

Preprint

**Pertenencia institucional****Resumen****Palabras clave:****Correspondencia****Abstract****ORCID****Key words:**

Morfología de las especies invasoras *Carpobrotus edulis* (L) N.E.Br y *Carpobrotus acinaciformis* (L) L.Bolus y su propagación en el noroeste de España

*Morphology of the Invasive Species *Carpobrotus edulis* and *Carpobrotus acinaciformis* and Their Spread in Northwest spain*

Mateo Pasantes Campaña

Correo-e: mateopasantesc@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-5017-1824>

Resumen

Diferenciar morfológicamente especies cercanas puede resultar complicado. El género *Carpobrotus*, que incluye numerosas especies distribuidas globalmente, presenta este desafío. En el noroeste de España, varios estudios identifican sólo una especie, *Carpobrotus edulis*. Sin embargo, en este trabajo se han diferenciado dos especies en la región y se proporcionan pautas claras para su identificación.

Además, se lleva a cabo un análisis exhaustivo sobre la expansión de estas especies a lo largo de los años en la zona, ofreciendo información visual detallada sobre el avance de estas plantas invasoras. Este análisis no sólo permite entender mejor la dinámica de la invasión, sino también desarrollar estrategias de manejo y control más efectivas. La combinación de identificación precisa y el seguimiento temporal de la distribución de *Carpobrotus sp.* en el noroeste de España constituye una herramienta crucial para la gestión de estas especies invasoras y la protección de la biodiversidad local.

Palabras clave: *Carpobrotus*; invasora; propagación; morfología.

Abstract

Morphologically differentiating closely related species can be difficult. The genus *Carpobrotus*, which includes numerous globally distributed species, presents this challenge. In northwest Spain, several studies identify only one species, *Carpobrotus edulis*. However, in this work two species have been differentiated in the region and clear guidelines for their identification are provided.

In addition, an exhaustive analysis is carried out on the expansion of these species over the years in the area, offering detailed visual information on the advance of these invasive plants. This analysis not only allows us to better understand the dynamics of the invasion, but also to develop more effective management and control strategies. The combination of precise identification and temporal monitoring of the distribution of *Carpobrotus sp.* in the northwest of Spain constitutes a crucial tool for the management of these invasive species and the protection of local biodiversity.

Keywords: *Carpobrotus*, invasive, spread, morphology.

Introducción

Las especies invasoras son una de las principales amenazas y, por lo tanto, de los principales problemas de la pérdida de biodiversidad nativa (Chenot, y otros, 2018). El ser humano es uno de los principales causantes de la expansión de estas especies (di Castri, Hansen, & Debussche, 1990) y, por consiguiente, uno de los principales causantes de la pérdida de biodiversidad nativa de los ecosistemas. Como es evidente, la invasión que pueden llevar a cabo estas especies tiene también grandes repercusiones en la economía, tanto local como a escala autonómica.

Carpobrotus sp. es uno de esos géneros que presentan una alta capacidad de invasión y, por lo tanto, es considerado como uno de los géneros altamente peligrosos y con una alta posibilidad de invasión de grandes zonas (Battisti, Zullo, & Fanelli, 2021). Tanto *Carpobrotus edulis* (L) N.E.Br como *Carpobrotus acinaciformis* (L) L.Bolus son dos especies procedentes de Sudáfrica, pertenecen a la familia Aizoaceae. Ambas cuentan con tres factores clave a la hora de invadir una zona: la alteración del suelo, la herbivoría y la identidad de los competidores. Una alteración del suelo suele ser uno de los principales factores de extensión e invasión de estas especies (D'Antonio, 1993).

Diferenciar ambas especies resulta complicado, debido a la semejanza de ambas en su morfología y a la facilidad de hibridación de las dos especies (Campoy J. G., y otros, 2018). Y algunos estudios hablan de que sólo se encuentra presente una de las dos (*Carpobrotus edulis* (L) N.E.Br) en el noroeste de Galicia (Fagúndez & Barrada, 2007) (Sanz Elorza, Dana Sánchez, & Sobrino Vesperinas, 2004). Otros hablan sobre que la coloración de sus flores no es una característica distintiva de ambas ya que, *Carpobrotus edulis* (L) N.E.Br puede presentar ambas coloraciones (Akeroyd & Preston, Notes on some Aizoaceae naturalized in Europe, 1990) (Akeroyd, y otros, 1993)

En este estudio se diferencian ambas especies, encontradas en dos zonas próximas entre sí del noroeste de Galicia, una de ellas en el faro de Cabo Vilán, el primer faro eléctrico de España (Sánchez García, 2007) y una de las zonas más visitadas de la Costa da Morte y, la otra, situada en Santa Mariña, un pueblo pesquero situado a escasos metros de la duna de Monte Blanco y la Playa de Trece, ambos recogidos en Red Natura 2000. Para ello se analizan diferentes partes de la planta y se comparan, todo ello siguiendo los métodos utilizados en anteriores trabajos científicos (Campoy J. G., y otros, 2018) (Novoa, y otros, 2023) (Lazzeri, 2023).

