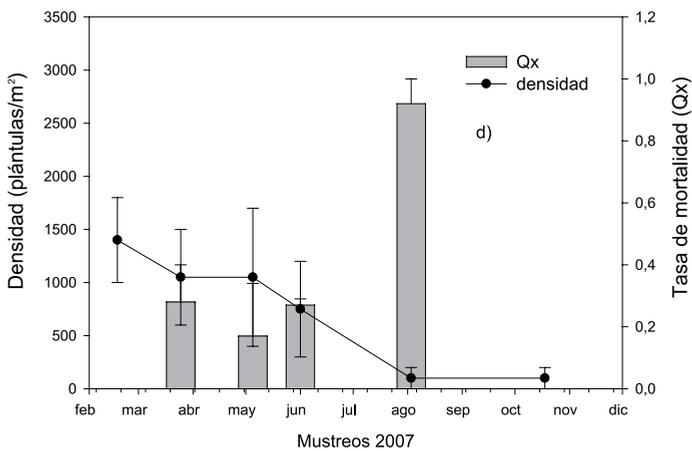
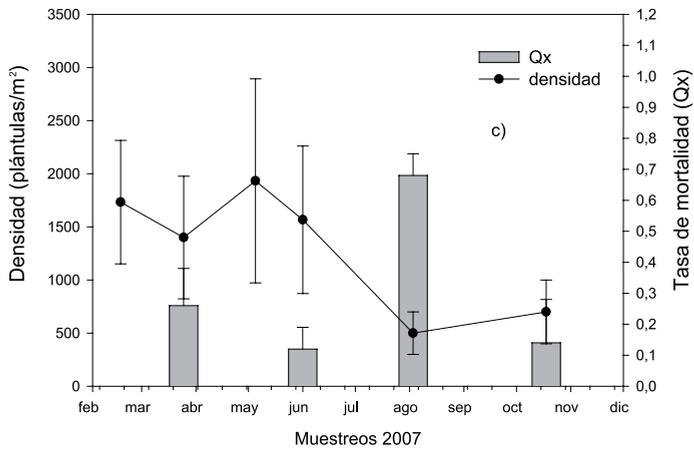
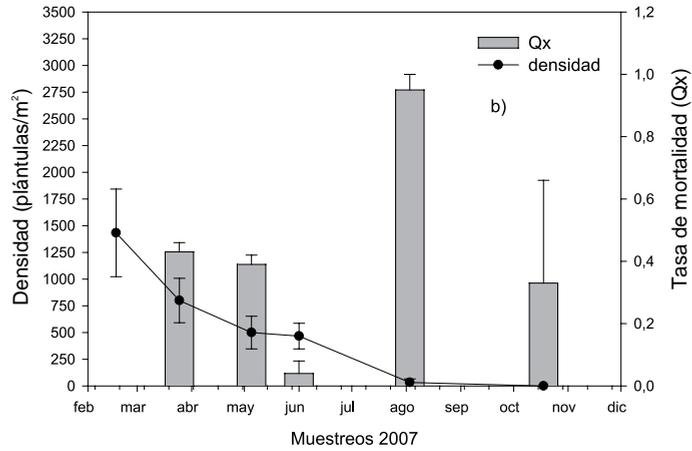
Limonium Emarginatum en Ceuta

las plántulas presentes (fig. 4.6). En agosto fue cuando la población neta disminuyó más bruscamente, aumentando significativamente la tasa de mortalidad que afectó a 70 plántulas. Durante marzo se registró el segundo aumento en importancia en la tasa de mortalidad que afectó a 53 plántulas.

El crecimiento de las plántulas fue disminuyendo durante el año, siendo a partir de octubre, con la caída de las primeras lluvias, cuando se generó un aumento del número de plántulas y de su crecimiento.

En todos los núcleos se alcanzó el máximo de aparición de nuevas plántulas en febrero de 2007 a inicios del estudio. En Playa San Amaro, en mayo de 2007, hubo un incremento de la natalidad, a diferencia en otros núcleos donde no se apreció aumento de plántulas. Por otro lado, tanto en Punta Benzú como en Playa San Amaro se apreció un incremento de la natalidad en octubre de 2007 (fig. 4.7). Con respecto al crecimiento, Punta Benzú presentó sus valores máximos en mayo y octubre, Desnarigado en marzo y junio, San Amaro y Bermeja en marzo de modo muy diferenciado, y Punta Blanca en marzo y junio. Se apreciaron diferencias significativas en el crecimiento según la época del año (Anova: $df = 29$, $F = 11,04$, $P < 0,01$, Test-Tukey: $P < 0,05$), siendo los meses de marzo y abril significativamente mayor el crecimiento estimado como número de individuos que producían hojas nuevas (46,7%) (fig. 4.6).





Limonium Emarginatum en Ceuta

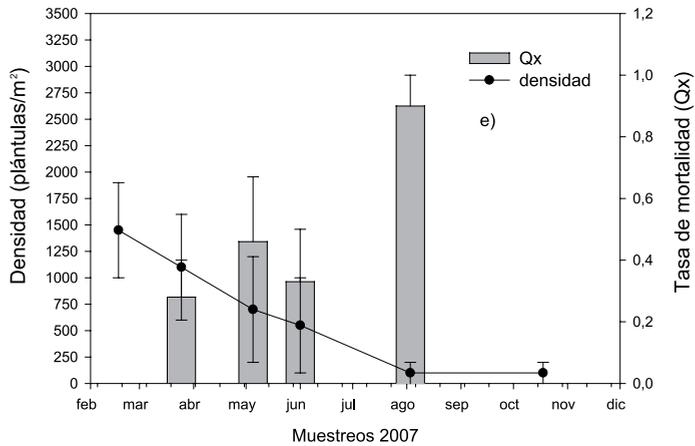


Figura 4.5. Variaciones temporales de la tasa de mortalidad y la densidad en 5 núcleos de *L. emarginatum* en el litoral ceutí (n = 30; media \pm SEM). A) Punta Benzú. B) Desnarigado. C) San Amaro. D) Bermeja. E) Punta Blanca.

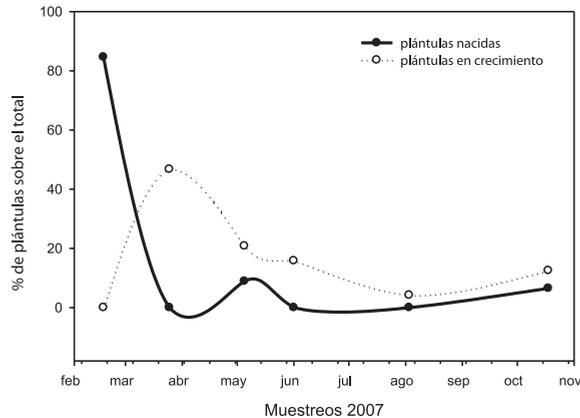
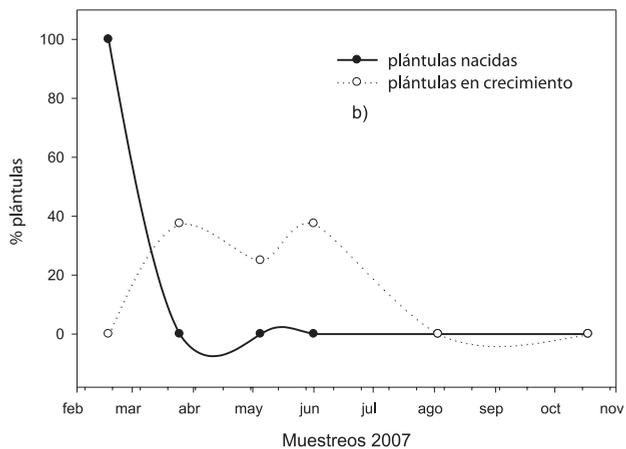
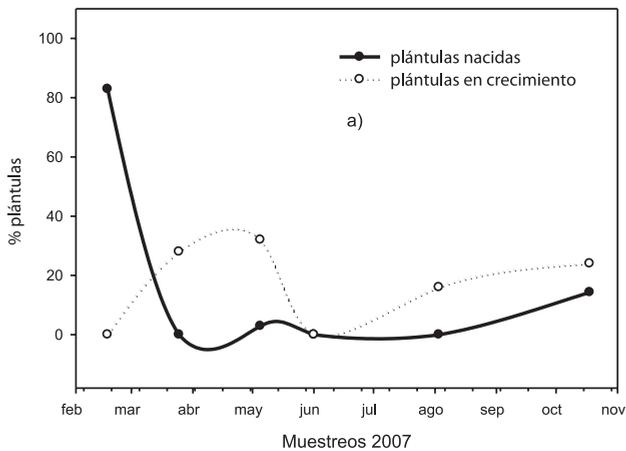


Figura 4.6. Natalidad y el crecimiento de las plántulas (como número de individuos que producen hojas nuevas) de *Limonium emarginatum* desde febrero a octubre de 2007 en Ceuta.

Desde febrero, la población neta total descendió hasta marzo, donde se mantuvo el número de efectivos hasta mayo. A partir de mayo la mortalidad aumentó, y en agosto de 2007 aumentó significativamente hasta el 72% del total de las plantas (72 plántulas muertas) (fig. 4.8).

En todos los núcleos, después del incremento inicial, la natalidad se mantuvo constante a excepción de en Playa San Amaro (fig. 4.9), donde se observaron incrementos a lo largo de las mediciones, siendo el único núcleo donde en mayo de 2007 aumentó la población neta. Fue el núcleo con mayor natalidad y, también, mayor mortalidad (fig. 4.9c).



Limonium Emarginatum en Ceuta

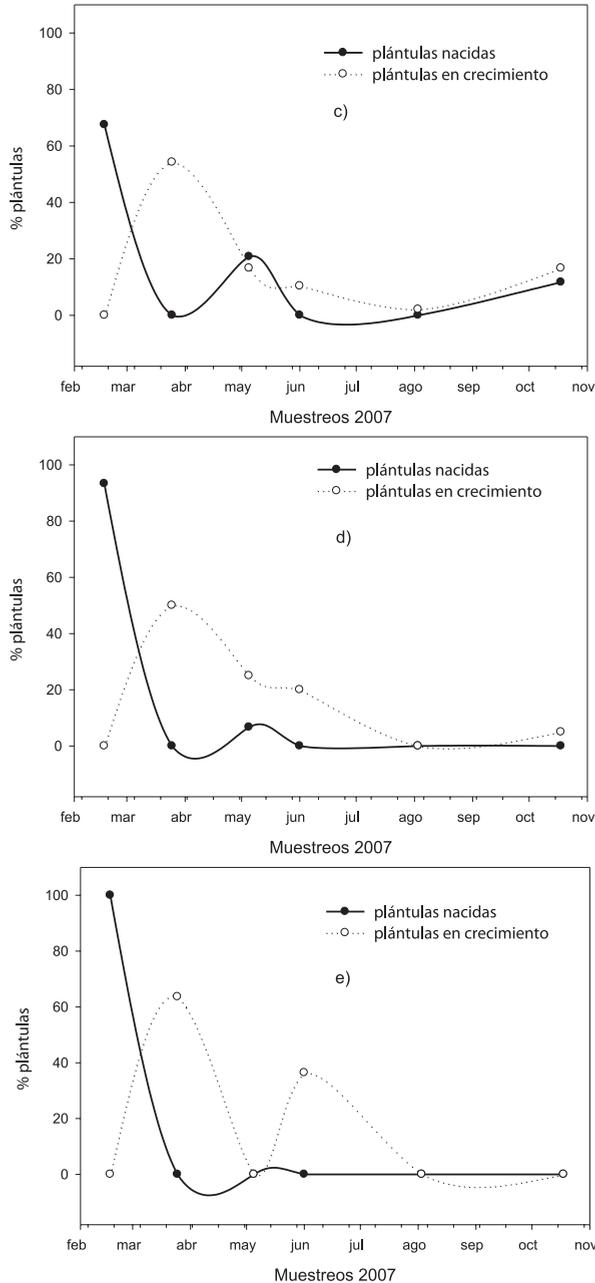


Figura 4.7. Cambios temporales de la natalidad y el crecimiento de las plántulas (como número de individuos que producen hojas nuevas) de *Limonium emarginatum* en Ceuta. A) Benzú. B) Desnarigado. C) San Amaro. D) Bermeja. E) Punta Blanca.

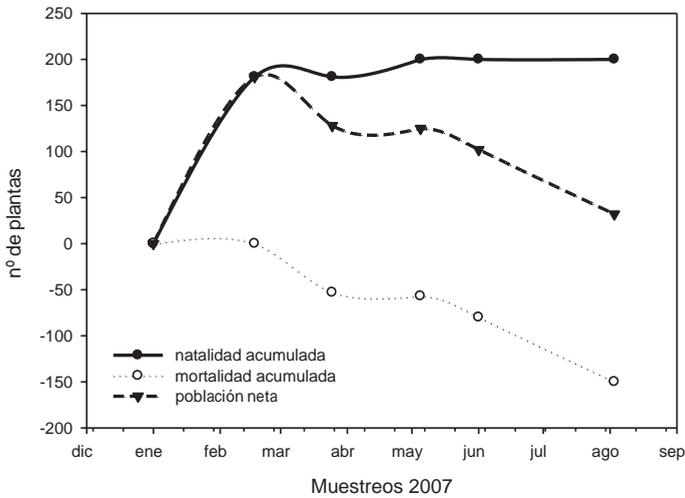
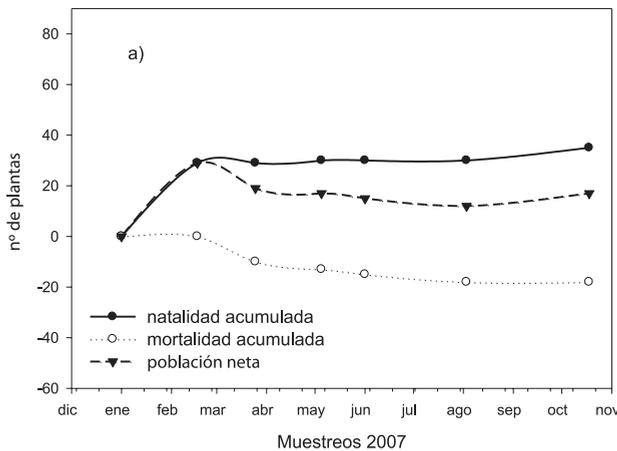
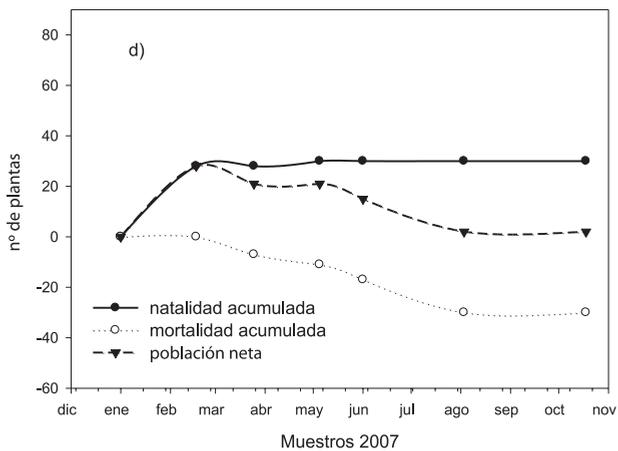
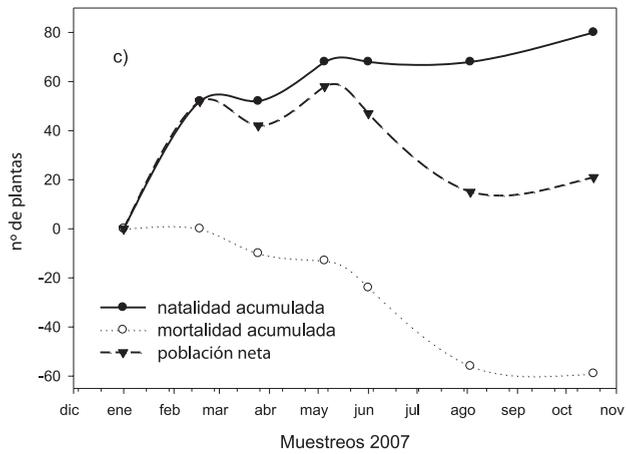
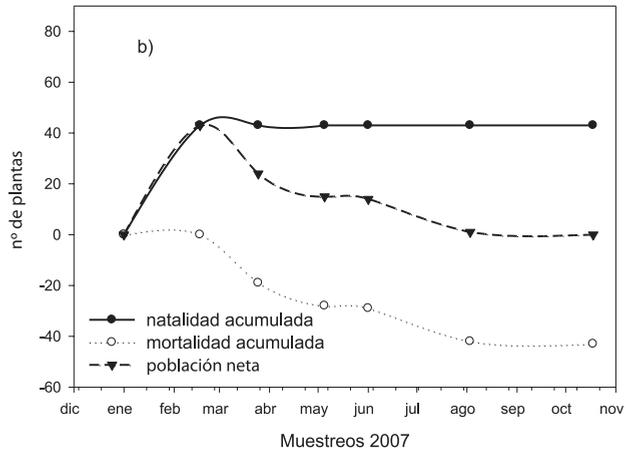


Figura 4.8. Variaciones temporales del tamaño neto de la población, mortalidad y natalidad de los individuos de *L. emarginatum* en el litoral ceutí.

