

## Grao en Bioloxía

### Memoria do Traballo de Fin de Grao

**Efectos da integración clonal nas invasións de sistemas costeiros por *Carpobrotus edulis*: un traballo de campo.**

**Efectos de la integración clonal en las invasiones de sistemas costeros por *Carpobrotus edulis*: un trabajo de campo.**

**Clonal integration effects in the coastal systems invasions by *Carpobrotus edulis*: a field experiment.**



**Natalia García Vázquez**

Setembro, 2018

*Director Académico: Sergio Rodríguez Roiloa  
Codirector: Rodolfo Barreiro Lozano*



# ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>V</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>V</b>
<b>PALABRAS CLAVE.....</b>	<b>VI</b>
<b>PALABRAS CLAVE.....</b>	<b>VI</b>
<b>KEY WORDS.....</b>	<b>VI</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planta invasora .....	1
1.2 Proceso de invasión .....	1
1.3 Problemas que causan.....	2
1.4 Características das plantas invasoras.....	3
<b>2. Obxectivos.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Material e métodos .....</b>	<b>4</b>
3.1 Especie de estudio: <i>Carpobrotus edulis</i> (L.) .....	4
3.2 Deseño experimental.....	5
3.3 Medidas .....	7
3.4 Tratamento estatístico .....	8
<b>4. Resultados.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Discusión .....</b>	<b>11</b>
<b>6a. Conclusións .....</b>	<b>13</b>
<b>6b. Conclusiones .....</b>	<b>13</b>
<b>6c. Conclusions .....</b>	<b>13</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>14</b>



## RESUMO

As especies invasoras son das principais causas da perda de biodiversidade a escala global. Moitas das especies de plantas invasoras máis agresivas do mundo son clonais. Neste experimento estudouse a importancia dos atributos asociados ao crecemento clonal, en particular, a capacidade de integración fisiolóxica na expansión da especie invasora *Carpobrotus edulis* colonizando dous hábitats diferentes: duna costeira e costa rochosa. Os nosos resultados demostran a importancia da integración clonal para a expansión desta especie en termos de biomasa total e de expansión en lonxitude dos fragmentos clonais. Este beneficio da integración clonal foi independente do hábitat invadido; tanto en duna costeira coma en costa rochosa a integración fisiolóxica incrementou a capacidade de crecemento e colonización de *C. edulis*. O estudo dos mecanismos que subxacen nos procesos de invasións biolóxicas son fundamentais para entendelas e para propoñer medidas de erradicación e control das mesmas.

## RESUMEN

Las especies invasoras son de las causas principales de pérdida de biodiversidad a escala global. Muchas de las especies de plantas invasoras más agresivas son clonales. En este experimento se estudió la importancia de los atributos asociados al crecimiento clonal, en particular, la capacidad de integración fisiológica en la expansión de la especie invasora *Carpobrotus edulis* colonizando dos hábitats distintos: duna costera y costa rocosa. Nuestros resultados demuestran la importancia de la integración clonal para la expansión de esta especie en términos de biomasa total y de expansión en longitud de los fragmentos clonales. Este beneficio de la integración clonal fue independiente del hábitat invadido; tanto en duna costera como en costa rocosa la integración fisiológica incrementó la capacidad de crecimiento y colonización de *C. edulis*. El estudio de los mecanismos que subyacen en los procesos de invasión biológicas son fundamentales para entenderlas y para proponer medidas de erradicación y control de las mismas.

## SUMMARY

Invasive species are one of the main causes for biodiversity loss at a global scale. Many of the most aggressive invasive plant species are clonal. In this experiment we study the importance of the attributes associated with clonal growth, in particular, we aim to determine the importance of physiological integration in the expansion of the invasive species *Carpobrotus edulis* colonizing two different habitats: coastal dune and rocky coast. Our results demonstrate the contribution of clonal integration for the expansion of this species in terms of total biomass and growth in length of the clonal fragments. This benefit of clonal integration was not dependent of the invaded habitat; thus, both in coastal dune and the rocky coast, physiological integration increased the growth and colonization capacity of *C. edulis*. The study of the mechanisms underlying the processes of biological invasion are key to understand them and to design eradication and control programs.

## **PALABRAS CLAVE**

*Carpobrotus edulis*, Aizoaceae, invasora, crecimiento clonal, integración fisiológica.

## **PALABRAS CLAVE**

*Carpobrotus edulis*, Aizoaceae, invasora, crecimiento clonal, integración fisiológica.

## **KEY WORDS**

*Carpobrotus edulis*, Aizoaceae, invasive plant, clonal growth, physiological integration.