Además, se estudia la propagación de ambas especies en 6 poblaciones a lo largo de Costa da Morte (noroeste de España), analizando su avance mediante ortofotografías aéreas de años anteriores y su extensión actual mediante recorrido con una aplicación móvil GPS. Esto puede aportar información visual importante sobre la evolución de la especie con el paso de los años en la zona.

Material y métodos

Áreas de estudio

El estudio morfológico se ha realizado en la zona noroeste de Galicia (ver figura 1), en concreto en la Costa da Morte. Donde hay poblaciones de *Carpobrotus* relativamente cercanas entre sí y que muestran diferencias significativas. Una de ellas se encuentra en

Cabo Vilán, en Camariñas. La otra en Santa Mariña, a 7 km y medio del punto anterior en línea recta.

Ambas zonas se encuentran a escasos metros del mar, pero con diferencias en cuanto a la morfología del terreno. En Cabo Vilán encontramos la especie en dos acantilados de pendiente elevada, dos zonas rocosas con apenas sustrato y 3 zonas con sustrato abundante donde compite directamente con *Ulex Europaeus* L.; mientras que, en Santa Mariña, la especie sólo se encuentra en zonas rocosas con escaso sustrato.

Para el análisis de la extensión y comportamiento se estudian varias poblaciones encontradas a lo largo de gran parte de Costa da Morte. 6 poblaciones en total separadas entre sí, abarcando casi todo el recorrido de esta costa antes mencionada.

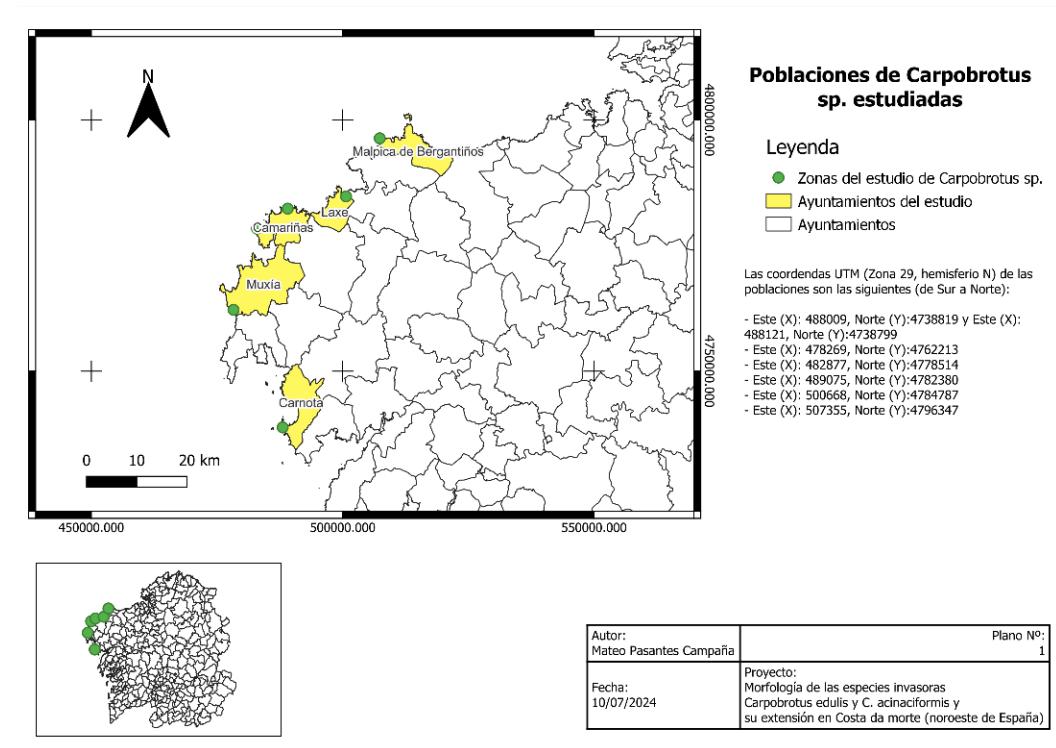


Figura 1. Áreas del estudio

Especies de estudio

Tanto *Carpobrotus edulis* (L) N.E. Br como *Carpobrotus acinaciformis* (L) L. Bolus son de porte rastrero y cuentan con flores solitarias, son clonales, perennes y poseen hojas alargadas y gruesas, ambas con forma tridimensional y sección triangular (Vilá & CM., 1998)