Se detectaron dos máximos de mortalidad y de caída en el crecimiento, coincidiendo en agosto de 2007 uno de ellos. El otro máximo de mortalidad se detectó en marzo de 2007, siendo en mayo de 2007 el correspondiente al decrecimiento. Se encontraron diferencias significativas por fechas (Anova: $F = 11,43$, $P < 0,01$; Test-Tukey: $P < 0,05$), siendo el mes de agosto el que manifestó una mayor mortalidad. En la caída del crecimiento se apreciaron también diferencias significativas por fechas entre el mes de marzo y junio de 2007 (Kruskal-Wallis Anova: $H = 12,79$, $df = 5$, $P < 0,05$; Mann-Whitney U-Test: $P < 0,05$) (fig. 4.10).



Limonium Emarginatum en Ceuta



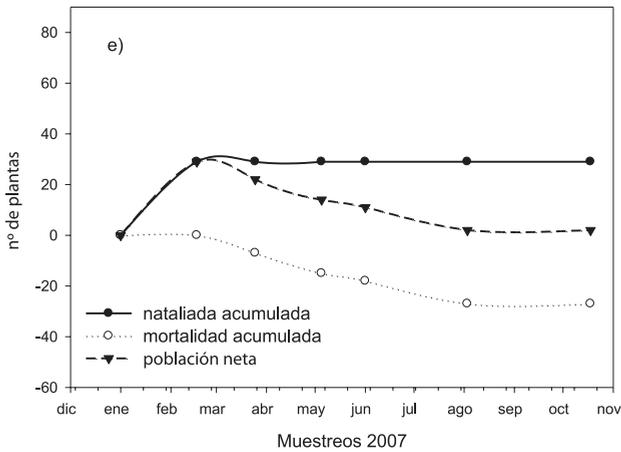


Figura 4.9. Variaciones temporales del tamaño neto de la población, mortalidad y natalidad de los individuos de *L. emarginatum* en 5 localidades del litoral ceutí. A) Benzú. B) Desnarigado. C) San Amaro. D) Bermeja. E) Punta Blanca.

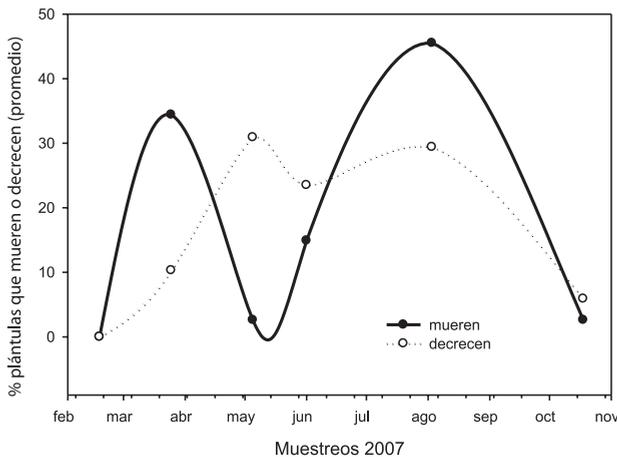
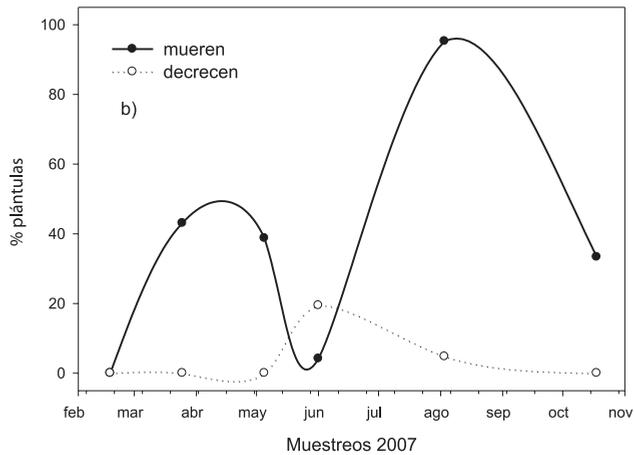
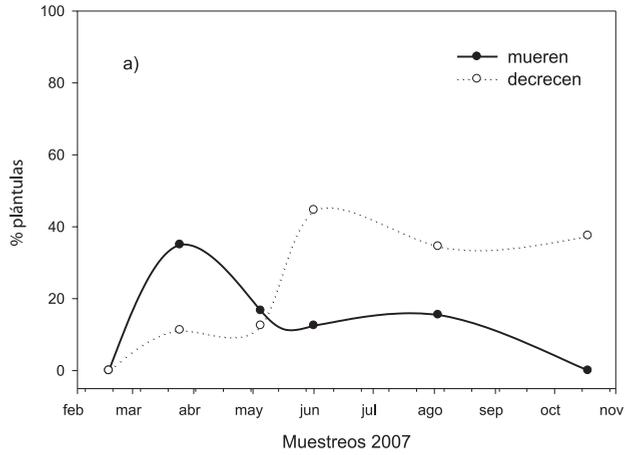


Figura 4.10. Variaciones temporales de la tasa de mortalidad y la disminución del crecimiento (como número de individuos que pierden hojas) de plántulas de *Limonium emarginatum* en el litoral ceutí.

Todos los núcleos mostraron dos máximos en la mortalidad en torno a marzo-mayo y agosto, a excepción de Punta Benzú, donde sólo hubo un máximo en marzo de 2007 (Fig. 4.11). En el decrecimiento (calculado como número de individuos

Limonium Emarginatum en Ceuta

que perdieron hojas), todos los núcleos manifestaron un máximo en junio de 2007 a excepción de Playa San Amaro, que lo tuvo en mayo de 2007. Los valores más altos de plántulas en decrecimiento lo manifestó Punta Benzú, que a su vez mostró los valores más bajos de mortalidad (fig. 4.11).



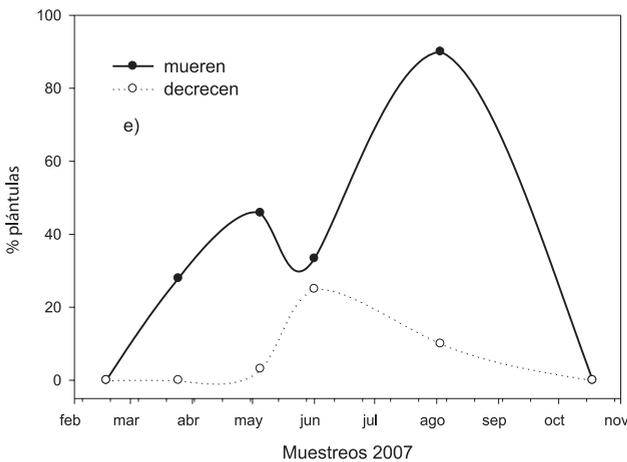
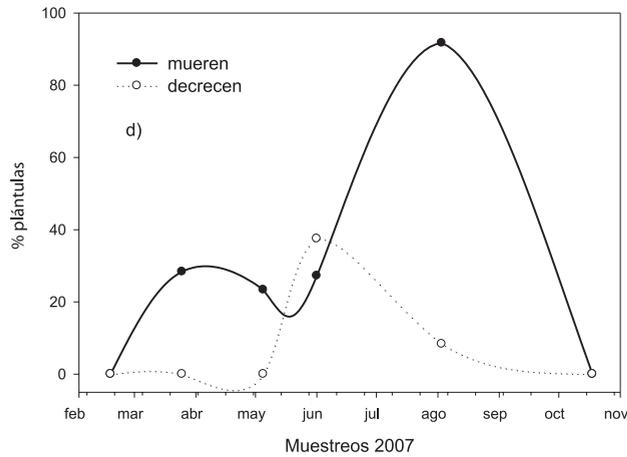
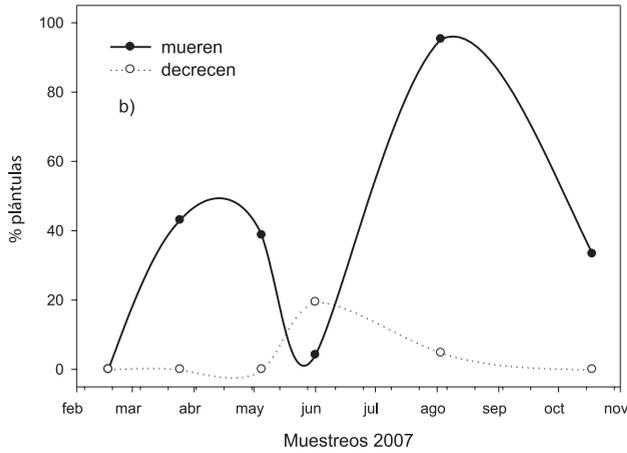


Figura 4.11. Variaciones temporales de la tasa de mortalidad y la disminución del crecimiento (como número de individuos que pierden hojas) de plántulas de *Limonium emarginatum* en 5 localidades del litoral ceutí.

A) Benzú. B) Desnarigado. C) San Amaro. D) Bermeja. E) Punta Blanca.

Limonium Emarginatum en Ceuta

La curva de supervivencia se correspondió a una curva de transición entre el tipo II-III. Se correspondería la curva propia de una especie r-estratega facultativa (fig. 4.12). La fuerza de mortalidad (Kx) aumentó fuertemente entre mayo y junio de 2007 (Mann-Whitney U-Test: $P < 0,05$), manteniéndose elevada hasta el final del estudio (fig. 4.12).

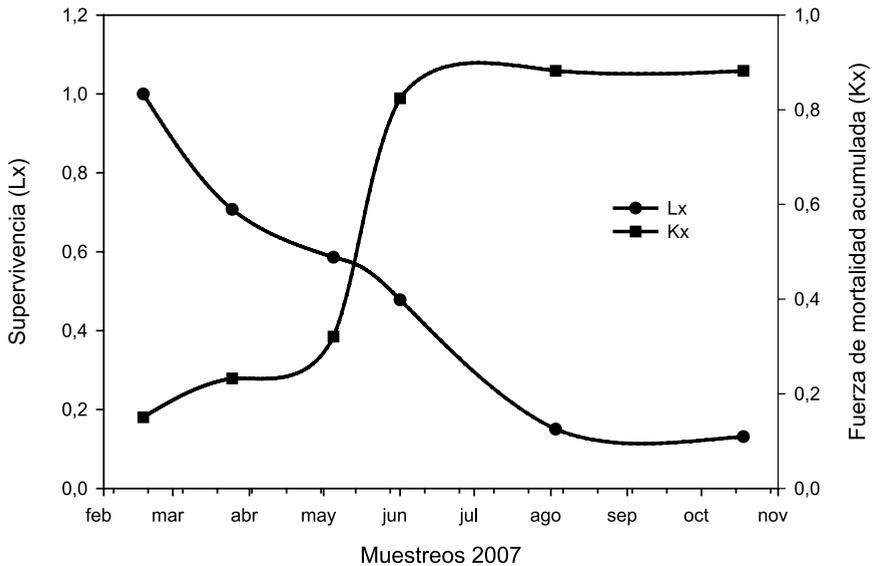
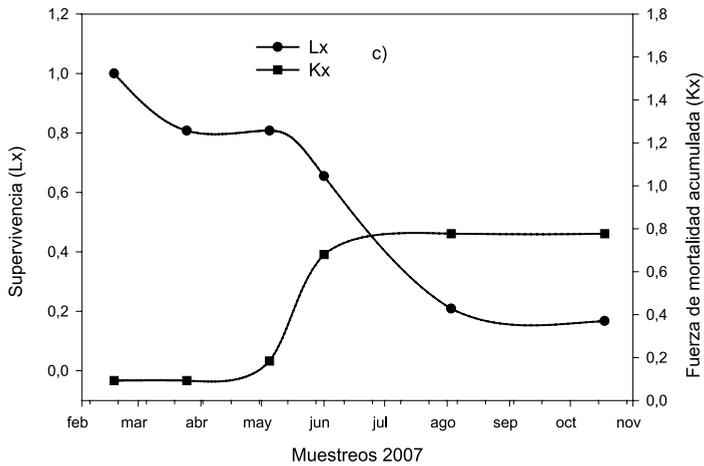
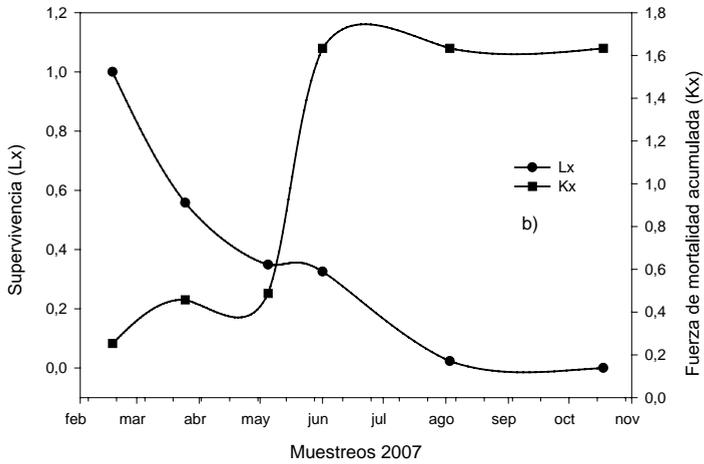
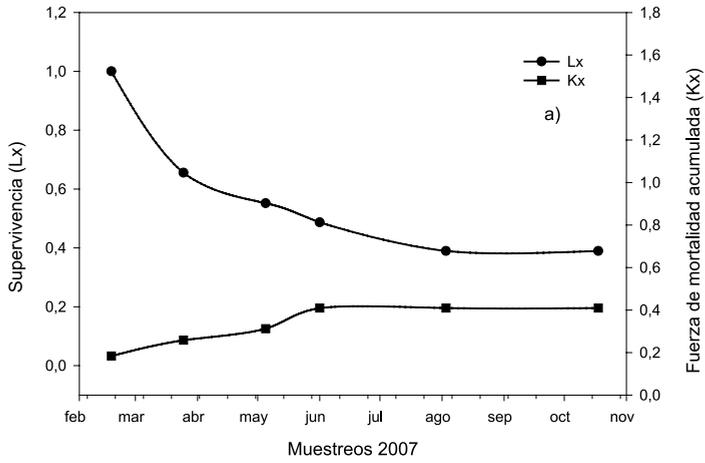


Figura 4.12. Curva de supervivencia de los individuos de *L. emarginatum* en Ceuta.

Para la supervivencia se encontraron diferencias significativas por fechas, agrupadas en tres intervalos, febrero, marzo-junio y agosto-octubre (Anova, $DF = 29$, $F = 32.12$, $P < 0.01$, Test-Tukey $P < 0.05$). La supervivencia en octubre de 2007 fue mayor en Benzú (Lx: 0.39) y Playa San Amaro (Lx: 0.17). En Punta Blanca (Lx: 0.07) y Punta Bermeja (Lx: 0.07) alcanzó valores bajos, y por último Desnarigado (Lx: 0.0), donde no resultó viable ninguna plántula.

La fuerza de mortalidad fue diferente entre núcleos, siendo la más alta en el Desnarigado (Kx: 1,63). Punta Blanca (Kx: 1,19) y Punta Bermeja (Kx: 1,16) presentaron las siguientes tasas de mortalidad, y por último Playa San Amaro (Kx: 0,78) y Punta Benzú (Kx: 0,41) (fig. 4.13).