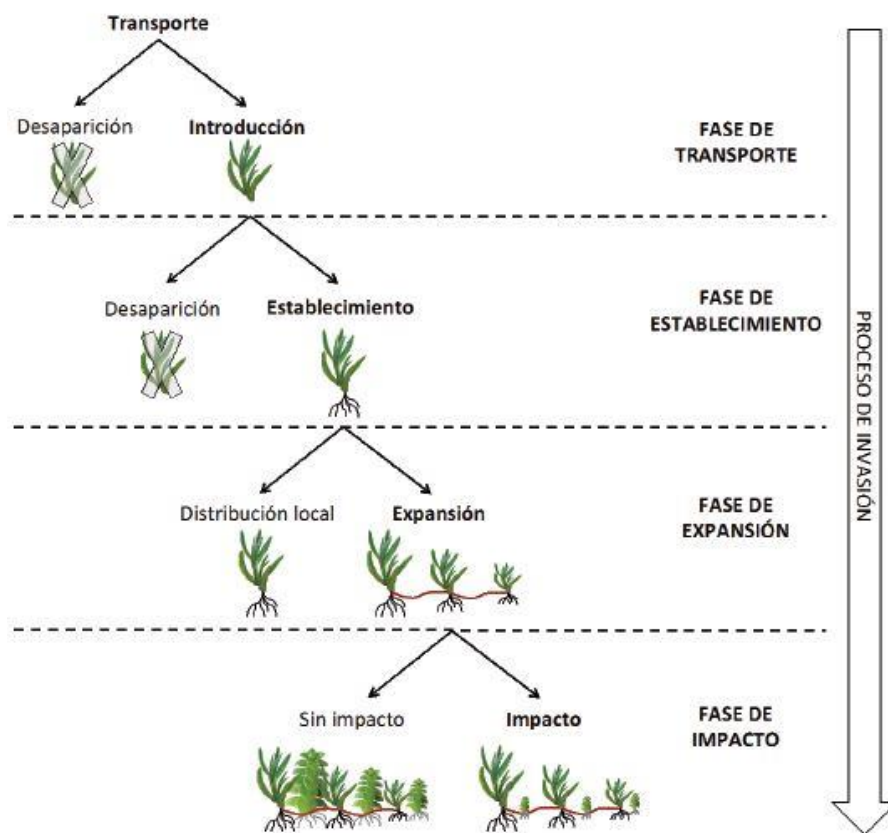
# 1. Introducción

## 1.1 Planta invasora

Hai especies foráneas que se establecen en nun lugar distinto ao de orixe e son capaces de sobrevivir e reproducirse dando lugar a poboacións de pequeno tamaño, denominámolas **exóticas**. Nun primeiro momento dependen da chegada de individuos que sigan mantendo a poboación, cando isto deixa de ocorrer e esta pode manterse por si mesma sen a necesidade de aporte externo de individuos falamos de especies **naturalizadas**. Para dicir que unha especie é **invasora** teríamos que mencionar que esta, ademais do mencionado con respecto ás especies naturalizadas e exóticas, é capaz de propagarse aumentando a súa extensión afectando á estrutura, funcionamento e composición do ecosistema no que se establece (Fagúndez & Barrada, 2007; Roiloa, Campoy & Retuerto, 2015; Portela, 2015). No caso de especies vexetais, son consideradas como invasoras cando nun período menor de tempo de 50 anos se desprazou a 100 metros da zona de establecemento primaria ou, a máis de seis metros en tres anos. Isto depende, respectivamente, de se a súa reprodución é mediante sementes ou se é vexetativa a través de estolóns ou rizomas (Portela, 2015).

## 1.2 Proceso de invasión

A invasión, tamén chamada proceso invasor, poderíamos dividila en catro fases (**Figura 1**).



**Figura 1.** Modelo simplificado das distintas fases do proceso de invasión (modificado de Roiloa, Campoy & Retuerto, 2015).

A primeira das fases sería a de **transporte** onde ben as sementes, rizomas ou fragmentos vexetais son transportados a lugares que poden ser moi distantes do seu punto de orixe. A segunda das fases sería a de **establecemento**, na que a especie invasora é capaz de sobrevivir e reproducirse baixo as novas condicións que atopa na área que está a invadir. A terceira fase sería a de **expansión**, onde a especie invasora alcanzaría unha alta capacidade de crecemento e colonización no novo hábitat que está a ocupar. Na cuarta e última das fases deste proceso, chamada fase de **impacto**, obsérvase se as plantas que se expanden causan efectos prexudiciais no ecosistema no que viven, sendo así invasoras; ou polo contrario coexisten nel sen afectar de xeito negativo ao ecosistema, denominándoas así como naturalizadas. (Roiloa, Campoy & Retuerto, 2015; Lockwood, Hoopes & Marchetti, 2007).

### 1.3 Problemas que causa

Os problemas que causan son de diversa índole (Vilá et al., 2008; Fagúndez & Barrada, 2007):

- Impacto sobre o ecosistema: as especies invasoras poden afectar ás condicións ambientais, á cadea trófica e aos ciclos de nutrientes debido a que son moi competitivas.

- Danos socioeconómicos: estes son ocasionados en medios antrópicos e poden ser innumerables. Dende inmensos cúmulo de malas herbas que fan impracticables moitos lugares de pastoreo e colleita ata aumentar o risco de lumes debido ás plantacións monoespecíficas arbóreas.

- Alerxias: o pole destas que se pode atopar en grandes cantidades provocaría novas alerxias e sensibilidades.

- Toxicidade: algunhas das especies invasoras son capaces de producir substancias tóxicas que persuaden aos depredadores e tamén merman o resto de especies que habitan ese mesmo ecosistema (Vilá et al., 2008; Fagúndez & Barrada, 2007).

- Impacto sobre a flora e fauna autóctona: as invasións biolóxicas son das principais ameazas para as especies autóctonas (Galán, 2008) debido á competencia polos recursos (as invasoras son moito máis agresivas), á produción de diversas substancias químicas que poden ser tóxicas para as plantas que están á súa beira (alelopatía) ou tamén, á hibridación coas especies nativas provocando así contaminación xenética (Novoa, 2012; Fagúndez & Barrada, 2007; Vilá et al., 2008).