Carpobrotus edulis (L) N.E. Br presenta flores actinomorfas de hasta 12 cm de diámetro, cuenta con numerosos estambres y pétalos y con pistilos en la parte central (puede tener desde 8 hasta 18) (Wisura & Glen, 1993), algunos estudios hablan de que estas flores pueden ser tanto amarillas como rosáceas (Akeroyd, y otros, 1993) (Suehs, Médail, & Affre, 2001). Sus hojas no suelen presentar tanta curvatura como *Carpobrotus acinaciformis* (L) L. Bolus y su sección suele formar un triángulo más o menos equilátero.

Carpobrotus acinaciformis (L) Bolus presenta flores de color magenta, sus hojas tienen forma de cimitarra y suelen presentar cierta curvatura, por lo que, su sección suele formar un triángulo isósceles más o menos pronunciado. Sus hojas suelen tener menor longitud que las hojas de *Carpobrotus edulis* (L) N.E.Br. (Sanz Elorza, Dana Sánchez, & Sobrino Vesperinas, 2004) y su receptáculo suele ser más plano que el de *edulis*, que cuenta con un receptáculo más realzado (Lazzeri, 2023).

Métodos

Para la distinción de ambas especies se analizan varios parámetros morfológicos: la longitud y forma de la hoja, la sección de estas en la mitad de la hoja, el receptáculo y el color de la flor. Para ello, se recogen muestras de las diferentes partes en las zonas de estudio mencionadas con anterioridad. Se siguen las pautas de medición de determinados estudios (Novoa, y otros, 2023) (Campoy J. G., y otros, 2018) (Mifsud, 2021) (Lazzeri, 2023). Se calcula el índice de equilateridad (IE), que no es más que la división del lado más corto entre el lado más largo; de esta forma, los valores más cercanos a 1 denotarían hojas más equiláteras (Trastoy Bello & Rodríguez Roiloa, 2015) y se compara y relaciona su IE con diferentes parámetros de la planta.

En este estudio se han analizado tanto la longitud de la hoja como el índice de equilateridad en más de 100 hojas diferentes. Además, también se han comparado 8 receptáculos de cada especie.

Se hablará indistintamente a la hora de comparar, de especies que presentan flores de color amarillo y especies que presentan flores de color morado. Entendiendo en este trabajo que las primeras se refieren a *Carpobrotus edulis* (L) N.E.Br y las segundas a *Carpobrotus acinaciformis* (L) L. Bolus.

También se analiza la extensión que ha experimentado cada especie a lo largo de los años mediante ortofotografías aéreas, desde su primera aparición hasta el día de hoy. La extensión y progresión se representa en planos y con coloraciones diferentes para los diferentes años que se han analizado. Para este análisis se diferencian dos tipos de zonas: las alteradas por el hombre por medio de labores y/o limpieza y las zonas que no han sufrido una gran alteración en su medio y, por lo tanto, permiten hacer un análisis sobre el crecimiento y extensión de las especies invasoras de este estudio a más “largo” plazo. Las zonas alteradas por medio de cortas y/o desbroces se analizan las imágenes desde la primera aparición, pero teniendo en cuenta su eliminación en años posteriores.

Para esta parte del trabajo se utiliza la herramienta de clasificación supervisada del programa informático QGIS para años anteriores a 2023. Las imágenes actuales se marcan físicamente utilizando un programa gps de marcado de recorrido (SW Maps).

Resultados

Morfología

Ambas especies presentan ciertas diferencias morfológicas que a lo largo de los años se han ido recogiendo en varios trabajos (Novoa, y otros, 2023) (Wisura & Glen, 1993).

Algunas de las más determinantes pueden ser: el largo de las hojas, el índice de equilateridad y la forma del receptáculo entre otras (ver figura 2).