Limonium Emarginatum en Ceuta

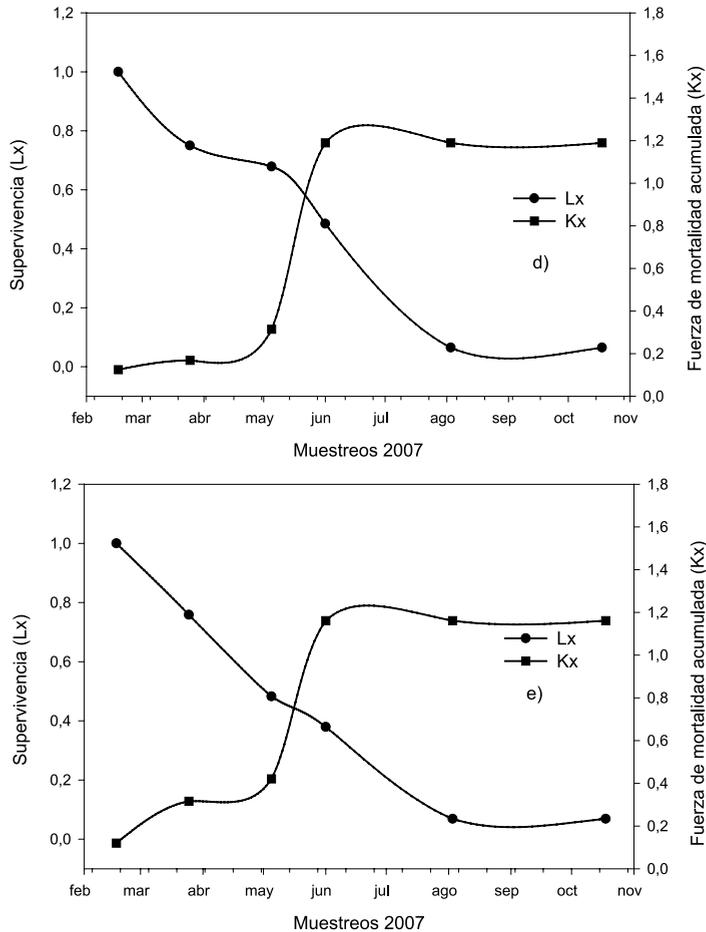


Figura 4.13. Curva de supervivencia y fuerza de mortalidad de *L. emarginatum* en 5 localidades de Ceuta. A) Benzú. B) Desnarigado. C) San Amaro. D) Bermeja. E) Punta Blanca.

Influencia de factores ambientales abióticos en la dinámica poblacional

La aparición y desarrollo de nuevas plántulas se registró en los meses con las temperaturas del aire más bajas. Según aumentó la temperatura media del aire disminuyó el número de plántulas presentes ($r^2 = 0,69$, $P < 0,05$) (fig. 4.14).

Desde el 24 de febrero al 25 de marzo, donde se instalaron sensores térmicos e higrométricos en los núcleos estudiados, se observó que en los núcleos dispues-

tos en orientación Este la humedad relativa aumentaba conforme disminuía la temperatura (Chorrillo: $r^2 = 0,18$, $P < 0,03$; Desnarigado: $r^2 = 0,39$, $P < 0,01$). Sin embargo, en Punta Bermeja, las dos variables crecían a la par, siendo la humedad relativa del aire mayor conforme aumentaba la temperatura ($r^2 = 0,22$, $P < 0,05$), lo que indicaba una tasa de evapotranspiración elevada (fig. 4.14).

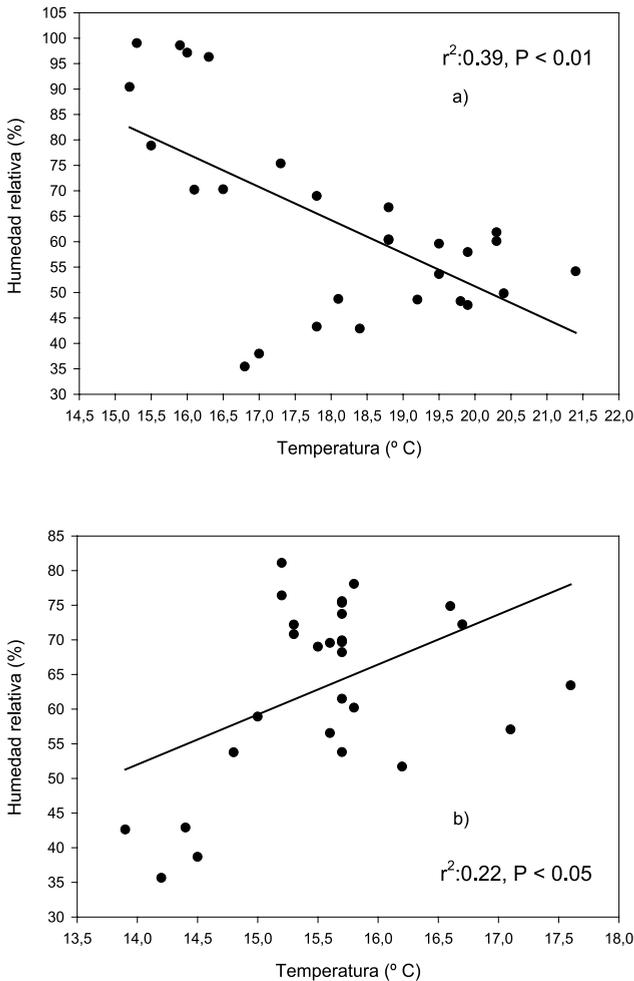


Figura 4.14. Variación de la humedad relativa (%) y de la temperatura (°C) del aire en dos núcleos de *Limonium emarginatum* en Ceuta. A) Desnarigado, con orientación Este. B) Punta Bermeja, con orientación Oeste (n = 27).

Limonium Emarginatum en Ceuta

Se apreció que en los días de viento de levante (componente Este) las temperaturas eran más elevadas que cuando el viento era de poniente (componente Oeste) (fig. 4.15).

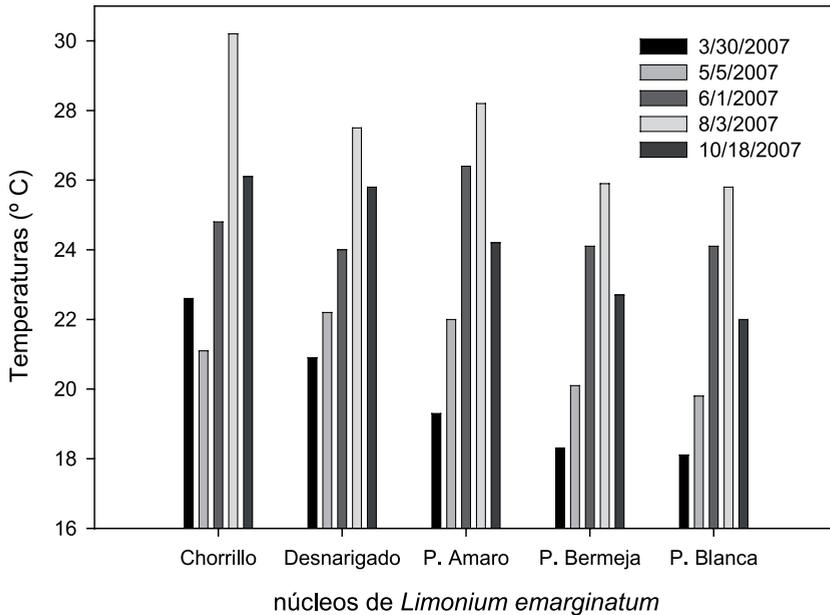


Figura 4.15. Temperaturas media diarias en los núcleos de Ceuta estudiados. Las tres primeras fechas fueron con vientos de poniente y las dos siguientes con levante.

Al relacionar los valores de humedad relativa y temperaturas con los núcleos estudiados se apreció que los núcleos dispuestos en el Este mostraron temperaturas más altas y valores de humedad relativa más bajos. En la vertiente Oeste ocurrió lo contrario (fig. 4.16).

La supervivencia (Lx) disminuyó con el aumento de la temperatura. Por otro lado, se evidenció que el aumento de las precipitaciones se relacionó con el aumento de la supervivencia (fig. 4.17).

Con respecto a la incidencia de la dirección del viento con la supervivencia se apreció que estaba directamente relacionada con la frecuencia de los vientos de

componente Oeste (Suroeste, Oeste-Suroeste, Oeste y Oeste-Noroeste) ($r^2 = 0.74$, $P < 0.01$), Sur (Sur, Sur-Sureste y Sur-Suroeste ($r^2 = 0.56$, $P < 0.01$)) y Norte (Norte, Nor-Noreste y Nor-Noroeste ($r^2 = 0.68$, $P < 0.01$)). No se apreció esa relación con vientos de componente Este ($P > 0.05$).

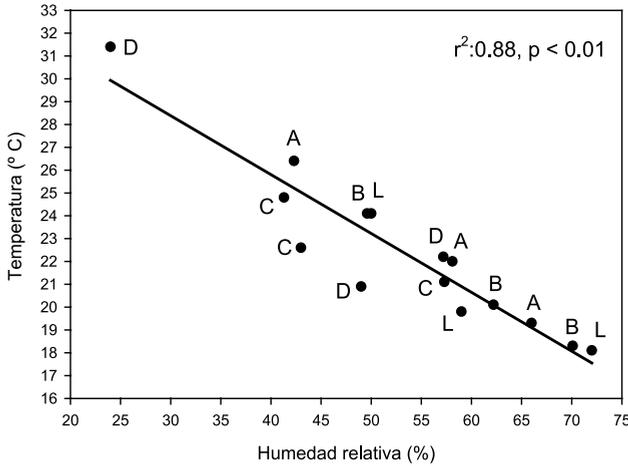


Figura 4.16. Distribución de los valores medios obtenidos de humedad relativa (%) y temperatura (°C) del aire en los núcleos estudiados. L) Punta Blanca. B) Punta Bermeja. A) Playa San Amaro. D) Desnarigado. C) Chorrillo-Juan XXIII (n = 15).

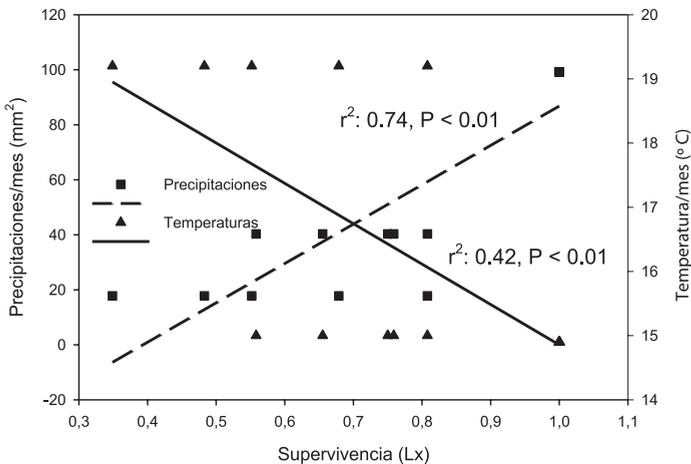


Figura 4.17. Relación entre la supervivencia (Lx) de *L. emarginatum* y la temperatura del aire (°C) y las precipitaciones (mm²) entre febrero y mayo de 2007 en Ceuta.

Limonium Emarginatum en Ceuta

En los 27 días que se instalaron los sensores en diferentes núcleos del litoral ceutí (del 24 de febrero al 25 de marzo de 2007) solo se recogieron precipitaciones el 7 de marzo. En este día se registró un descenso de la temperatura media en los núcleos situados en la vertiente mediterránea, donde las temperaturas máximas disminuyeron, manteniéndose las mínimas. Sin embargo, en los núcleos dispuestos en la vertiente atlántica se generó un ascenso de la temperatura media, aumentando las temperaturas mínimas (tabla 1) (fig. 4.18).

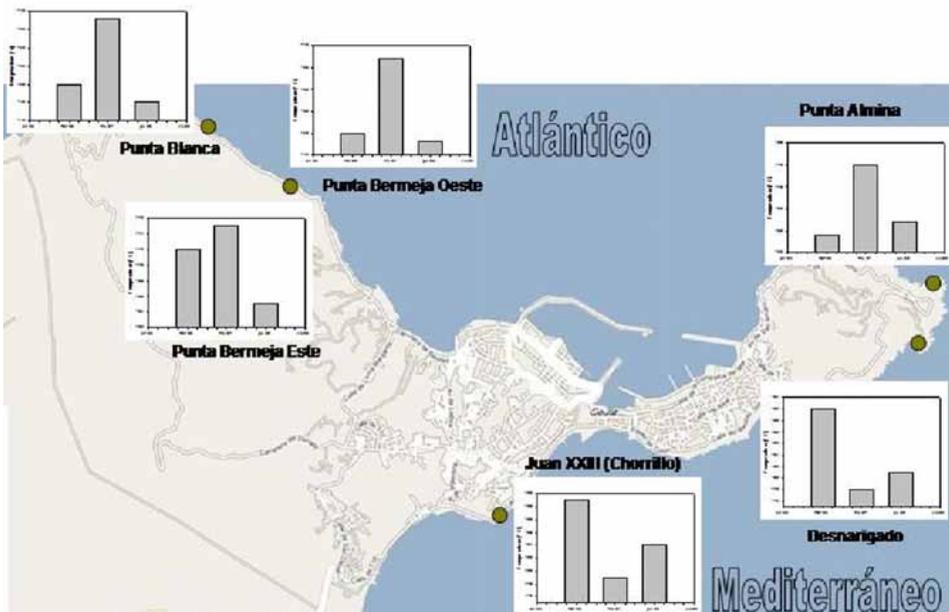


Figura 4.18. Variación de la temperatura media (°C) los días 6, 7 y 8 de marzo de 2007 en diferentes localizaciones de Ceuta.

	T^a media	T^a máx.	T^a mín.	HR media	HR máx.	HR mín.
Día	Punta Blanca					
06/03/2007	15,0	16,90	12,80	70,58	87,20	45,50
07/03/2007	16,8	18,50	15,60	89,69	100,00	62,80
08/03/2007	14,5	16,00	12,40	69,33	88,90	55,50
	Punta Bermeja Oeste					
06/03/2007	15,0	18,80	11,90	58,91	71,10	35,50
07/03/2007	16,7	18,40	15,10	72,22	91,50	45,80
08/03/2007	14,8	16,40	12,50	53,75	67,90	43,50
	Desnarigado					
06/03/2007	19,2	23,60	16,50	48,56	61,50	31,00
07/03/2007	17,8	19,80	16,30	68,94	82,50	46,40
08/03/2007	18,1	23,80	14,40	48,70	63,30	30,60
	Punta Bermeja Este					
06/03/2007	17,2	24,80	13,30	55,81	69,90	30,50
07/03/2007	17,5	21,40	15,50	69,53	84,30	51,20
08/03/2007	16,5	23,10	13,10	51,96	64,90	33,60
	Punta Almina					
06/03/2007	15,9	27,30	11,90	68,78	88,80	31,10
07/03/2007	17,5	33,00	14,10	84,18	100,00	31,50
08/03/2007	16,2	35,20	11,80	65,72	95,90	21,00
	Chorrillo					
06/03/2007	19,1	24,20	15,60	53,12	67,90	30,30
07/03/2007	17,9	20,80	15,90	74,65	87,10	46,70
08/03/2007	18,4	23,10	14,10	46,74	59,90	32,40

Tabla 4.1. Temperatura (T^a) del aire media, máxima y mínima (°C), humedad relativa (HR) del aire media, máxima y mínima (%) en los núcleos de Punta Blanca, Punta Bermeja Oeste, Desnarigado, Punta Bermeja Este, Punta Almina y Chorrillo para los días 6, 7 (días con precipitaciones) y 8 de marzo de 2007. Se sombrea en naranja los incrementos y en azul los descensos.

Fenómenos dependientes de la densidad

Se observó un comportamiento densodependiente de las parcelas estudiadas en los diferentes núcleos (fig. 4.19).

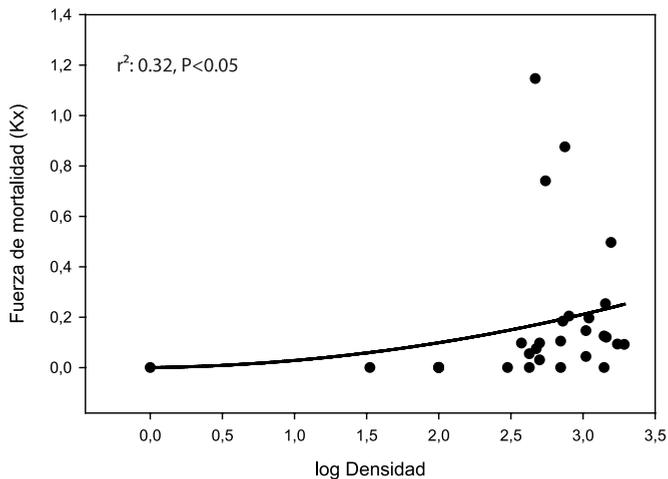


Figura 4.19. Relación entre la fuerza de mortalidad y la densidad de parcelas estudiadas en Ceuta (n = 30).

Discusión

Los núcleos estudiados se sitúan a lo largo de la costa ceutí con una dirección Oeste-Este. Los núcleos situados hacia el Oeste presentan una mayor tasa de supervivencia, y esta supervivencia disminuye conforme nos desplazamos hacia el Este. Punta Benzú, núcleo más occidental, posee la mayor supervivencia (59%) y la menor tasa de mortalidad. Desnarigado, núcleo más oriental, posee la menor supervivencia (0%) y la mayor tasa de mortalidad.

Los vientos de componente Oeste son mayoritarios en Ceuta, vientos que proceden del mar y por tanto con mayor humedad relativa del aire (fig. 4.2). Los núcleos situados en el Oeste que presentaron una mayor viabilidad de las plántulas germinadas puede estar determinado por el aporte de agua que generasen los vientos. Estas mismas observaciones se han realizado en la costa europea del Estrecho, aunque en este caso el viento dominante es del Este.