Toda esta problemática resúmese na perda de biodiversidade nativa ben dentro dunha poboación ou dun ecosistema.



#### 1.4 Características das plantas invasoras

As plantas invasoras sono debido a certas características que fan que na competencia polos recursos e o hábitat gañen e, finalmente, acaben desprazando ao resto das especies autóctonas. Unha das características das plantas invasoras é a capacidade de crecer moi rápido en pouco tempo, por exemplo, *C. edulis* que é a planta obxecto do noso estudo, chega a medrar ata 40 cm por ano (Guillot, Laguna & Roselló, 2009). Estas adoitan colonizar medios que foron alterados ou degradados (Lobato, 2011).

Outro dos atributos das especies vexetais invasoras é o crecemento clonal e as características asociadas a este como é o caso da integración clonal (integración fisiolóxica). A integración fisiolóxica é a capacidade que teñen as plantas con crecemento clonal para intercambiar recursos (como auga, nutrientes ou fotoasimilados) entre os distintos módulos que conforman o sistema clonal. Esta capacidade de intercambiar recursos a través das estruturas de conexión (como estolóns e rizomas) permite ás plantas clonais ser moi eficientes na súa obtención, así como ter capacidade para amortecer situacións de estrés (como poden ser escaseza de recursos, presenza de competidores ou depredadores) e colonizar de maneira existosa un amplo abano de ambientes (Roiloa, Campoy & Retuerto, 2015; Roiloa et al., 2010).

Unha das características máis relevantes das plantas invasoras é a plasticidade fenotípica. Esta plasticidade consiste na capacidade de que un individuo cun xenotipo determinado poida expresar distintos fenotipos en función do ambiente no que se atope. Isto vaille permitir a adaptación a condicións ambientais que se poida atopar no novo espazo que está a ocupar sen sufrir un proceso de selección natural o que provocaría un tempo de retraso evolutivo e, polo tanto, maior lentitude na colonización do mesmo (Richards et al., 2006).

## 2. Obxectivos

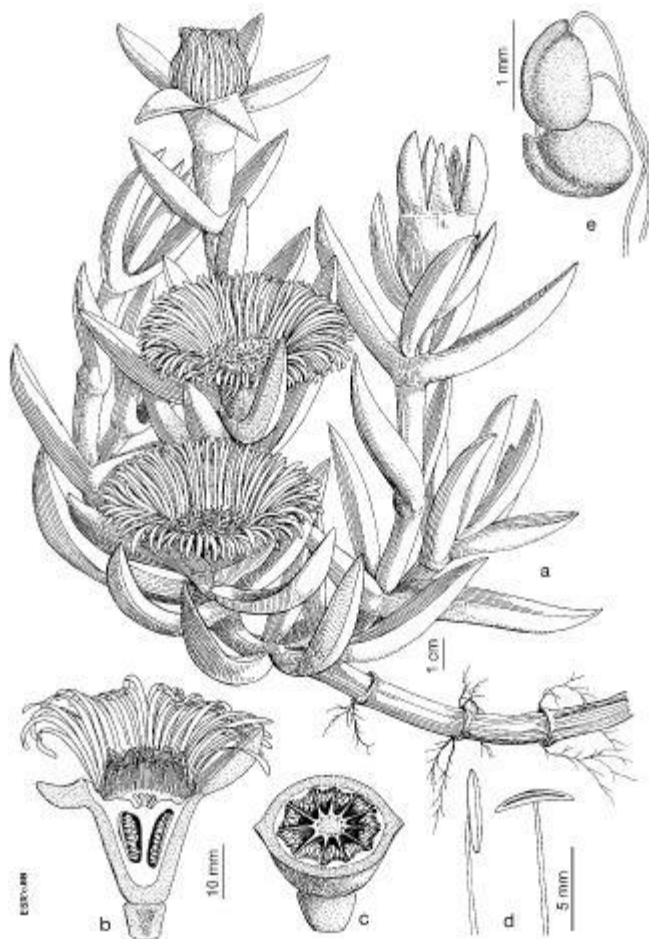
O obxectivo deste traballo é estudar a importancia da integración clonal no crecemento da especie invasora *Carpobrotus edulis*. En particular, preténdese determinar o beneficio da integración clonal en condicións de campo e ver se este beneficio varía en función do hábitat que está colonizando (duna costeira ou costa rochosa). Para isto, seleccionáronse dúas poboacións naturais en ambos tipos de hábitats (tipicamente invadidos por *C. edulis*) e aplicóuselles un tratamento de conexión (a integración clonal é posible) e desconexión (a integración clonal foi inhibida) en fragmentos clonais. A hipótese do noso traballo é que a integración clonal reportará un beneficio para a expansión de *C. edulis* e que este beneficio será especialmente importante nas poboacións que crecen no hábitat máis estresante, é dicir, na costa rochosa, onde a capacidade de enraizamento é máis limitada.

### 3. Material e métodos

#### 3.1 Especie de estudio: *Carpobrotus edulis* (L.)

*Carpobrotus edulis* (L.) pertence á familia Aizoaceae e é a planta invasora obxecto do noso estudo experimental realizado en campo. É unha planta que provén da provincia de Cabo en Sudáfrica e, hoxe en día, podemos atopala como invasora en hábitats costeiros de todo o mundo (Roiloa et al. 2017).