Figura 2. Comparación entre *Carpobrotus acinaciformis* y *Carpobrotus edulis*. Por ese orden, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

En la figura anterior se puede comprobar como la longitud de las hojas es un factor diferencial, siendo las de *C. acinaciformis* menos largas. Al igual que su sección, siendo mucho más irregular que las de la otra especie. Por último, el receptáculo presenta también ciertas diferencias a simple vista, siendo el de *C. edulis* ligeramente convexo, mientras que el de las plantas con flores moradas es totalmente liso.

Para evaluar las diferencias entre las plantas que presentaban flores amarillas y las que presentaban flores moradas en términos de índice de equilateridad y longitud de las hojas, se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas debido a la falta de la homogeneidad de varianzas.

Índice de Equiláteridad (IE)

Se utilizó la prueba de Mann-Whitney U para comparar el índice de equilateridad (IE) entre las plantas que presentaban flores amarillas y las que presentaban flores moradas. Los resultados mostraron un valor del estadístico W de 49 y un valor $p < 0.001$. Esto indica una diferencia estadísticamente significativa en el índice de equilateridad entre las dos flores. Específicamente, el índice de equilateridad fue significativamente diferente, sugiriendo que la forma del corte transversal de las hojas varía entre las especies.

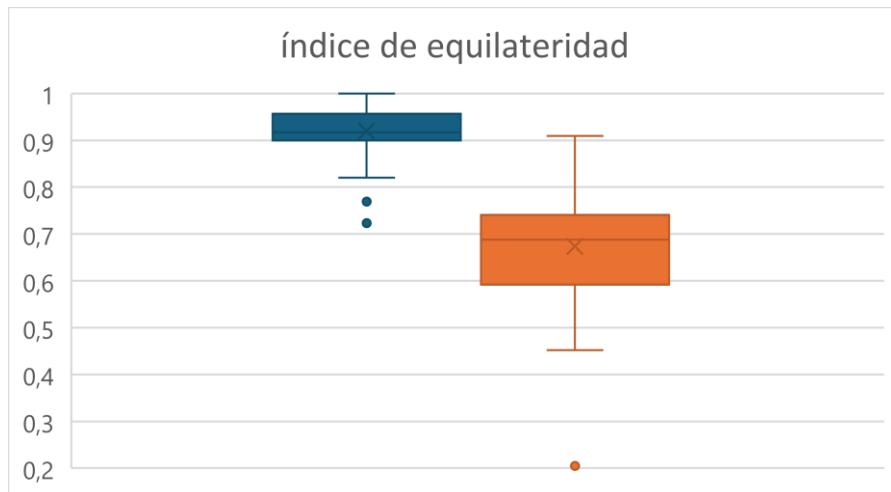


Figura 3. Comparación del índice de equilateridad entre *C. edulis* (azul) y *C. acinaciformis* (naranja)

Se puede ver en la imagen anterior (figura 3) que el menor índice de *C. edulis* es prácticamente uno de los mayores en *C. acinaciformis* pero, sobre todo, se puede apreciar la diferencia entre las medidas de una especie y de otra en lo que IE se refiere, siendo mucho mayor este en la especie que presenta flores amarillas.

Longitud de las Hojas

Para evaluar las diferencias en la longitud de las hojas entre las especies, también se aplicó la prueba de Mann-Whitney U. El valor del estadístico W fue de 244.5, con un valor $p < 0.001$. Este resultado indica una diferencia estadísticamente significativa en la longitud de las plantas que presentan flores amarillas y las que presentan flores moradas. Es decir, la longitud de las hojas también varía significativamente entre las plantas con un color de flores u otro.

A continuación, se puede apreciar la diferencia entre las dos especies (figura 4), contando *C. edulis* con algunas hojas de casi 12 centímetros y estando la mayoría de ellas entre 10 y 9 cm. Mientras que *C. acinaciformis* cuenta con hojas de entre 8 y 7 cm en su gran mayoría y con hojas que pueden llegar hasta los 10 cm.