La temperatura del aire fue menor con viento de componente Oeste y mayor con viento de componente Este (fig. 4.15).

El tipo de sustrato se presentó como un elemento significativo en la germinación y supervivencia de las semillas germinadas. En Punta Benzú y Playa San Amaro se observaron valores de mayor natalidad (fig. 4.9c) y supervivencia (fig. 4.13d) respecto a los demás núcleos, siendo la roca el sustrato dominante en estos núcleos. En los demás núcleos el sustrato estuvo formado por roca y elementos disgregados. Este aspecto ha sido observado en las poblaciones situadas al otro lado del Estrecho. De igual forma, en cada núcleo, los ejemplares están orientados mayoritariamente al Oeste. Esa situación a favor de la incidencia del viento de componente Oeste nos indica el carácter benefactor de este viento sobre los ejemplares.

Los meses en los que se ha detectado una mayor mortalidad se corresponden con los de marzo y agosto (fig. 4.10). En marzo hubo un descenso en las precipitaciones y las plántulas germinadas en febrero se encontraron en situaciones de estrés hídrico. En agosto se acentuaron las condiciones de estrés hídrico debido no solo a la falta de precipitaciones, sino al aumento de la temperatura del aire (fig. 4.13).

A lo largo del estudio realizado, las precipitaciones han sido más escasas que en años anteriores. Esto ha determinado una menor tasa de germinación en las semillas de *L. emarginatum* como se ha podido observar en la Isla de las Palomas en Tarifa. En Playa San Amaro la germinación ha sido alta en relación a los demás núcleos y la mortalidad también. Es una manifestación del carácter denso dependiente (fig. 4.19). La competencia por el sustrato determina una menor viabilidad de las semillas germinadas.

La población neta máxima se encontró en febrero de 2007, al inicio de la investigación, y la mínima en agosto de 2007 (fig. 4.8). Estos datos concuerdan con los encontrados en Tarifa para años anteriores.

Limonium Emarginatum en Ceuta



Limonium emarginatum en Punta Bermeja



ECOFISIOLOGÍA DE *LIMONIUM EMARGINATUM* EN CEUTA

Se observaron patrones generales de los núcleos según la localización geográfica, la componente del viento y la distancia a la línea de pleamar astronómica. Plantas dispuestas al Noroeste y próximas a la línea de pleamar astronómica tendrían una eficiencia fotoquímica potencial y una fluorescencia pico mayor, siendo su fluorescencia basal menor. La componente del viento incide en el estado fisiológico. Los vientos de componente Oeste inciden positivamente sobre los núcleos dispuestos al Oeste. Los vientos de componente Este no tienen esa incidencia significativa.

Introducción

Limonium emarginatum es una especie expuesta a altos niveles de estrés ambiental abiótico debido a las condiciones ambientales de su hábitat, los acantilados costeros. Estos ecosistemas están muy expuestos a los vientos costeros que arrastran grandes cantidades de agua salada pulverizada (en forma de aerosol salino) sobre los acantilados, aumentando la salinidad del sustrato. Además, son zonas donde el desarrollo edáfico es muy escaso y en muchas localidades el único suelo disponible está en las diaclasas de las rocas. A estos factores estresantes, en zonas de influencia del clima mediterráneo como Ceuta hay que añadir la fuerte y prolongada sequía y las altas temperaturas veraniegas. En este contexto, *L. emarginatum* podría sufrir altos niveles de estrés fotosintético que, incluso, condujeran a la muerte de individuos adultos, tal y como se puede observar en sus poblaciones.

El objetivo de este capítulo fue analizar los niveles de estrés fotosintético en diferentes localidades distribuidas a lo largo de la costa ceutí para localizar las zonas más favorables para su desarrollo en estado adulto, así como los factores

ambientales que pudieran comprometer su supervivencia. Estos conocimientos facilitarán el desarrollo de estrategias de conservación de esta especie protegida. Así, por ejemplo, permitirá identificar las mejores zonas y períodos para la creación de nuevas poblaciones de la saladina.

Material y métodos

Se seleccionaron cinco núcleos de *Limonium emarginatum* distribuidos a lo largo del litoral ceutí, desde la costa Oeste a la Este, en sus vertientes atlántica y mediterránea: Punta Blanca, Punta Bermeja, Playa San Amaro, Desnarigado y Chorrillo (Juan XXIII).

Se realizaron un total de siete muestreos de la fluorescencia de la clorofila *a* desde febrero a octubre de 2007, anotando la componente del viento dominante y los valores de humedad relativa del aire y de la temperatura del aire durante el muestreo. En cada recogida de datos de la fluorescencia se realizaban 10 mediciones por núcleo. Los datos de fluorescencia recogidos consistieron en la eficiencia fotoquímica potencial (F_v/F_p), fluorescencia pico (F_p), fluorescencia basal (F_0) y la mitad del tiempo de transmisión de la energía del fotosistema II (PSII) a sus aceptores de electrones ($T_{1/2}$).

Medida de fluorescencia de la clorofila

La cinética rápida de la fluorescencia de la clorofila *a* se midió en 10 hojas de *L. emarginatum* por cada núcleo y fecha. Dichas medidas se realizaron con un fluorímetro portátil no modulado (Plant Stress Meter, PSM Mark II, Biomonitor S.C.I. AB, Umea, Sweden). Las hojas muestreadas se mantuvieron en obscuridad durante 30 minutos antes de realizar las medidas de fluorescencia, sometiéndolas durante dos segundos a un haz de luz actínica de $400 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

La fluorescencia basal (F_0), la cual depende de la cantidad y funcionalidad de los complejos antenas captadores de luz del fotosistema II (PSII) y de la integridad funcional de los centros de reacción del PSII (Krause & Weis, 1991), fue determinada, en primer lugar, tras una estimulación lo suficientemente rápida. A continuación un rayo de luz actínica provocó un pico de fluorescencia (F_p) para la intensidad de radiación utilizada. Entonces se determinó la mitad del tiempo de transición desde F_0 a F_p ($T_{1/2}$), que da información sobre la funcionalidad de los centros de reacción activos de PSII y la cantidad y el estado del conjunto de aceptores de electrones tras el PSII (Bolhár-Nordenkamp & Öquist, 1993). El cociente fluorescencia variable/pico de fluorescencia ($F_v/F_p = (F_p - F_0)/F_p$) fue

utilizado como una medida de la eficiencia fotoquímica potencial del PSII; este parámetro está directamente relacionado con el número de centros de reacción del PSII funcionales (Öquist & Chow, 1992) y ha sido utilizado para cuantificar foto inhibición frecuentemente (Lichtenthaler, 1988).

Tratamiento estadístico

Para estudiar la distribución de los distintos parámetros ecofisiológicos se realizó la prueba de normalidad (Test de Kolmogorov-Smirnov). Si cumplían la normalidad ($P > 0.05$) se contrastaron las diferencias entre medias mediante Anova de una vía (Homogeneidad y varianza Levenne Test). Se aplicó el Test de Tukey como test *post-hoc* para comparar las medidas dos a dos cuando la ANOVA fue significativa ($P < 0.05$). Si los datos obtenidos no cumplían el test de normalidad ($P < 0.05$), utilizamos una Anova no paramétrica de Kruscal-Wallis y posteriormente el Mann-Whitney U-Test para contrastar las diferencias entre grupos dos a dos. Para el estudio de correlaciones entre series de datos paramétricas se aplicó el coeficiente de Pearson (r) y el de Spearman para no paramétricas ($P < 0.05$).

Resultados

Eficiencia fotoquímica (Fv/Fp)

En Punta Blanca se registraron dos mediciones significativamente mayores de las demás a lo largo del estudio en marzo y junio de 2007 (Anova: $F = 6.96$, $P < 0.05$; Tukey: $P < 0.01$) (fig. 5.1a). De igual modo, en Punta Bermeja se localizaron dos picos significativos en la eficiencia fotoquímica potencial del PSII, al igual que en la localidad anterior el 30 de marzo y el 1 de junio de 2007 (Anova: $F = 9.17$, $P < 0.05$; Tukey: $P < 0.01$) (fig. 5.1b). Las demás mediciones a lo largo del estudio no presentaron diferencias significativas entre sí.

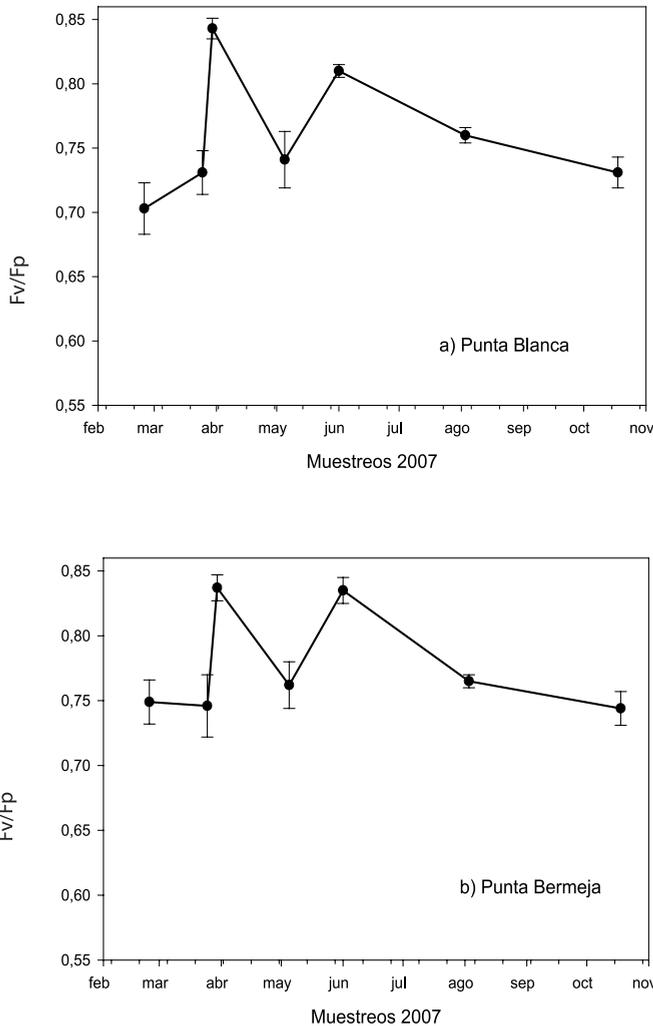


Figura 5.1. Variación de la eficiencia fotoquímica potencial (Fv/Fp) de *L. emarginatum* en los núcleos de Punta Blanca (a) y Punta Bermeja (b) a lo largo de 2007.

Al igual que en las dos localidades anteriores situadas más al oeste de Ceuta, en Playa San Amaro se registraron mayores valores de Fv/Fp el 30 de marzo y el 1 de junio que en mayo, agosto y octubre de 2007 (Anova: $F = 31.69$, $P < 0.05$; Tukey: $P < 0.01$) (fig. 5.2a). En Desnarigado, con orientación Este, el período comprendido entre el 30 de marzo y el 1 de junio mostró los valores de Fv/Fp mayores, lo

Limonium Emarginatum en Ceuta

que fue similar a lo registrado en los núcleos con orientación Oeste. Sin embargo, durante el verano la caída de Fv/Fp fue mucho mayor que en los otros núcleos, llegando a valores próximos a 0.60, lo que se reflejó en valores significativamente menores en agosto que en febrero, marzo y junio. Además, la recuperación de la eficiencia fotoquímica potencial no fue total después de las primeras lluvias, pues los valores registrados en octubre fueron menores a los registrados en primavera (Anova: DF = 67, F = 12.38, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.05$) (fig. 5.2b).

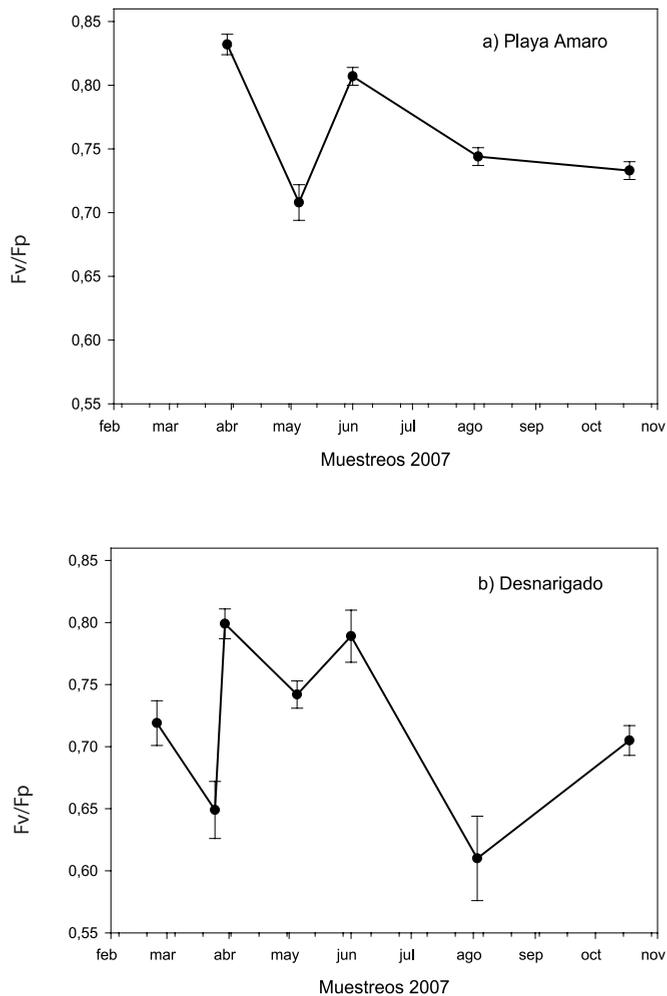


Figura 5.2. Variación de la eficiencia fotoquímica potencial (Fv/Fp) en los núcleos de Playa San Amaro (a) y Desnarigado (b) a lo largo de 2007.

En Chorrillo, también con orientación Este en la vertiente mediterránea, también se registraron los dos picos significativos en la eficiencia fotoquímica potencial de marzo y junio (Anova: $F = 9.72$, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.05$). De igual modo se observaron diferencias significativas entre el 25 de marzo-1 de junio, 30 de marzo-3 de agosto y 5 de mayo-18 de octubre (fig. 5.3).

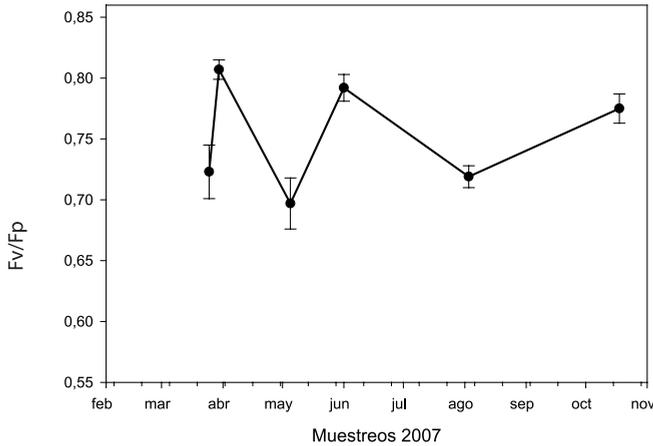


Figura 5.3. Variación de la eficiencia fotoquímica potencial (Fv/Fp) en el núcleo de *L. emarginatum* en Chorrillo a lo largo de 2007.

Fluorescencia pico

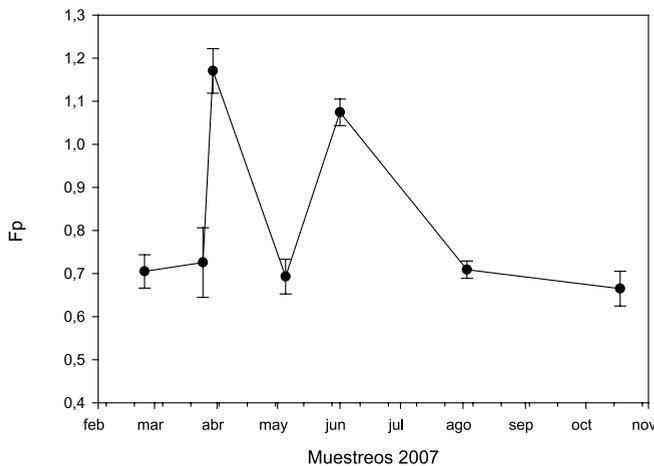


Figura 5.4. Variación de la fluorescencia pico (Fp) de *L. emarginatum* en el núcleo de Punta Bermeja a lo largo de 2007.

Limonium Emarginatum en Ceuta

En Punta Bermeja (Atlántico, orientación Oeste), la fluorescencia pico (Fp) fue mayor en marzo y junio (Kruskal-Wallis Anova: $H = 41.3$, $P < 0.01$; Mann-Whitney U-Test: $P < 0.05$) (fig. 5.4).