*C. edulis* (**Figura 2**) é herbácea reptante, perenne e con talos enraizantes que se ramifican nos nós. Pode chegar a formar matas moi densas de ata 50 cm de profundidade. As súas ramas son angulosas e poden chegar a medir 1m de lonxitude. As follas son de tipo suculento, triangulares e curvadas, estas emulan a 'uña de gato', nome común co que tamén se designa esta planta; unha vez que finalizaron o seu crecemento, acadan tamaños de entre 8 e 12 cm de lonxitude. A súa cor é verde, no ápice podemos atopar cores avermelladas e constan dunha textura lisa e sen rugosidades. (Fagúndez & Barrada, 2007; Guillot, Laguna & Rosselló, 2009; Castroviejo, 1990)

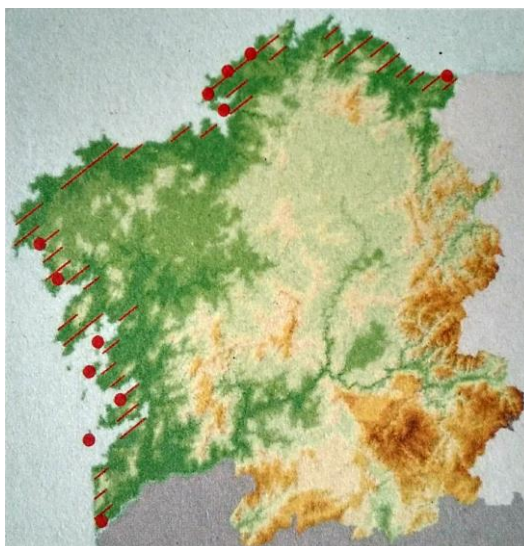


**Figura 2.** Simplificación da lámina de *Carpobrotus edulis* (L.) (Castroviejo, 1990)

A época de floración adoita ser de marzo a agosto e dá lugar a unha flor amarela, solitaria e terminal que é facilmente distinguible, xa que chegan a acadar uns 10 cm de diámetro (Fagúndez & Barrada, 2007; Guillot, Laguna & Rosselló, 2009).

A reprodución é de tipo sexual e asexual, sendo esta última maioritaria e a cal que posibilita que sexa unha invasora tan agresiva. A propagación vexetativa é intensa xa que a planta fragmentábase e estes anacos son capaces de enraizaren e medrar. Unha vez que se establecen poden chegar a crecer ata 40 cm/ano sendo considerada de crecemento moi rápido (Guillot, Laguna & Rosselló, 2009).

É unha especie en clara progresión que ocupa medios costeiros que foron alterados, tanto dunas costeiras coma costas rochosas. Foi introducida para o seu uso en xardinaría pola súa capacidade de fixar o substrato e polas súas flores vistosas, isto non foi exclusivo de *C. edulis*, ocorreu en xeral con *Carpobrotus* spp. así como con outras especies. Na comunidade galega (**Figura 3**) podemos atopala ao longo de toda a costa (Fagúndez & Barrada, 2007).



**Figura 3.** Sinalizadas en liñas e puntos vermellos zonas da costa galega onde podemos atopar *Carpobrotus edulis* (L.) (Fagúndez & Barrada, 2007).