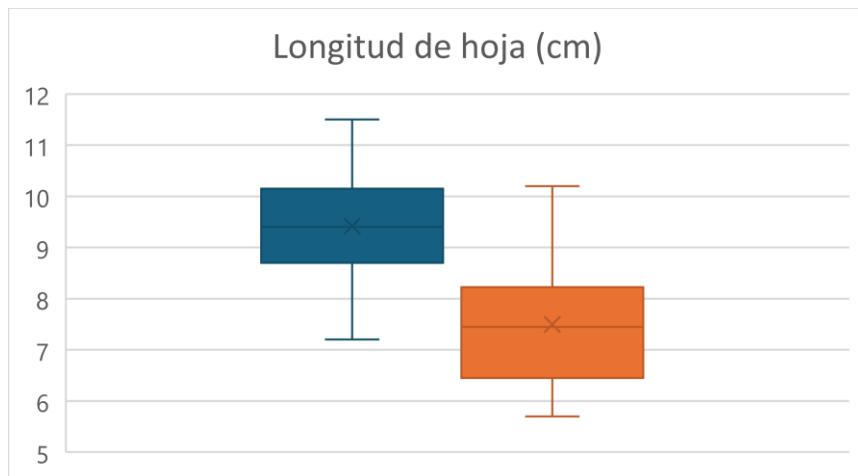


Figura 4. Comparación de la longitud de hoja entre *C. edulis* (azul) y *C. acinaciformis* (naranja)

Los análisis muestran que tanto el índice de equilateridad como la longitud de las hojas presentan diferencias significativas entre las plantas que muestran flores amarillas y las plantas que muestran flores moradas. Estos resultados sugieren que las diferencias morfológicas en las hojas podrían ser útiles para distinguir entre las dos especies en estudios futuros y tienen implicaciones potenciales para la identificación y clasificación de estas plantas. Además de estos dos análisis, todas las plantas analizadas con flores amarillas presentaban un receptáculo convexo, mientras que, todas las plantas con flores moradas presentaban un receptáculo liso. A esto hay que sumarle también que, la floración de *C. acinaciformis* se dio en todos los casos entre marzo y abril, mientras que la floración de *C. edulis* se dio en todos los casos estudiados a finales de junio y principios de julio.

Evolución

Áreas que han sufrido cierta alteración por medio del hombre mediante cortas y/o desbroces

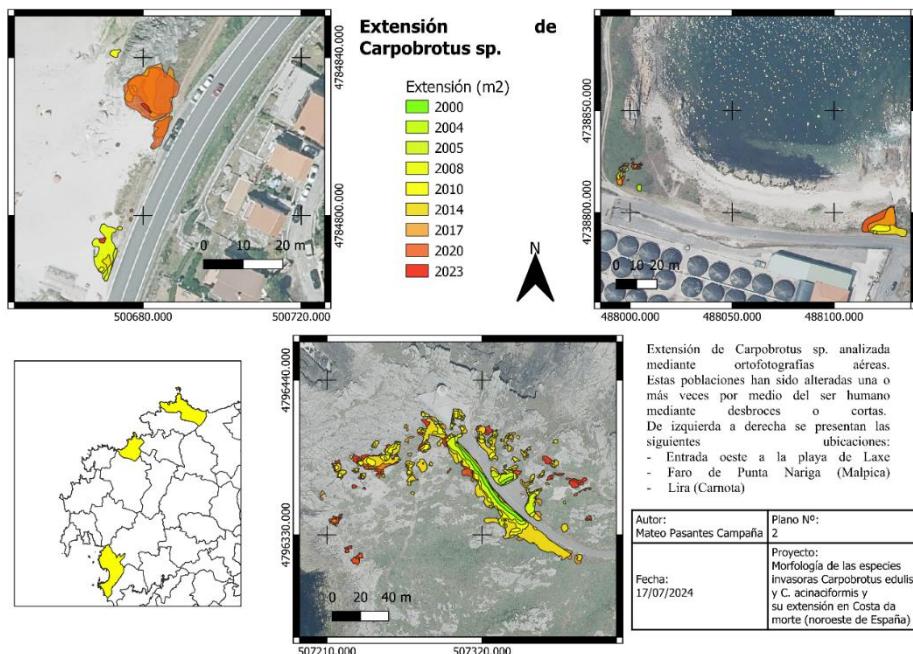


Figura 5. Extensión de *Carpobrotus sp.* en zonas alteradas

Todas las zonas del estudio que aquí se exponen (figura 5) han sido alteradas al menos una vez mediante cortas, desbroces o limpiezas de algún tipo sobre los terrenos estudiados. Las zonas de Laxe y Lira han sido alteradas repetidas veces, mientras que la zona de Punta Nariga (Malpica) ha sido alterada una sola vez, justo meses después de la toma de la ortofotografía de 2017. Es por ello que se puede ver, en los tres casos en el plano, una falta de color rojo o naranja, indicativo de los años más recientes, algo que contrasta con el análisis de las zonas que no han sido modificadas y que se verán en el siguiente apartado de este estudio.