En Chorrillo (Mediterráneo, orientación Este), las mediciones diferentes significativamente han sido las de octubre con respecto al 25 de marzo y mayo, así como del 30 de marzo respecto a mayo (Anova: $F = 5.70$, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.05$) (fig. 5.5a). En Desnarigado (Mediterráneo, orientación Este), la Fp en octubre y agosto fue significativamente menor que en febrero y marzo. De igual modo, la Fp de agosto se diferenciaba de la de junio, la del 25 de marzo respecto al 30 de marzo y junio, y, por último, la de febrero respecto al 25 de marzo (Anova: $F = 7.12$, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.05$) (fig. 5.5b).

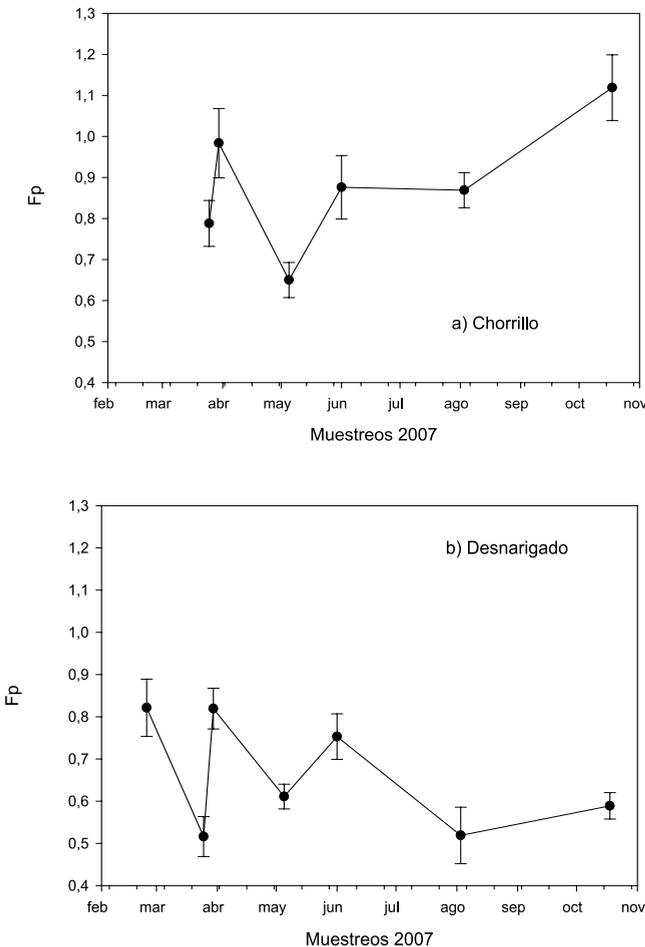


Figura 5.5. Variación de la fluorescencia pico (Fp) de *L. emarginatum* en el núcleo de Chorrillo (a) y Desnarigado (b) a lo largo de 2007.

En Punta Bermeja, Playa San San Amaro y Desnarigado, Fp/Fm y Fp aumentaron conjuntamente. La pendiente de la recta de regresión fue mayor cuanto más hacia el Este: Punta Bermeja, $r^2 = 0.87$, $P < 0.01$, $y = -2.18 + 3.95 x$; Playa San San Amaro, $r^2 = 0.95$, $P < 0.05$, $y = -1.78 + 3.34 x$; Desnarigado, $r^2 = 0.64$, $P < 0.05$, $y = -0.45 + 0.64 x$.

Fluorescencia basal

En Punta Bermeja no se registraron diferencias significativas en la fluorescencia basal (F0) a lo largo del estudio (fig. 5.6).

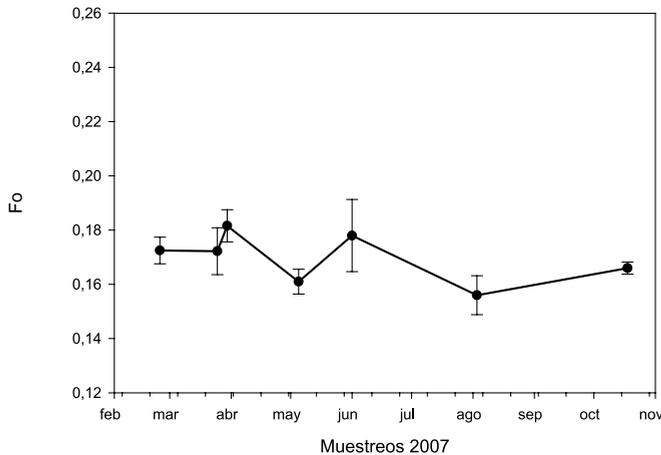


Figura 5.6. Variación de la fluorescencia basal (F0) de *L. emarginatum* en Punta Bermeja a lo largo de 2007.

En Chorrillo se encontraron diferencias significativas en F0 entre agosto y octubre con respecto a marzo, mayo y junio (Anova: $F = 6.69$, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.05$) (fig. 5.7a). En Desnarigado se encontraron diferencias significativas en F0 entre febrero y los demás meses a excepción de agosto (Anova: $F = 6.94$, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.05$) (fig. 5.7b).

Limonium Emarginatum en Ceuta

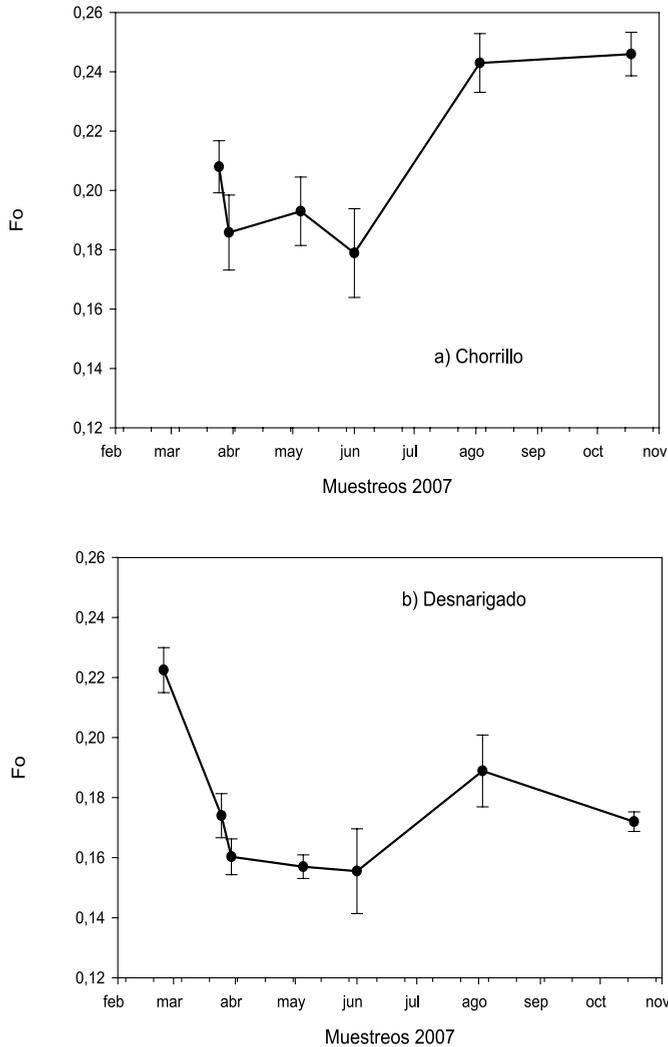


Figura 5.7. Variaciones de la fluorescencia basal (F₀) en Chorrillo (a) y Desnarigado (b) a lo largo de 2007.

Influencia de los factores abióticos sobre la dinámica de emisión de fluorescencia

Se observó que las plantas más cercanas a la línea de pleamar astronómica tenían una mayor eficiencia fotoquímica potencial, que disminuía según se ale-

jaban hacia el interior ($r^2 = 0.53$, $P < 0.01$) (fig. 5.8). Por otro lado, la eficiencia fotoquímica potencial disminuyó con la latitud y la longitud geográficas ($P < 0.01$) (fig. 5.9).

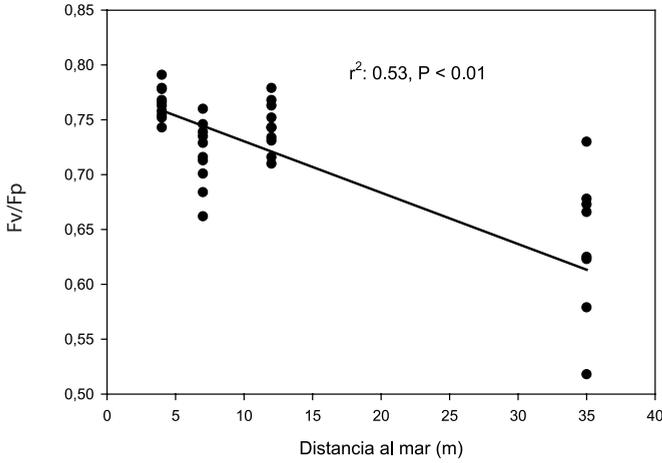
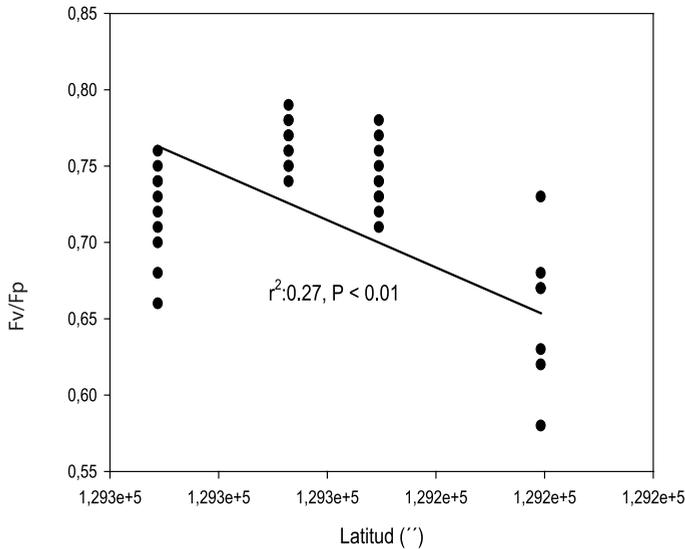


Figura 5.8. Relación entre la eficiencia fotoquímica potencial (Fp/Fm) y la línea de pleamar astronómica para los núcleos estudiados en Ceuta (Chorrillo, Desnarigado, Playa San Amaro, Punta Bermeja y Punta Blanca) (N = 40).



Limonium Emarginatum en Ceuta

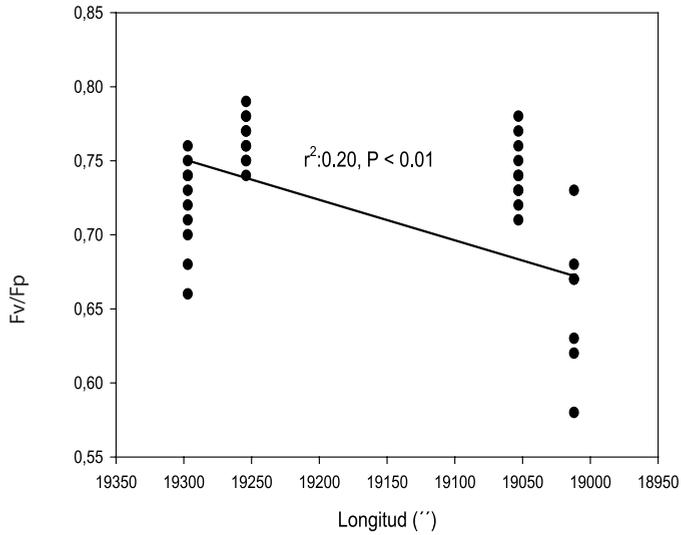


Figura 5.9. Relación entre la eficiencia fotoquímica (Fv/Fp) y las coordenadas geográficas (latitud y longitud) en los núcleos de Ceuta (Chorrillo, Desnarigado, Playa San Amaro, Punta Bermeja y Punta Blanca) (n = 4.0).

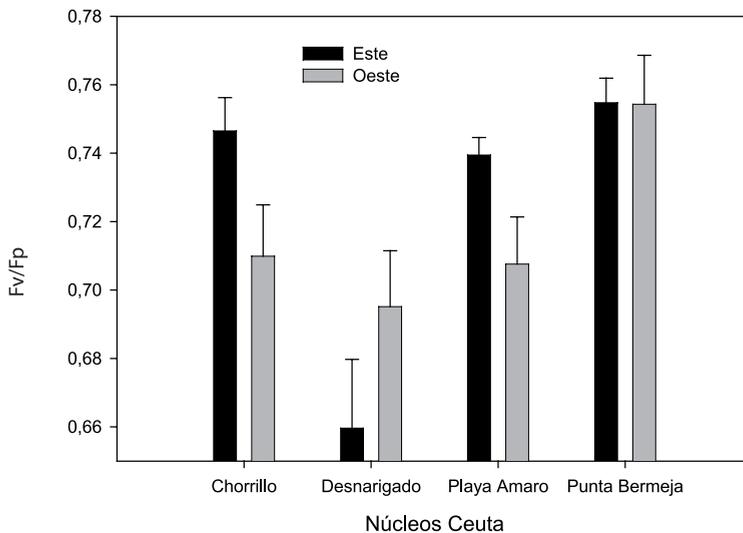


Figura 5.10. Variación de la eficiencia fotoquímica potencial (Fv/Fp) según la componente del viento en diferentes núcleos de *L. emarginatum* en Ceuta (n = 76).

Con viento de componente Este (levante), la Fv/Fp fue menor que en los demás núcleos (Anova: $F = 13.34$, $P < 0.05$; Tukey $P < 0.05$). Por otro lado, con viento de componente Oeste (poniente), Punta Bermeja tuvo menores niveles de estrés fotosintético (Fv/Fp mayores) que los demás núcleos (Kruskal-Wallis Anova: $H = 13.96$, $P < 0.01$; Mann-Whitney U-Test: $P < 0.01$) (fig. 5.12).

Las plantas de *L. emarginatum* tienen diferente orientación geográfica según los núcleos estudiados, dentro de la diferente localización geográfica. En los núcleos orientados hacia el Oeste se observó una relación directa entre una mayor eficiencia fotoquímica potencial y una orientación Oeste mayor ($P < 0.01$) (fig. 5.11a). En los orientados al Este, la eficiencia fotoquímica potencial se relacionaba de modo inverso con la magnitud en grados de su orientación al Este ($P < 0.01$) (fig. 5.11b).

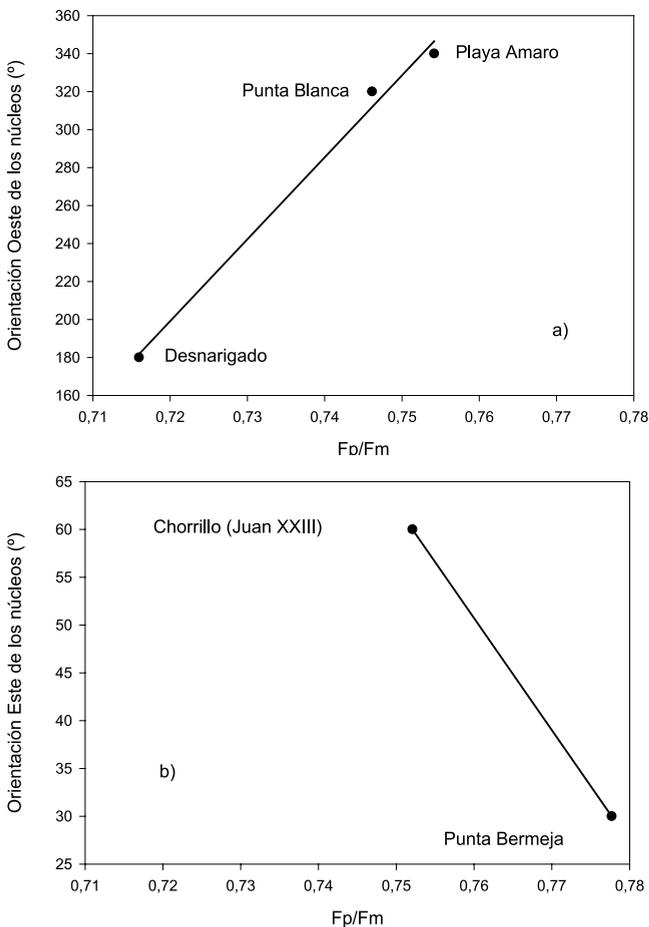


Figura 5.11. Relación entre la eficiencia fotoquímica potencial (Fp/Fm) y la orientación geográfica de los núcleos (°). A) Orientación Oeste. B) Orientación Este (N = 67).

Discusión

La eficiencia fotoquímica potencial en los núcleos estudiados nos mostró que en los meses de marzo y junio se alcanzó el mejor estado fisiológico, y en agosto las condiciones más estresantes (figs. 5.1, 5.2 y 5.3). Se observó una variación de la eficiencia fotoquímica potencial en la época estival, siendo los valores obtenidos en los núcleos del Este (Mediterráneo) más bajos que los dispuestos al Oeste (Atlántico). Con las primeras lluvias hubo una recuperación de los valores obtenidos a excepción del núcleo del Desnarigado (Este), donde no se alcanzó la total recuperación, pues los valores obtenidos fueron menores a los de la primavera (fig. 5.2b).