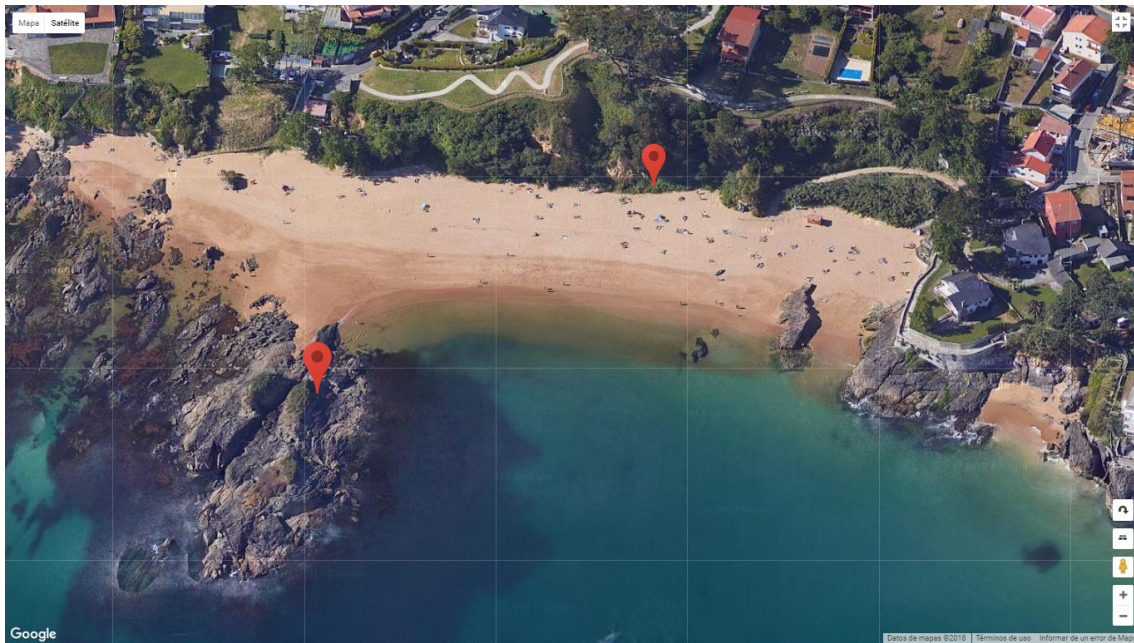
### 3.2 Deseño experimental

O experimento consistiu nun deseño cruzado con dous factores: 'conexión' (conectado e desconectado) e 'hábitat' (duna costeira e costa rochosa). En outubro do 2017 delimitáronse dous hábitats na mesma localización (Praia de Espiñeiro, Mera, A Coruña), un de costa rochosa e outro de duna costeira (**Figura 4** e **Táboa 1**). En cada hábitat seleccionáronse 10 fragmentos clonais de *Carpobrotus edulis* que consistían en catro rametos (individuos) máis apicais. A metade destes foron seleccionados de xeito aleatorio co tratamento de conexión (quedando conectados á parte máis basal do sistema clonal, e polo tanto permanecendo fisioloxicamente integrados, **Figura 5**) (n=5); a outra metade foron asignados ao tratamento de desconexión (sendo cortada a conexión coa parte máis basal do clon mediante o uso dunhas tesoiras e impedindo, polo tanto, o transporte de recursos entres os

distintos rametos impedindo así a integración fisiolóxica, **Figura 6**) (n=5). Todos os fragmentos clonais foron debidamente marcados e utilizáronse piquetas co obxectivo de fixar os fragmentos ao solo e facilitar o seu enraizamento. As plantas creceron durante un total de sete meses ata a finalización do experimento en abril do 2018.

**Táboa 1.** Coordenadas da Praia de Espiñeiro e da Pena de Touro onde estiveron as plantas do noso experimento (Fonte: *Google maps*).

Localización	Latitude	Lonxitude
Praia de Espiñeiro	N 43° 22' 57"	O 8° 20' 33"
Pena de Touro	N 43° 22' 55"	O 8° 20' 36"



**Figura 4.** Imaxe satélite modificada da Praia de Espiñeiro e da Pena Touro onde están sinalados os puntos onde estaban os *Carpobrotus edulis*, as plantas do presente estudo (Fonte: *Google maps*).





**Figura 5.** Imaxe de *C. edulis* co tratamento de 'conexión' marcado coa súa etiqueta identificativa.



**Figura 6.** Imaxe de *C. Edulis* co tratamento de 'desconexión' marcado coa súa etiqueta identificativa e anclado ao chan cunha piqueta.

### 3.3 Medidas

A lonxitude dos fragmentos clonais en cada un dos tratamentos foi determinada con un calibre ao inicio do experimento, e o seu crecemento foi recollido de xeito mensual ata a finalización do mesmo. Ao finalizar o experimento as plantas foron colleitadas en campo, para isto retirouse para cada sistema clonal a parte aérea (follas, estolón e flores de habelas) co seu sistema radicular asociado. Todo este material levouse ao laboratorio onde se procedeu ao seu secado en estufa durante 48 h a 70°C (**Figura 7**). Unha vez que estiveron secas, as mostras pesáronse nunha balanza de precisión (**Figura 8**). Para pesar as plantas pesouse para cada fragmento clonal a parte aérea e a subterránea (raíces) de xeito independente. Para rematar, procedeuse ao cálculo da biomasa total (biomasa aérea + biomasa de raíz) e

tamén da biomasa proporcional destinada á produción radicular (calculada como a relación de masa radicular,  $RMR = \text{biomasa de raíz} / \text{biomasa total}$ ).



**Figura 7.** Estufa con sobres individuais e numerados cos rametos de *C. edulis* no seu interior para secaren e quedarmos soamente coa masa vexetal.