Laxe obtuvo su mayor ocupación de *Carpobrotus sp.* sobre el año 2020, con 150 m², el faro de Punta Nariga (Malpica) vio su máximo en el año 2017 con 2728 m² y Lira obtuvo su máximo en el año 2020 con 183 m².

Áreas que no han sufrido una gran alteración (sin cortas y/o desbroces)

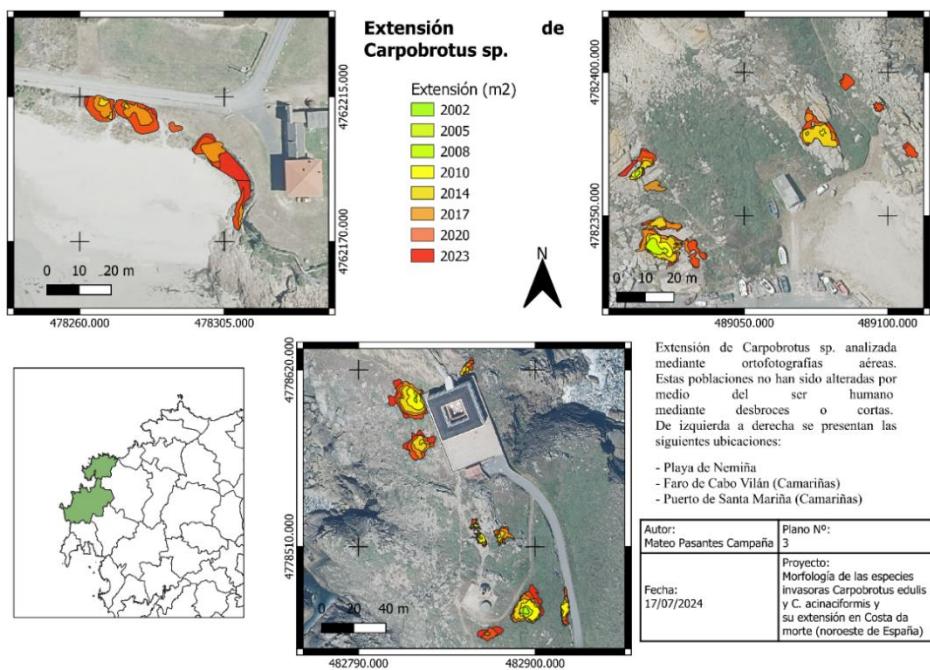


Figura 6. Extensión de *Carpobrotus* sp. en zonas sin alterar

En este caso, las zonas no han sido alteradas nunca por medio del ser humano (figura 6), por lo que se puede ver un claro avance de la especie sobre el terreno. Además, se aprecian también los colores más rojos y naranjas (representación de la extensión en los años más cercanos al actual).

La suma actual (2023) de todas las superficies ocupadas por *Carpobrotus* sp. sin alterar es de 1784 m² (desglosándose en: Nemiña- 285 m², Camariñas- 1151 m² y Santa Mariña- 348m²).

Discusión

Identificación

En este estudio se han identificado y analizado dos especies de *Carpobrotus* en la Costa da Morte, *Carpobrotus edulis* y *Carpobrotus acinaciformis*, las cuales presentan diferencias morfológicas significativas. Mediante el análisis de la longitud de las hojas, el índice de equilateridad y la forma del receptáculo, se pudo establecer que estas características son determinantes para la identificación de ambas especies y, siempre siguiendo los medios de identificación morfológicos que marcan anteriores estudios antes ya mencionados.

Los resultados estadísticos, obtenidos a través de la prueba de Mann-Whitney U, revelaron diferencias significativas en el índice de equilateridad y la longitud de las hojas entre las plantas con flores amarillas y moradas. Específicamente, *C. acinaciformis* presenta hojas más cortas y de sección más irregular, mientras que el receptáculo de *C. edulis* es ligeramente convexo comparado con el de *C. acinaciformis*, que es totalmente

liso. Además, se observó que la floración de *C. acinaciformis* ocurre entre marzo y abril, mientras que la de *C. edulis* se da entre finales de junio y principios de julio (Por lo menos en 2022, 2023 y 2024). Esta diferencia fenológica puede ser utilizada como un criterio adicional para la identificación de las especies en el campo.