Con respecto a la fluorescencia pico se apreciaron valores más altos en los núcleos dispuestos al Oeste que en el Este (figs. 5.6 y 5.7). Al relacionar la eficiencia fotoquímica potencial y la fluorescencia pico, los núcleos dispuestos al Oeste presentaron unas pendientes de las rectas de regresión menores que los dispuestos al Este (figs. 5.4 y 5.5). Con respecto a la fluorescencia basal, los valores que se encontraron en los núcleos dispuestos al Este fueron mayores que en el Oeste. Una fluorescencia basal más alta y una fluorescencia pico más baja en los núcleos del Este se correspondería con un peor estado fisiológico que los núcleos del Oeste, donde la fluorescencia basal es más baja y la fluorescencia pico mayor.

La proximidad al mar se encontró significativa respecto al estado fisiológico de las plantas. A más proximidad a la línea de pleamar astronómica, mejor estado fisiológico (fig. 5.8).

La localización geográfica se manifestó como otro factor que determinaba el estado de las plantas. Núcleos dispuestos al Noroeste presentaban una eficiencia fotoquímica potencial mayor que los dispuestos al Sureste (fig. 5.9).

La componente del viento también determinó el estado fisiológico de las plantas. Con viento de componente Oeste, los núcleos dispuestos al Oeste tenían una eficiencia fotoquímica potencial mayor. Con vientos de componente Este, los núcleos no presentaban diferencias significativas según la longitud (fig. 5.10).



Limonium emarginatum en Playa San Amaro



6

CREACIÓN DE NUEVAS POBLACIONES DE *L. EMARGINATUM* EN CEUTA MEDIANTE TRASPLANTES

El análisis de las características abióticas y bióticas nos ha permitido conocer que el sustrato es el más adecuado, la influencia de los vientos, tan abundantes en el Estrecho, así como la orientación predominante que ocupan las plantas y por qué. De igual manera nos ha permitido conocer sus fases de desarrollo a lo largo del año y los factores ambientales que las condicionan, principalmente la sequía estival que se ve disminuida por el aerosol salino. Los resultados obtenidos nos permiten encarar con eficacia acciones que vayan encaminadas a la supervivencia del endemismo, como la creación de nuevas poblaciones mediante trasplantes. La introducción de nuevas poblaciones del endemismo del estrecho de Gibraltar *Limonium emarginatum* en Ceuta posibilita el aumento de su distribución de esta especie protegida. Además, según la zona donde se creen estas poblaciones, se podrán establecer puentes de intercambio genético entre las dos grandes zonas con mayor presencia de esta especie: Punta Benzú, al Oeste, y monte Hacho, al Este. En este capítulo se exponen los resultados de la creación piloto, por primera vez en el continente africano, de dos poblaciones mediante trasplantes, una en la vertiente atlántica ceutí y otra en la mediterránea, y del seguimiento de sus plantones.

Introducción

Las poblaciones del endemismo *Limonium emarginatum* se encuentran localizadas a ambos lados del estrecho de Gibraltar. En el continente europeo, las poblaciones de esta especie protegida aparecen a modo de rosario a lo largo de la costa del Campo de Gibraltar, aunque existen amplias zonas costeras con un hábitat en principio idóneo para *L. emarginatum* donde no se asientan poblaciones. La gran distancia existente entre estas poblaciones podría conllevar un aislamiento

reproductivo de las mismas, lo que podría afectar negativamente a su conservación a medio y largo plazo al disminuir la diversidad genética de la especie que podría mermar su capacidad de enfrentar cambios ambientales futuros, así como impedir la recuperación de pequeñas poblaciones frente a eventos catastróficos que condujesen finalmente a la extinción local o, en el mejor de los casos, a reducciones drásticas de los efectivos poblacionales. Al otro lado del estrecho de Gibraltar, en el continente africano, Ceuta se constituye como un referente en cuanto a la abundancia de *Limonium emarginatum*, siendo la población más extensa a lo largo del litoral, aunque también aquí la distribución de la saladina aparece muy localizada y concentrada en dos grandes zonas: Punta Benzú, al Oeste, y monte Hacho, al Este.

En este contexto, el desarrollo de una metodología adecuada para la creación de nuevas poblaciones de *L. emarginatum* potenciaría decididamente la conservación de esta especie ‘Vulnerable’, ya que permitiría generar nuevas poblaciones entre las ya existentes dando mayor continuidad a su distribución y aumentando, además, su área de ocupación, incluso pudiendo establecer puentes de intercambio genético.

El objetivo principal de este trabajo fue el desarrollo de una metodología de creación de nuevas poblaciones de *L. emarginatum* en el litoral ceutí. Para esto se crearon 2 poblaciones mediante trasplantes, una en la vertiente atlántica ceutí y otra en la mediterránea. Además, también se realizó un seguimiento de los plántones de las nuevas poblaciones para evaluar su establecimiento y posterior desarrollo. En este seguimiento se midieron las siguientes variables bióticas: dinámica de emisión de la fluorescencia, supervivencia, crecimiento y morfología foliar. Además, se registraron diferentes características ambientales abióticas para caracterizar el hábitat (temperatura del aire y del sustrato, humedad relativa del aire, precipitación y vientos presentes en la zona).

Material y métodos

Creación de dos nuevas poblaciones de *L. emarginatum* mediante trasplantes en Juan XXIII y Punta Bermeja

Los plántones de *L. emarginatum* trasplantados a Juan XXIII y Punta Bermeja fueron recogidos de la Isla de las Palomas (Tarifa) en sus primeras fases de desarrollo, con un diámetro de 5 cm del cepellón.

Los trasplantes se realizaron a mano, el 17 de febrero de 2007, con la ayuda de palines y manteniendo el sustrato adherido a las raíces de los plántones a modo

de cepellón. Los trasplantes se instalaron en Juan XXIII en orientación Norte. Los plantones trasplantados en Punta Bermeja se localizaron en un promontorio con orientación Oeste-Este. En ambos casos se localizaron en las proximidades de la línea de pleamar astronómica, expuestos a la acción del viento. Se plantaron 12 plantones en Juan XXIII, 13 plantones en la vertiente Oeste y 12 plantones en la vertiente Este de Punta Bermeja. La zona de trasplante en Juan XXIII estaba compuesta por sustrato de roca bastante disgregado. El promontorio de Punta Bermeja estaba compuesto de material rocoso disgregado en ambas orientaciones. La vegetación existente en Juan XXIII estaba compuesta por *Chritimum maritimum*, *Plantago coronopus*, *Asteriscus maritimus* y *Anthemis arvensis*. En zonas más alejadas de la costa se observó *Glaucium flavum*. En Punta Bermeja las especies acompañantes fueron *Plantago coronopus*, *Chritimum maritimum*, *Asteriscus maritimus*, *Centranthus ruber* y *Calendula suffruticosa*.

Análisis del medio abiótico

La temperatura del sustrato (arena o roca) y de las hojas de *L. emarginatum* fue registrada mediante un sensor láser portátil y de medición remota (Autopro, Raytek, Santa Cruz, USA) alrededor del mediodía solar el 1 de junio de 2007 con viento de componente Oeste (poniente). Del 24 de febrero al 25 de marzo de 2007 se instalaron dos sensores de temperatura y humedad relativa del aire (Escort, Nueva Zelanda) en las vertientes Este y Oeste de Punta Bermeja y un sensor en Juan XXIII (Chorrillo). Los datos se recogieron con intervalos de 30 minutos.

Seguimiento de los trasplantes

Los plantones fueron marcados para un seguimiento individualizado. Se registró la supervivencia y el crecimiento por plantón. Un plantón se consideraba muerto cuando no tenía hojas verdes.

El crecimiento por plantón fue estimado mediante el seguimiento de la producción de nuevas hojas y sus áreas. Se contaron todas y cada una de las hojas de todos los plantones mensualmente a lo largo del estudio. La tasa relativa de producción de hojas por plantón (n° de hojas * n° de hojas⁻¹ * día⁻¹) se calculó para cada mes en función del número de hojas producidas entre dos muestreos y el tiempo transcurrido en días.

Los registros de fluorescencia se realizaron tal y como se indica en el capítulo 5.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo como se ha expuesto en capítulos anteriores.

Resultados

Supervivencia de los plantones

En el primer muestreo de seguimiento, el 25 de marzo de 2007, la supervivencia fue del 92% para los plantones localizados en Chorrillo (Juan XXIII) y Punta Bermeja Este, y del 100% para los situados en Punta Bermeja Oeste. Hasta el 1 de junio la supervivencia se mantuvo constante en Chorrillo. Sin embargo, en Punta Bermeja bajó la supervivencia de un modo más acusado en la vertiente Este (67% en mayo de 2007), y de modo más gradual en la vertiente Oeste, donde en mayo de 2007 la supervivencia fue del 85%. En junio de 2007 la supervivencia fue similar en las dos vertientes de Punta Bermeja, con un 67% en el Este y un 69% en el Oeste. En la época estival la supervivencia permaneció constante en Punta Bermeja Oeste, y se observó un descenso en Chorrillo (hasta el 83%) y en Punta Bermeja Este (hasta el 50%) (fig. 6.1).

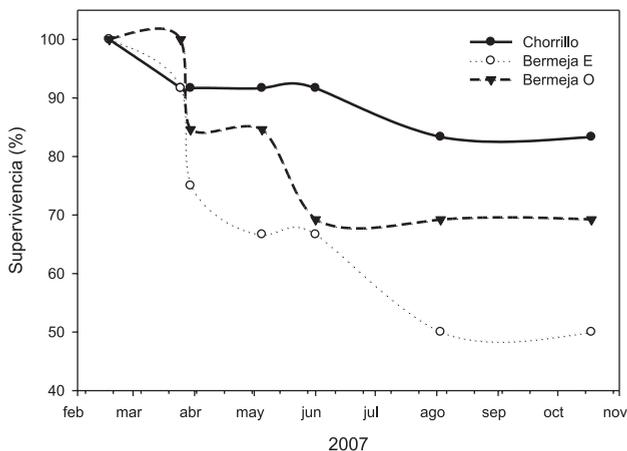


Figura 6.1. Supervivencia de *Limonium emarginatum* en las nuevas poblaciones ceutías creadas mediante trasplantes, con material de la Isla de Tarifa, desde febrero a octubre de 2007.

Crecimiento y número de hojas de los plantones

Atendiendo al número de hojas encontradas en los plantones, este número se mantuvo constante inicialmente en Chorrillo y, posteriormente, se incrementó de manera continua. En Punta Bermeja se observó una disminución del número de hojas inicialmente, de manera que no se llegó a superar nunca el número de hojas inicial (fig. 6.2). Esta dinámica fue similar en las dos orientaciones. El promedio general de hojas a lo largo del tiempo de estudio fue en Chorrillo de 246 ± 25 hojas,

Limonium Emarginatum en Ceuta

en Punta Bermeja Este de 93 ± 8 hojas y en Punta Bermeja Oeste 150 ± 8 hojas. La diferente dinámica de desarrollo entre Chorrillo y Punta Bermeja fue significativa (Anova: $DF = 20$, $F = 24.33$, $P < 0.05$; Tukey N HSD: $P < 0.03$).

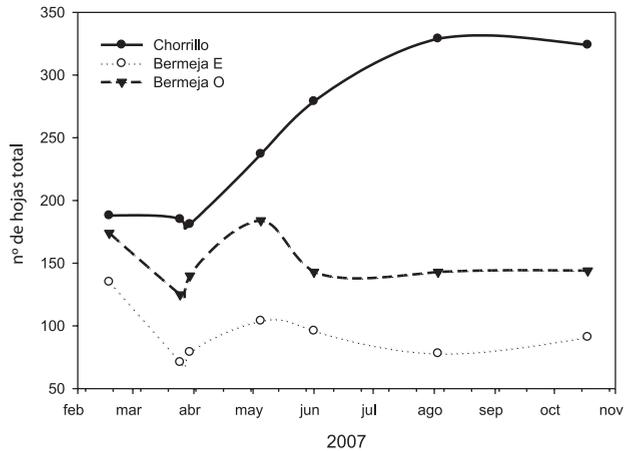


Figura 6.2. Número de hojas total en los plántones de *Limonium emarginatum* trasplantados en Chorrillo (Juan XXIII) y Punta Bermeja, orientación Este y Oeste, desde febrero a octubre de 2007.

El número de hojas promedio por plánton aumentó en Chorrillo desde febrero (16 ± 2 hojas plánton⁻¹) hasta agosto de 2007 (33 ± 8 hojas plánton⁻¹). En Punta Bermeja, el número de hojas promedio aumentó desde marzo (Este: 6 ± 2 hojas plánton⁻¹; Oeste: 10 ± 3 hojas plánton⁻¹) a mayo de 2007 (Este: 13 ± 3 hojas plánton⁻¹; Oeste: 17 ± 3 hojas plánton⁻¹). Posteriormente, hubo un aumento en la orientación Este de junio a octubre de 2007, igualando los valores de la orientación Oeste de Punta Bermeja (Este: 15 ± 3 hojas plánton⁻¹; Oeste: 16.0 ± 3.7 hojas plánton⁻¹). El número de hojas promedio por plánton fue mayor en Chorrillo (23 ± 3 hojas plánton⁻¹) que en Punta Bermeja Oeste (14 ± 1 hojas plánton⁻¹) y Punta Bermeja Este (11 ± 1 hojas plánton⁻¹) (Anova: $F = 11.02$, $P < 0.01$; Tukey: $P < 0.03$) (fig. 6.3).

La tasa relativa de producción de hojas siguió una dinámica similar en los tres núcleos. Punta Bermeja mostró una tasa relativa de producción similar en las dos orientaciones, con un incremento acusado hasta mayo y un descenso igual de acusado hasta junio de 2007. Posteriormente, aumentó de modo progresivo de junio a octubre de 2007. En Chorrillo se produjo un incremento desde febrero a mayo y, posteriormente, hasta octubre su tasa de crecimiento fue disminuyendo.

En octubre de 2007, en los tres núcleos se manifestaron unos valores similares de tasa de producción de hojas (fig. 6.4).

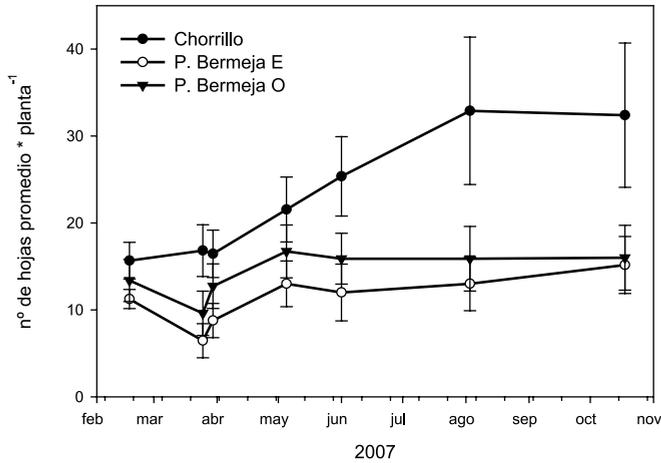


Figura 6.3. Número de hojas promedio en los plantones de *Limonium emarginatum* trasplantados desde la Isla de Tarifa a las localidades ceutías de Chorrillo (Juan XXIII) y Punta Bermeja, orientación Este y Oeste, desde febrero a octubre de 2007. Los valores mostrados son medias \pm ESM.

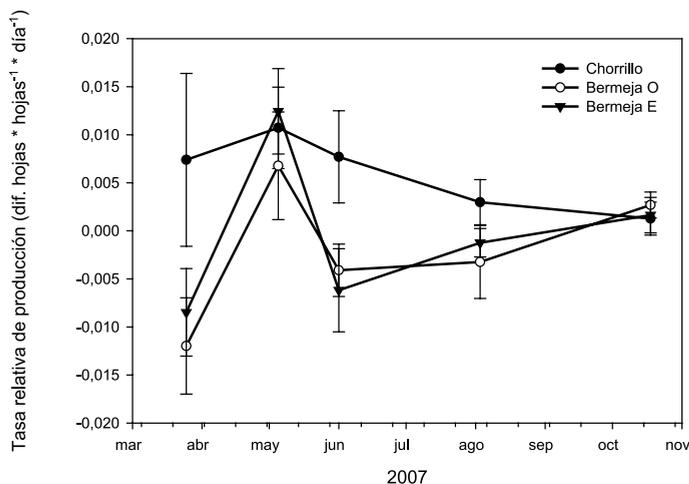


Figura 6.4. Tasa relativa de producción (diferencia en el número de hojas entre dos muestreos consecutivos * hojas⁻¹ * día⁻¹) en los plantones de *Limonium emarginatum* trasplantados desde la Isla de Tarifa a las localidades ceutías de Chorrillo (Juan XXIII) y Punta Bermeja, orientación Este y Oeste, desde febrero a octubre de 2007 (n = 180). Los valores mostrados son medias \pm ESM.