**Figura 8.** Báscula de precisión no momento da pesaxe dun dos rametes de *C. edulis* obxecto de estudo.

### 3.4 Tratamento estatístico

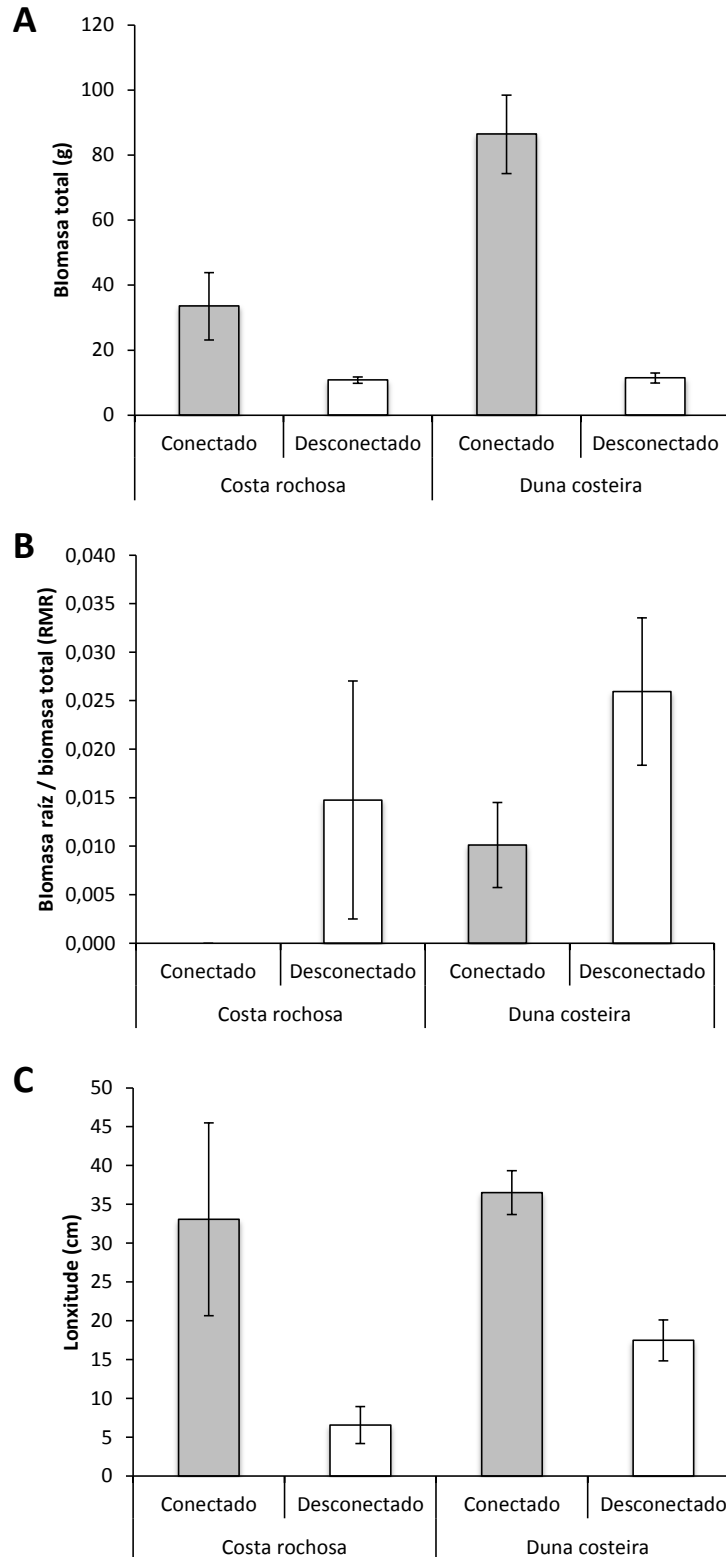
Unha vez obtidos os datos e previamente á análise estatística dos mesmos, procedeuse á comprobación de que estes cumprían os requisitos de normalidade (test de Kolmogorov-Smirnov) e homoxeneidade de varianza (test de Levene). Como consecuencia disto, a biomasa total foi transformada no seu inverso ( $1/X$ ), mentras que a lonxitude foi transformada no seu logaritmo en base 10 ( $\text{Log}_{10}X$ ). Os datos foron analizados mediante unha análise de varianza con dous factores cruzados: 'hábitat' e 'conexión' (test de ANOVA de dúas vías). O nivel de significación aceptado foi de  $P < 0.05$ . Os estatísticos foron realizados co programa IBM SPSS Statistics 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

## 4. Resultados

Os nosos resultados amosaron un efecto significativo do tratamento de 'conexión' para as variables de biomasa total e lonxitude dos fragmentos clonais (ver **Táboa 2** para resultados). Pódese ver así, que en ambos hábitats, os rametos que permanecen conectados aumentaron de xeito significativo tanto a súa biomasa total como a súa lonxitude (ver **Figura 9A** e **Figura 9B**). Por outra banda, a desconexión provocou un incremento da biomasa proporcional que os rametos destinaron á produción de raíces, tanto en hábitats de duna costeira coma de costa rochosa (ver **Figura 9B**). Agora ben, este cambio na produción de biomasa provocado pola conexión non foi estatisticamente significativo (**Táboa 2**). No referente ao hábitat, os valores medios apuntan a un maior crecemento en termos de biomasa total nas dunas costeiras, en comparación cos valores obtidos na costa rochosa. A pesar desta tendencia, os resultados dos tests estatísticos non amosaron un efecto significativo do factor hábitat para esta variable. Non atopamos un efecto significativo da interacción entre conexión e hábitat (hábitat x conexión) para ningunha das variables que se estudaron no devandito experimento (ver **Táboa 2**) o que indica que o efecto da conexión foi indiferente no hábitat onde as plantas medran.

**Táboa 2.** Resultado do ANOVA de dúas vías para as variables biomasa total, biomasa proporcional destinada ás raíces (calculada como biomasa de raíz / biomasa total, RMR) e lonxitude do fragmento clonal, con 'hábitat' e 'conexión' como factores principais (ver **Figura 9** para datos).

Efecto	Biomasa total			RMR			Lonxitude		
	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Hábitat	1	2.544	0.145	1	2.210	0.171	1	4.437	0.064
Conexión	1	47.712	<b>&lt;0.001</b>	1	4.554	0.062	1	10.852	<b>0.009</b>
Habitat x conexión	1	1.437	0.261	1	0.005	0.943	1	1.352	0.275
Erro	9			9			9		



**Figura 9.** Valores medios ( $\pm$  erro estándar) da biomasa total en g (**A**), biomasa proporcional destinada a raíces (calculada como biomasa de raíz / biomasa total, RMR) (**B**) e lonxitude do fragmento clonal en cm (**C**) para os tratamentos de conexión e desconexión dos rametos crecendo en costa rochosa e duna costeira (ver **Táboa 2** para ANOVA)