La expansión de estas especies invasoras en la Costa da Morte representa una amenaza para la biodiversidad local. Por tanto, la identificación de ambas es crucial para el desarrollo de estrategias de gestión y control efectivas. Los hallazgos de este estudio proporcionan una base sólida para futuros trabajos de investigación y programas de manejo ambiental en la región.

Análisis de la extensión

Los resultados obtenidos en cuanto a la evolución y extensión de *Carpobrotus sp.* en las zonas estudiadas dejan una clara conclusión. Las cortas o desbroces realizados en las zonas alteradas no han sido exitosos a largo plazo, ya que no se ha realizado un seguimiento de las acciones y, por lo tanto, la especie ha vuelto a extenderse por la zona. Todas las zonas estudiadas lo demuestran, llegando incluso a ser favorable para la especie, ya que este tipo de cortas eliminan también otras especies y le facilitan al *Carpobrotus sp.* extenderse de manera más rápida y sencilla.

El crecimiento en extensión se ve claramente incrementado después de una alteración por medio del ser humano, en este caso por cortas y limpiezas del terreno. En los tres casos, siempre que hubo una corta, los años posteriores la especie mostró una ocupación mayor que la que anteriormente tenía, y de manera más rápida (ver gráficas de la figura 7). La pendiente en las tres gráficas refuerza esta conclusión.

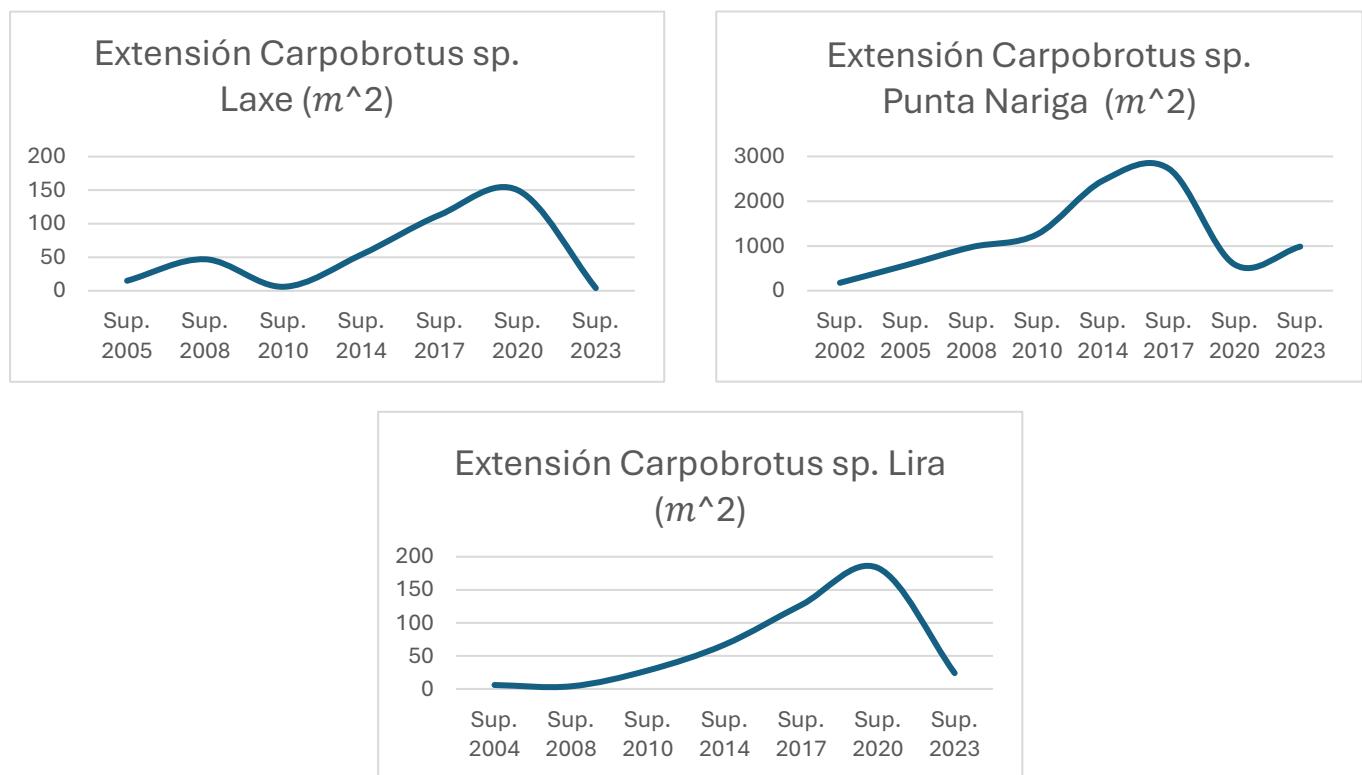


Figura 7. Extensión de *Carpobrotus sp.* en zonas alteradas.