Temperatura del sustrato y las hojas de *L. emarginatum*

El día 1 de junio de 2007 se midieron las temperaturas del sustrato y de las hojas en las tres zonas de estudio. La temperatura de las hojas en Punta Bermeja (32.5 ± 0.81 °C) fue menor que en Chorrillo (Juan XXIII) (45.7 ± 1.17 °C y 38.7 ± 0.89 °C, en la población natural y los trasplantes, respectivamente). Por otro lado, la temperatura del sustrato fue mayor en la población natural de Chorrillo (Juan XXIII) (45.6 ± 0.90 °C) que en la zona de trasplantes (42.0 ± 0.83 °C) y Punta Bermeja (39.2 ± 0.93 °C) (fig. 6.5).

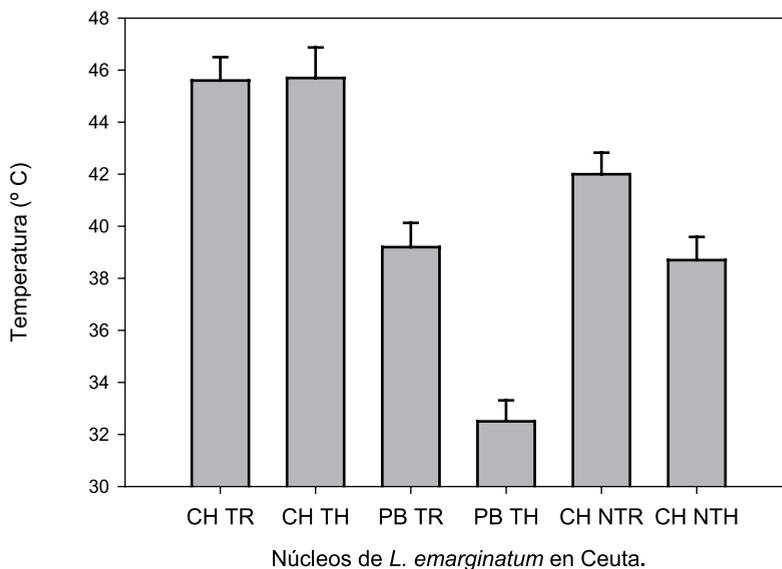


Figura 6.5. Temperatura promedio (°C) del sustrato y las rocas en Chorrillo (Juan XXIII) y Punta Bermeja. CH TR: Temperatura del sustrato en Chorrillo; CH TH: Temperatura de las hojas en Chorrillo; PB TR: Temperatura del sustrato en Punta Bermeja; PB TH: Temperatura de las hojas en Punta Bermeja; CH NTR: Temperatura del sustrato en nueva población Chorrillo; CH NTH: Temperatura de las hojas en nueva población Chorrillo. Los valores mostrados son medias \pm ESM (n = 10).

Los sensores instalados en los dos núcleos, del 24 de febrero al 25 de marzo de 2007, determinaron una diferente correlación entre la humedad relativa del aire y la temperatura del aire. En Chorrillo, conforme aumentaba la temperatura disminuía la humedad relativa. En Punta Bermeja Oeste se observó una relación directa entre el aumento de la temperatura y la humedad relativa. En Punta Bermeja Este no se apreció relación alguna (fig. 6.6).

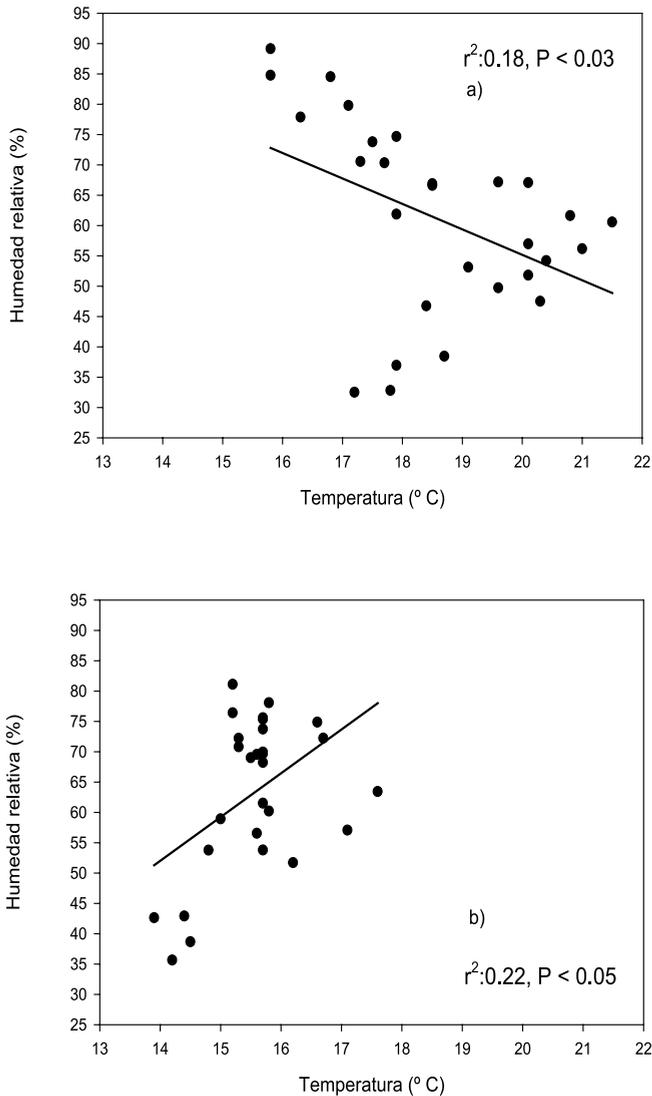


Figura 6.6. Temperatura (°C) y humedad relativa del aire (%) medias diarias en Chorrillo (a) y Punta Bermeja Oeste (b) del 24 de febrero al 25 de marzo de 2007 (n = 27).

Análisis de la fluorescencia de los trasplantes (1 de junio de 2007)

La eficiencia fotoquímica potencial (F_v/F_m) para Punta Bermeja fue significativamente diferente con Chorrillo (Mann-Whitney U-Test, $P < 0.02$) y Chorrillo nuevo (Mann-Whitney U-Test, $P < 0.03$), no apreciándose diferencias significativas

Limonium Emarginatum en Ceuta

entre las dos poblaciones de Chorrillo (Kruskal-Wallis Anova: $H = 8.92$, $P < 0.05$; Mann-Whitney U-Test: $P < 0.05$).

Por otro lado, la F_v/F_m disminuyó al aumentar la temperatura de las hojas en la población trasplantada de Punta Bermeja y en la población natural de Chorrillo, pero no en los trasplantes de este núcleo. El día 1 de junio el viento era de componente Oeste, lo que provocó que las temperaturas más bajas se registrasen en Punta Bermeja y correspondieron con valores de F_v/F_m más altos. En Chorrillo las temperaturas de las hojas fueron mayores y sus valores de F_v/F_m menores (fig. 6.7). La eficiencia fotoquímica potencial (F_v/F_m) disminuyó al aumentar la temperatura del sustrato en ambas zonas trasplantadas y la población natural de Chorrillo ($P < 0.01$). Aunque las variaciones de la temperatura del sustrato fueron similares entre ambas zonas trasplantadas, la F_v/F_m en los trasplantes de Punta Bermeja disminuyó menos al aumentar la temperatura del sustrato que en los trasplantes de Chorrillo (fig. 6.8).

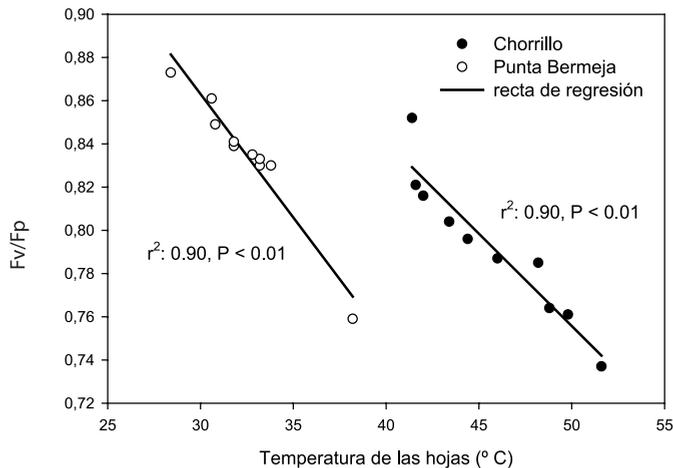


Figura 6.7. Relación entre la temperatura de las hojas ($^{\circ}\text{C}$) y la eficiencia fotoquímica potencial (F_v/F_m) en los trasplantes de *L. emarginatum* en Punta Bermeja y en la población natural de Chorrillo (Juan XXIII) el 1 de junio de 2007 ($n = 10$).

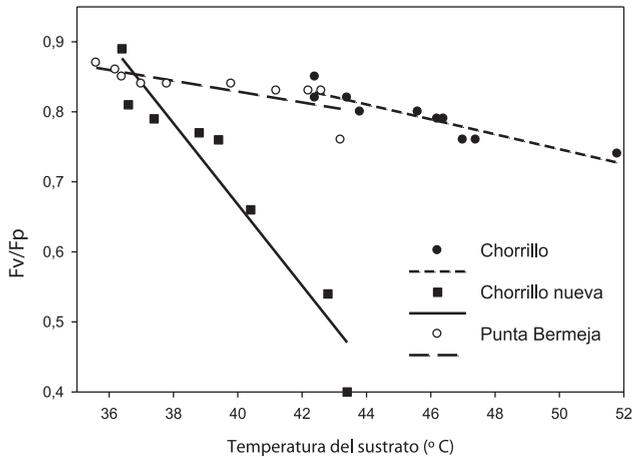


Figura 6.8. Relación entre la temperatura del sustrato (°C) y la eficiencia fotoquímica potencial (Fv/Fm) en los trasplantes de *L. emarginatum* de Chorrillo (Juan XXIII) y Punta Bermeja, y la población natural de Chorrillo, el 1 de junio de 2007 (n = 10).

Discusión

La supervivencia de los trasplantes de plantones de *L. emarginatum* en el litoral ceutí ha oscilado entre un 50% y un 83%. Los hábitats elegidos fueron tres. En Juan XXIII (Chorrillo), núcleo situado en el Mediterráneo y con una orientación Sureste. En este núcleo, los plantones se localizaron en sustrato de roca y con orientación Norte. En Punta Bermeja, núcleo localizado al Oeste, en la vertiente atlántica, se realizaron dos trasplantes con orientación Este y Oeste sobre materiales disgregados. Esta diferente localización pretendía mostrar la incidencia que la diferente localización geográfica podía tener en la supervivencia de los trasplantes, así como determinar si la diferente orientación en una misma zona influía en la supervivencia. Por último, el tipo de sustrato sobre el que se asentaban podía determinar la mayor o menor viabilidad.

Los datos obtenidos manifestaron una mayor supervivencia en Juan XXIII (Chorrillo) (83%) que en Punta Bermeja (Este: 50%; Oeste: 69%). Los dos parámetros diferenciadores fueron la diferente localización geográfica y el tipo de sustrato. En el estudio de ecofisiología llevado a cabo, los núcleos situados al Este tuvieron unos valores de eficiencia fotoquímica potencial menores que los dispuestos al Oeste. Por otro lado, el tipo de sustrato se manifestó como un factor de interés. Las plantas situadas sobre roca manifestaron valores más altos de Fv/

Fp que las situadas en sustrato disgregado. Por tanto, puede ser el tipo de sustrato el que marque las diferencias observadas. Los plantones situados en Juan XXIII (Chorrillo) estaban entre las diaclasas de las rocas y menos expuestos a la acción de la radiación solar.

Con respecto a las diferencias observadas en Punta Bermeja en las dos orientaciones, y puesto que el tipo de sustrato sobre el que se asentaban era el mismo, el factor determinante de la diferente viabilidad ha podido ser el viento. Los vientos de componente Oeste son mayoritarios en Ceuta, y las plantas dispuestas hacia el Oeste recibirían su acción. Este viento en el litoral ceutí aporta humedad y disminuye la temperatura del aire.

La temperatura del aire, del sustrato y de las hojas se mostró diferente en las localizaciones estudiadas, siendo más baja en Punta Bermeja (fig. 6.5). Al comparar las temperaturas del sustrato y de las hojas de las plantas ya establecidas en Juan XXIII con las trasplantadas se apreciaron diferencias significativas, siendo más bajas para las trasplantadas (fig. 6.5). La diferente localización y orientación determinan unas condiciones abióticas más favorables.

Temperaturas más bajas de las hojas se relacionaron con una eficiencia fotoquímica potencial mayor (fig. 6.7). Las diferentes temperaturas del sustrato no tuvieron diferencias significativas entre los núcleos de Punta Bermeja y Juan XXIII (Chorrillo); sin embargo, sí se apreció una diferente Fp/Fm con respecto a la temperatura en la población trasplantada de Juan XXIII (fig. 6.7). Puede estar determinado este diferente comportamiento con las plantas ya desarrolladas en la zona por el menor desarrollo radicular de los plantones, lo que llevaría a una mayor influencia de la temperatura superficial del sustrato.



DISCUSIÓN GENERAL SOBRE EL ESTADO DE *LIMONIUM EMARGINATUM* EN CEUTA

Limonium emarginatum (Willd.) O. Kuntze. De nombre común Saladina o Siempreviva del Estrecho es un endemismo del estrecho de Gibraltar que tiene la figura de protección ‘Vulnerable’ (VU; UICN).

Por su extensión, se puede considerar a Ceuta como el mayor enclave de *L. emarginatum* en el estrecho de Gibraltar, y por tanto del mundo. Hay que tener en cuenta que la distribución de la saladina en Ceuta no es uniforme, apareciendo concentrada principalmente en dos zonas: las proximidades de Benzú y el monte Hacho. Estas subpoblaciones o núcleos podrían estar relacionados genéticamente y formar una estructura metapoblacional. Sin embargo, ambos núcleos principales están realmente bastante aislados genéticamente.

En general, fueron muy pocas las especies que aparecieron junto a *L. emarginatum* debido a las condiciones abióticas potencialmente tan estresantes de los acantilados costeros: aerosol salino que determina salinidades elevadas, la acción de fuertes vientos y un sustrato predominantemente rocoso y frecuentemente con pendientes elevadas donde es difícil anclarse. Estas condiciones determinaron que fueran pocas las especies adaptadas, que existiera poco solapamiento entre la saladina y otras especies acompañantes, y que aparecieran grandes extensiones de sustrato desprovisto de vegetación. Estas características de las poblaciones de la Siempreviva del Estrecho nos indicarían poblaciones saludables en las que la especie estudiada es la dominante y en la que no aparecen otras especies que pudieran desplazarla por competencia interespecífica. Cabe destacar que una de las causas de regresión de *L. emarginatum* en otros enclaves en el litoral de la Península Ibérica es la competencia con otras especies tras procesos de degradación de su hábitat, como la ruderalización y nitrificación debido al pastoreo.

Aunque el estado de *L. emarginatum* en Ceuta es actualmente bueno en los núcleos existentes es muy importante tener en cuenta con vistas a su conservación que su distribución está muy restringida a determinados enclaves. Así, se recomienda que se establezca un seguimiento continuo, con al menos periodicidad anual, que evalúe el estado de conservación de los diferentes núcleos de *L. emarginatum*. Además, será especialmente importante contemplar en el Estudio de Impacto Ambiental, y en todo el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, los impactos ambientales que pudieran conllevar los proyectos mencionados anteriormente y desarrollados en las zonas de distribución de la saladina. En este sentido, *L. emarginatum* puede ser utilizado como un bioinformador del estado de conservación de los acantilados ceutíes. De manera que cuando haya una regresión de sus poblaciones nos informará de que las condiciones ambientales típicas de los acantilados se han visto alteradas.

El estudio genético de los núcleos de Ceuta manifiesta que existen dos zonas diferenciadas en cuanto a diversidad genética. Estas zonas se entienden dentro del contexto del estrecho de Gibraltar donde se extiende *Limonium emarginatum*. La relación existente con los núcleos al otro lado del Estrecho nos determina una colonización que ha sabido saltar la barrera natural que constituye el mar que separa ambos continentes. La posible discusión de dónde se originó este endemismo no tiene fácil solución. Si atendemos a la variabilidad encontrada en cada una de las zonas estudiadas en el Estrecho, la Isla de las Palomas (Tarifa) presentó tres patrones diferentes y por tanto el núcleo que estableció mayor relación.

Las relaciones observadas fueron las siguientes:

- Isla de las Palomas con Punta Carnero, Punta Chorlito, Guadalmesí, Punta Camarinal y Ceuta.
- Ceuta con la Isla de las Palomas y el peñón de Gibraltar.
- Punta Camarinal con Punta Chorlito.
- Punta Paloma con Los Lances.