## 5. Discusión

Á vista dos resultados obtidos no noso estudo demóstrase un beneficio da integración clonal en termos de biomasa total e crecemento en lonxitude dos fragmentos clonais. A integración clonal, tamén denominada integración fisiolóxica, permite o transporte de diferentes recursos (auga, nutrientes e fotoasimilados) entre individuos (rametos) conectados dun sistema clonal. O transporte destes recursos a través de estolóns ou rizomas, adoita producirse desde os individuos basais xa establecidos cara os individuos máis apicais que comezan a colonizar un novo espazo. Tamén é común o transporte de recursos desde individuos que crecen en condicións favorables cara individuos establecidos en condicións de estrés (escaseza de recursos ou acción de depredadores) o que permite aos sistemas clonais colonizar ambientes desfavorables que dificilmente serían ocupados por plantas independentes (Roiloa & Retuerto 2006). Estudos previos tamén demostraron beneficios da integración clonal na expansión de *Carpobrotus edulis*. Así mesmo, Lechuga-Lago et al. 2016, demostraron que a integración fisiolóxica beneficia a expansión de *C. edulis* en ambientes afectados por estrés hídrico. Por outra parte, Roiloa et al. 2010, mostraron nun experimento de campo que a integración clonal permite a colonización de dunas costeiras por *C. edulis*, e que o beneficio da integración é especialmente claro en condicións de competencia con especies nativas. Rodríguez et al. 2018, tamén demostraron que a integración clonal beneficia á expansión de *C. edulis*, amortecendo o estrés provocado pola depredación herbívora.

En contra do esperado, o beneficio da integración clonal en termos de biomasa total, non foi máis acentuado nos individuos crecendo en costa rochosa que naqueles que o facían en duna costeira. A nosa hipótese baseábase no razoamento de que a costa rochosa é un ambiente máis estresante onde os individuos apicais que realizaban a súa expansión terían máis problemas para establecerse e, polo tanto, serían máis dependentes dos recursos enviados dende a parte basal do clon, xa establecida, a través da integración fisiolóxica. Non obstante, no noso estudo, o beneficio da integración clonal non variou en función do hábitat invadido. Este resultado indica que o custo da desconexión (ausencia de integración clonal) foi similar en ambos hábitat, polo que o beneficio da integración clonal non variou en función do hábitat invadido. Este resultado indica que o custo da desconexión (ausencia de integración clonal) foi similar en ambos hábitats.

O noso estudo demostra que a integración clonal favorece a expansión da especie invasora *Carpobrotus edulis*, tanto en hábitats de duna costeira coma en hábitats de duna rochosa. Atributos asociados ao crecemento clonal das plantas, como é o caso da integración clonal, foron sinalados como características que poden favorecer a capacidade invasora das plantas, de feito, moitas das especies de plantas máis invasoras amosan propagación clonal (Roiloa, Campoy & Retuerto, 2015; Yu et al. 2016).

A pesar de que a relación de biomasa destinada a raíz (RMR) non foi estatisticamente significativa para ningún dos factores estudados si que se pode observar unha significación marxinal ( $P = 0.062$ , **Táboa 2**) para o tratamento de 'conexión'. Así, a desconexión provocou un incremento da

biomasa proporcional destinada a raíz dos rametos apicais, tanto en costa rochosa coma en duna costeira. Isto pódese interpretar en termos de integración fisiolóxica e división do traballo en plantas clonais. A división do traballo en plantas clonais consiste na especialización dos distintos individuos do sistema clonal nas diferentes tarefas de adquisición de recursos (Roiloa et al. 2014). Así, os rametos apicais que permanecen 'conectados' (integración clonal permitida) poden reducir a produción de raíces xa que os nutrientes son transportados desde os individuos (rametos) basais xa establecidos. Esta división de tarefas, permítelle á parte apical do clon reducir o custo en produción radicular e poder dedicar tódolos recursos ao crecemento da parte aérea (produción de novos rametos) e así, proseguir coa invasión.

En relación á lonxitude e a pesar de que os resultados non foron estatisticamente significativos si que hai unha significación marxinal para a variable hábitat ( $P = 0.064$ , **Táboa 2**). Á vista dos resultados podemos observar que hai un patrón de crecemento amosando unha maior capacidade de expansión, tanto de individuos desconectados coma de conectados nas dunas costeiras. Isto pode ser debido a que é un hábitat menos estresante e con menor exposición que a costa rochosa (ver **Figura 4**). Nas dunas costeiras, a dispoñibilidade de nutrientes para a produción de raíces permítelle aos fragmentos clonais unha maior posibilidade de se estableceren e de se expandir. Así mesmo, Roiloa et al. 2010, demostraron que a integración clonal favorece la expansión de *C. edulis* en un hábitat de duna costeira.

## 6a. Conclusións

No presente estudo demostrase a importancia da integración clonal para a expansión da especie invasora *Carpobrotus edulis* en termos de biomasa total e expansión en lonxitude dos fragmentos clonais. Este beneficio da integración clonal foi independente do hábitat invadido; tanto en duna costeira coma en costa rochosa os individuos que permaneceron conectados incrementaron a súa capacidade de expansión.

O estudo dos mecanismos que permiten ás plantas invasoras colonizar novos ambientes son a clave para entender os procesos de invasións biolóxicas, así como para atallar futuros problemas e poder así establecer actuacións para o seu control e erradicación.

## 6b. Conclusiones

En el presente estudio se demuestra la importancia de la integración clonal para la expansión de la especie invasora *Carpobrotus edulis* en términos de biomasa total y de expansión en longitud de los fragmentos clonales. Este beneficio de la integración clonal fue independiente del hábitat invadido; tanto en duna costera como en costa rocosa los individuos que permanecieron conectados incrementaron su capacidad de expansión.

El estudio de los mecanismos que les permiten a las plantas invasoras colonizar nuevos ambientes son la clave para entender los procesos de invasiones biológicas, así como para atajar futuros problemas y poder así establecer programas para su control y erradicación.

## 6c. Conclusions

This study demonstrates the contribution of clonal integration for the expansion of the invasive species *Carpobrotus edulis* in terms of total biomass and growth in length of the clonal fragments. The benefit of clonal integration was not dependent of the invaded habitat; both, in the coastal dune and on the rocky coast, physiological integration increased the growth and colonization capacity of *C. edulis*.

Studying the mechanisms that allow invasive plants to colonize new environments is key to understand the processes of biological invasions, as well as to prevent future problems and to design programs for their control and eradication.

## 7. Bibliografía

- Castroviejo, S., Aedo, C., Cirujano, S., Laínz, M., Montserrat, P., Morales, R., Muñoz Garmendia, F., Navarro, C., Paiva, J. & Soriano, C. (eds). (1990). Flora ibérica, Vol. II. *Real Jardín Botánico, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid*, 952 pp.
- Fagúndez, J. & Barrada, M. (2007). *Plantas invasoras de Galicia: Biología, distribución e métodos de Control*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia, Dirección Xeral de Conservación da Natureza, 209 pp.
- Galán, Pedro (2008). Efecto de la planta invasora *Carpobrotus edulis* sobre la densidad del eslizón tridáctilo (*Chalcides striatus*) en una localidad costera de Galicia, *Bol. Asoc. Herpetol. España*, 117–121.
- Guillot, D. O., Laguna, E. L. & Rosselló, J. A. P. (2009). Flora alóctona suculenta valenciana: Aizoaceae y Portulacaceae. *Monografías de la revista Bouteloua*, nº7. 68 pp.
- Lechuga-Lago, Y., Sixto-Ruiz, M., Roiloa, S. R., & González, L. (2016). *Clonal integration facilitates the colonization of drought environments by plant invaders*. *AoB PLANTS*, 8. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw023>
- Lobato, I. (2011). *Invasiones Biológicas: diagnosis y solución*. ArtGerust, Torrejón de la Calzada, Madrid, 171 pp.
- Lockwood, Julie L., Hoopes, Martha F. & Marchetti, Michael P. (2007). *Invasion ecology*. Blackwell, Massachussets, 304 pp.
- Novoa Pérez, A. (2012). *Carpobrotus edulis* (L.) N. E. Br.: una amenaza para la conservación de los ecosistemas duranes costeros. *Tesis Doctoral, Universidad de Vigo, España*, 204 pp.
- Portela, Rubén (2015). Importancia de la integración clonal en los procesos de invasiones biológicas: un trabajo experimental con *Carpobrotus* sp. *Trabajo Fin de Máster, Universidade de A Coruña, España*, 40 pp.
- Richards, C. L., Bossdorf, O., Muth, N. Z., Gurevitch, J., & Pigliucci, M. (2006). *Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions*. *Ecology Letters*, 9(8), 981–993. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00950.x>
- Rodríguez, J., Calbi, M., Roiloa, S. R. & González, L. (2018). Herbivory induced non- local responses of the clonal invader *Carpobrotus edulis* are not mediated by clonal integration. *Science of the Total Environment* 633, 1041–1050

- Roiloa, S. R., Abalde, S., Xu, C., & López, L. Ú. A. (2017). The effect of stolon fragmentation on the colonization of clonal invasive *Carpobrotus edulis* in a coastal dune system: a field test, 460–465. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12157>
- Roiloa, S. R., Campoy, J. G., & Retuerto, R. (2015). Importancia de la integración clonal en las invasiones biológicas. *Ecosistemas*, 24(1) 76–83.
- Roiloa, S. R. & Retuerto, R. (2006). *Physiological integration ameliorates effects of serpentine soils in the clonal herb Fragaria vesca*. *Physiologia Plantarum* 128 (4), 662-676
- Roiloa, S. R., Rodríguez-Echeverría, S., de la Peña, E., & Freitas, H. (2010). Physiological integration increases the survival and growth of the clonal invader *Carpobrotus edulis*. *Biological Invasions*, 12(6), 1815–1823. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9592-3>
- Roiloa, S. R., Rodriguez-Echeverria, S., Lopez-Otero, A., Retuerto, R., & Freitas, H. (2014). Adaptive plasticity to heterogeneous environments increases capacity for division of labor in the clonal invader *Carpobrotus edulis* (Aizoaceae). *American Journal of Botany*, 101(8), 1301–1308. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400173>
- Vilá, M., Valladares, F., Traveset, A., Santamaría, L., & Castro, P. (2008). Invasiones biológicas. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid*, 215 pp.
- Yu, F. H., Roiloa, S. R. & Alpert, P. (2016). Editorial: Global Change, Clonal Growth, and Biological Invasions by Plants. *Plant Science* 7, 1467