Las vías de migración posibles pueden ser varias: a través del viento, a través del mar o a través de las aves en migración. Los fuertes vientos del Estrecho pueden tener un papel importante en la dispersión de las semillas. Este factor podría explicar las relaciones que encontramos en algunos núcleos. La zona este del litoral ceutí podría haberse desarrollado a partir de un núcleo inicial y extendida por la acción de los vientos. Las relaciones de la Isla de las Palomas con otros núcleos de la costa europea podría deberse también a este factor. Con respecto al salto del estrecho de Gibraltar, sin menoscabo de otras posibilidades se presenta como viable la dispersión debida a la migración de aves. El estrecho de Gibraltar

es uno de los tres pasos de aves de Europa hacia África por donde cientos de miles de aves realizan su travesía dos veces al año. Las diferentes rosa de los vientos a ambos lados del Estrecho nos puede llevar a considerar como menos probable a este factor. Una tercera posibilidad sería la debida a las corrientes marinas. Es la más improbable de todas, pero dada la capacidad de dormancia de las semillas en ambientes salinos y la posterior capacidad de germinación con unas condiciones más favorables, este factor debiera tenerse en cuenta.

Los núcleos estudiados se sitúan a lo largo de la costa ceutí con una dirección Oeste-Este. Los núcleos situados hacia el Oeste presentan una mayor tasa de supervivencia, y esta supervivencia disminuye conforme nos desplazamos hacia el Este. Punta Benzú, núcleo más occidental, posee la mayor supervivencia (59%) y la menor tasa de mortalidad. Desnarigado, núcleo más oriental, posee la menor supervivencia (0%) y la mayor tasa de mortalidad.

Los vientos de componente Oeste son mayoritarios en Ceuta, vientos que proceden del mar y por tanto con mayor humedad relativa del aire (fig. 4.2). Los núcleos situados en el Oeste presentaron una mayor viabilidad de las plántulas germinadas que puede estar determinado por el aporte de agua que generasen los vientos. Estas mismas observaciones se han realizado en la costa europea del Estrecho, aunque en este caso el viento dominante es del Este.

La temperatura del aire fue menor con viento de componente Oeste, y mayor con viento de componente Este (fig. 4.15).

El tipo de sustrato se presentó como un elemento significativo en la germinación y supervivencia de las semillas germinadas. En Punta Benzú y Playa San Amaro se observaron valores de mayor natalidad (fig. 4.9c) y supervivencia (fig. 4.13d) respecto a los demás núcleos, siendo la roca el sustrato dominante en estos núcleos. En los demás núcleos el sustrato estuvo formado por roca y elementos disgregados. Este aspecto ha sido observado en las poblaciones situadas al otro lado del Estrecho. De igual forma, en cada núcleo, los ejemplares están orientados mayoritariamente al Oeste. Esa situación a favor de la incidencia del viento de componente Oeste nos indica el carácter benefactor de este viento sobre los ejemplares.

Los meses en los que se ha detectado una mayor mortalidad se corresponden con los de marzo y agosto (fig. 4.10). En marzo hubo un descenso en las precipitaciones y las plántulas germinadas en febrero se encontraron en situaciones de estrés hídrico. En agosto se acentuaron las condiciones de estrés hídrico debido no solo a la falta de precipitaciones, sino al aumento de la temperatura del aire (fig. 4.13).

A lo largo del estudio realizado las precipitaciones han sido más escasas que en años anteriores. Esto ha determinado una menor tasa de germinación en las semillas de *L. emarginatum* como se ha podido observar en la Isla de las Palomas en Tarifa. En Playa San Amaro la germinación ha sido alta en relación a los demás núcleos y la mortalidad también. Es una manifestación del carácter densodependiente (fig. 4.19). La competencia por el sustrato determina una menor viabilidad de las semillas germinadas.

La población neta máxima se encontró en febrero de 2007, al inicio de la investigación, y la mínima en agosto de 2007 (fig. 4.8). Estos datos concuerdan con los encontrados en Tarifa para años anteriores.

La eficiencia fotoquímica potencial en los núcleos estudiados nos mostró que en los meses de marzo y junio se alcanzó el mejor estado fisiológico, y en agosto las condiciones más estresantes (figs. 5.1, 5.2 y 5.3). Se observó una variación de la eficiencia fotoquímica potencial en la época estival, siendo los valores obtenidos en los núcleos del Este (Mediterráneo) más bajos que los dispuestos al Oeste (Atlántico). Con las primeras lluvias hubo una recuperación de los valores obtenidos a excepción del núcleo del Desnarigado (Este), donde no se alcanzó la total recuperación, pues los valores obtenidos fueron menores a los de la primavera (fig. 5.2b).

Con respecto a la fluorescencia pico se apreciaron valores más altos en los núcleos dispuestos al Oeste que en el Este (figs. 5.6 y 5.7). Al relacionar la eficiencia fotoquímica potencial y la fluorescencia pico, los núcleos dispuestos al Oeste presentaron unas pendientes de las rectas de regresión menores que los dispuestos al Este (figs. 5.4 y 5.5). Con respecto a la fluorescencia basal, los valores que se encontraron en los núcleos dispuestos al Este fueron mayores que en el Oeste. Una fluorescencia basal más alta y una fluorescencia pico más baja en los núcleos del Este se correspondería con un peor estado fisiológico que los núcleos del Oeste, donde la fluorescencia basal es más baja y la fluorescencia pico mayor.

La proximidad al mar se encontró significativa respecto al estado fisiológico de las plantas. A más proximidad a la línea de pleamar astronómica, mejor estado fisiológico (fig. 5.8).

La localización geográfica se manifestó como otro factor que determinaba el estado de las plantas. Núcleos dispuestos al Noroeste presentaban una eficiencia fotoquímica potencial mayor que los dispuestos al Sureste (fig. 5.9).

La componente del viento también determinó el estado fisiológico de las plantas. Con viento de componente Oeste, los núcleos dispuestos al Oeste tenían

una eficiencia fotoquímica potencial mayor. Con vientos de componente Este, los núcleos no presentaban diferencias significativas según la longitud (fig. 5.10).

La supervivencia de los trasplantes de plantones de *L. emarginatum* en el litoral ceutí ha oscilado entre un 50% y un 83%. Los hábitats elegidos fueron tres. En Juan XXIII (Chorrillo), núcleo situado en el Mediterráneo y con una orientación Sureste. En este núcleo los plantones se localizaron en sustrato de roca y con orientación Norte. En Punta Bermeja, núcleo localizado al Oeste, en la vertiente atlántica, se realizaron dos trasplantes con orientación Este y Oeste sobre materiales disgregados. Esta diferente localización pretendía mostrar la incidencia que la diferente localización geográfica podía tener en la supervivencia de los trasplantes, así como determinar si la diferente orientación en una misma zona influía en la supervivencia. Por último, el tipo de sustrato sobre el que se asentaban podía determinar la mayor o menor viabilidad.

Los datos obtenidos manifestaron una mayor supervivencia en Juan XXIII (Chorrillo) (83%) que en Punta Bermeja (Este: 50%; Oeste: 69%). Los dos parámetros diferenciadores fueron la diferente localización geográfica y el tipo de sustrato. En el estudio de ecofisiología llevado a cabo, los núcleos situados al Este tuvieron unos valores de eficiencia fotoquímica potencial menores que los dispuestos al Oeste. Por otro lado, el tipo de sustrato se manifestó como un factor de interés. Las plantas situadas sobre roca manifestaron valores más altos de Fp/Fm que las situadas en sustrato disgregado. Por tanto, puede ser el tipo de sustrato el que marque las diferencias observadas. Los plantones situados en Juan XXIII (Chorrillo) estaban entre las diaclasas de las rocas y menos expuestos a la acción de la radiación solar.

Con respecto a las diferencias observadas en Punta Bermeja en las dos orientaciones, y puesto que el tipo de sustrato sobre el que se asentaban era el mismo, el factor determinante de la diferente viabilidad ha podido ser el viento. Los vientos de componente Oeste son mayoritarios en Ceuta, y las plantas dispuestas hacia el Oeste recibirían su acción. Este viento en el litoral ceutí aporta humedad y disminuye la temperatura del aire.

La temperatura del aire, del sustrato y de las hojas se mostró diferente en las localizaciones estudiadas, siendo más baja en Punta Bermeja (fig. 6.5). Al comparar las temperaturas del sustrato y de las hojas de las plantas ya establecidas en Juan XXIII con las trasplantadas se apreciaron diferencias significativas, siendo más bajas para las trasplantadas (fig. 6.5). La diferente localización y orientación determinan unas condiciones abióticas más favorables.

Temperaturas más bajas de las hojas se relacionaron con una eficiencia fotoquímica potencial mayor (fig. 6.7). Las diferentes temperaturas del sustrato

no tuvieron diferencias significativas entre los núcleos de Punta Bermeja y Juan XXIII (Chorrillo); sin embargo, sí se apreció una diferente F_p/F_m con respecto a la temperatura en la población trasplantada de Juan XXIII (fig. 6.7). Puede estar determinado este diferente comportamiento con las plantas ya desarrolladas en la zona por el menor desarrollo radicular de los plantones, lo que llevaría a una mayor influencia de la temperatura superficial del sustrato.



Limonium emarginatum en Punta Almina

Limonium Emarginatum en Ceuta



Limonium emarginatum en Desnarigado

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, P., 1990. *Salt marsh Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Adam, P., 1981. The Vegetation of British (UK) saltmarshes. *New Phytology*, 88, pp. 143-196.
- Asensi Marfil, A., 1984. *Limonietum emarginati* (Crithmo-Limonion) nueva asociación para los sectores gaditano y tingitano. *Documents Phytosociologiques*, 5, vol. VIII, pp. 455-465.
- Castellanos, E. M., Figueroa, M. E. & Davy, A. J., 1994. Nucleation and facilitation in salt-marsh succession - interactions between *Spartina maritima* and *Arthrocnemum perenne*. 'Journal of Ecology', 82 (2), pp. 239-248.
- Castillo, J. M., Fernández-Baco, L., Castellanos, E. M., Luque, C. J., Figueroa, M. E. & Davy, A. J., 2000. Lower limits of *Spartina densiflora* and *S. maritima* in a Mediterranean salt marsh determined by different ecophysiological tolerances. *Journal of Ecology*, 88, pp. 801-812.
- Castillo, J. M., 2001. *Ecología y fisiología comparadas de Spartina maritima y Spartina densiflora en marismas mareales mediterráneas. Aplicaciones al control y la prevención de la erosión en las marismas del Odiel*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- Castroviejo, S. et al., 1993. *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e islas Baleares*. Real Jardín Botánico, CSIC.
- Chamorro, S. y Nieto, M., 1989. *Síntesis geológica de Ceuta*. Ilustre Ayuntamiento de Ceuta. Servicio de Publicaciones de la Concejalía de Cultura.
- Chapman, V. J., 1976. *Coastal Vegetation* (2ª edición). Pergamon Press.
- Crespo, M. B., De la Torre, A. & Costa, M., 2003. Plant communities of Crithmo-Station Molinier 1934 (Class Crithmo-Staticetea Br.-Bl. in Br.-Bl., Roussine & Negre 1952) in the Iberian Peninsula and the Balearic Isles. *Phytocoenologia*, 33 (2-3), pp. 527-559.
- De León et al., 1989. *Caracterización agroclimática de la provincia de Cádiz*. Ministerio de Agricultura y Pesca, pp. 101-125.
- Fernández-Palacios Carmona, A. et al., 1988. *Guías naturalistas de la provincia de Cádiz. I. El Litoral*. Edita Diputación Provincial de Cádiz.

- Figueroa, M. E., 1980. *Ecología de los pastizales de la cuenca del río Guadalupejo (Cáceres-Badajoz). Tipificación y relación con los complejos edáficos y fluctuaciones temporales*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- Figueroa, M. E. et al., 2003. Diversidad Genética y Diversidad Ecológica. *Medioambiente*, 42, pp. 56-61.
- Garzón, O., Castillo, J. M. y Figueroa, M. E., 2005. *Descripción ecológica de las poblaciones de Limonium emarginatum en el estrecho de Gibraltar*. VI Jornadas de Flora, Fauna y Ecología del Campo de Gibraltar.
- Garzón, O., Castillo, J. M. y Figueroa, M. E., 2007. *Creación de una nueva población de la especie protegida Limonium emarginatum en el litoral del estrecho de Gibraltar*. VII Jornadas de Flora, Fauna y Ecología del Campo de Gibraltar.
- Garzón, O., Castillo, J. M. y Figueroa, M. E., 2004. Aproximación Ecológica al Estado de Conservación de las Poblaciones de *Limonium emarginatum*, un Endemismo del estrecho de Gibraltar. *Revista de la Sociedad Gaditana de Historia Natural*.
- Gerowitt, B. y Bodendorfer, H. Long-term population development of *Viola arvensis* Murray in a crop rotation. (2001). II. Modelling population development. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz-Journal of Plant Diseases and Protection*, 108 (3), pp. 269-283.
- Goldsmith, F. B., 1973a. The vegetation of exposed sea cliffs at South Stack. *Journal of Ecology*, 61 (3), pp. 787-818.
- Goldsmith, F. B., 1973b. The vegetation of exposed sea cliffs at South Stack, Anglesey: II. Experimental Studies. *Journal of Ecology*, 61 (3), pp. 787-818.
- Goldsmith, F. B., 1978. Interaction (competition) studies as a step towards the synthesis of sea-cliff vegetation. *Journal of Ecology*, 66 (3), pp. 921-931.
- Graham, L. & Knight, R. L., 2004. Multi-scale comparisons of cliff vegetation in Colorado. *Plant Ecology*, 170 (2), pp. 223-234.
- Gutiérrez, J. M. et al., 1991. *Introducción a la Geología de la provincia de Cádiz*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, pp. 112-128.
- Ibarra, P., 1993. *Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar: un análisis paisajístico integrado*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.
- Jefferies, R. L. & Davy, A. J., 1977. *Ecological Processes in Coastal Environments*. Blackwell Scientific Publications.
- Jusaites, M., Polonka, L. & Sorensen, B., 2004. Habitat specificity, seed germination and experimental translocation of the endangered herb *Brachycome muelleri* (Asteraceae). *Biological Conservation*, 116 (2), pp. 251-266.

Limonium Emarginatum en Ceuta

- Kingston, N. & Waldren, S., 2003. The plant communities and environmental gradients of Pitcairn Island: The significance of invasive species and the need for conservation management. *Annals of Botany*, 92 (1), pp. 31-40.
- Linares, L., Harper, A. & Cortés, J., 1996. *The Flowers of Gibraltar*. Flora Calpensis. Editorial Rueda.
- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O. y Vásquez, V. M., 2004. Facilitative interactions on coastal dunes in response to seasonal weather fluctuations and benefactor size. *Ecoscience*, 11 (4), pp. 390-398.
- Masaki, T., Osumi, K., Takahashi, K. & Hozshizaki, K., 2005. Dynamics of *Acer mono* and *Fagus crenata*: an environmental filter limiting their adult distributions. *Plant Ecology*, 177 (2), pp. 189-199.
- Moragues, E. & Traveset, A., 2005. Effect of *Carpobrotus* spp. on the pollination success of native plant species of the Balearic Islands. *Biological Conservation*, 122 (4), pp. 611-619.
- Mitsch, W. J. & Gosselink, J. G., 1993. *Wetlands* (2ª edición). Van Nostrand Reinhold.
- Painter, R. B., 1976. Climatology and environmental measurement. *Methods in Plant Ecology* (Chapman, S. B. ed.), pp. 349-410. Blackwell.
- Pugnaire, F. I. y Moro, M. J., 2000. Interacciones positivas entre plantas. *Investigación y Ciencia*, 287.
- Ranwell, D. S., 1972. *Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes*. Halsted Press.
- Redondo, S., Mateos, E., Garzón, O. et al., 2008. Effects of Salinity on Germination and Seedling Establishment of Endangered *Limonium Emarginatum* (Willd.) O. Kuntze. *Journal of Coastal Research*.
- Ridley, H. N., 1930. *The dispersal of plants throughout the World*. Reeve, Ashford, Kent.
- Sánchez García, I., 2000. *Flora amenazada del litoral gaditano*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, pp. 120-121.
- Suehs, C. M., Affre, L. & Medail, F., 2004. Invasion dynamics of two alien *Carpobrotus* (Aizoaceae) taxa on a Mediterranean island: II. Reproductive strategies. *Heredity*, 92 (6), pp. 550-556.
- Valdés, B. et al., 1987. *Flora Vascular de Andalucía Occidental*. Vols. 1 a 3. Ketres Editora, S. A.
- Wright, R. G. & Van Dine, G. M., 1976. Environmental factors influencing semideserts grassland perennial grass demography. *The Southwestern Naturalist*, 21 (3), pp. 259-274.