Atendiendo ahora a las zonas sin alterar podemos ver un crecimiento prácticamente lineal a lo largo de los años (figura 8).

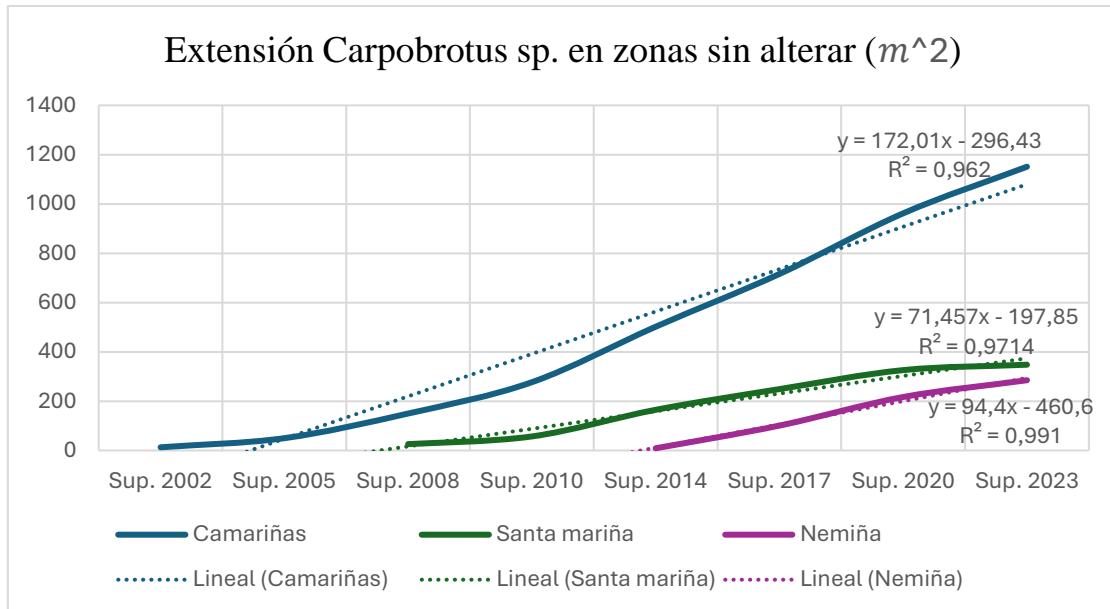


Figura 8. Extensión de *Carpobrotus sp.* en zonas sin alterar.

En Camariñas (Cabo Vilán), cuando la gráfica pierde pendiente, por falta de espacio por parte del *Carpobrotus sp.* para seguir creciendo, lo gana años después invadiendo otra zona cercana y vulnerable. Lo que demuestra el poder de invasión de dicha especie y la velocidad que tiene para hacerlo cuando ya no puede seguir extendiéndose en la zona en la que lo hace. Evidentemente, como se puede ver de 2010 en adelante, la especie no para de crecer, tanto en las zonas en las que se había establecido, como ocupando nuevas.

En Santa Mariña en los últimos 3 años parece haber encontrado un límite en cuanto a su extensión, ya que sigue creciendo, pero con una caída considerable en su pendiente. Esto sugiere que la especie ya no tiene mucho más espacio que invadir, bien sea porque las zonas ya se encuentran ocupadas por otras especies o por la dificultad de esta especie para encontrar un sustrato aceptable (terreno muy pedregoso).

Nemiña es la única zona de playa de estos tres casos de estudio, y se puede apreciar que tiene un crecimiento lineal casi perfecto, lo que indica que, por ahora, no encuentra una limitación en su crecimiento y extensión.

Conclusiones

Ambas especies mencionadas en este trabajo son una preocupación constante en las zonas costeras españolas, una correcta identificación es crucial a la hora de intentar erradicarlas. Por ello, en este trabajo se ha puesto especial atención en la identificación de estas especies en diferentes zonas de Costa da Morte y se ha expresado en varios planos. De esta forma queda un seguimiento de la expansión de ambas y abre las puertas a futuros estudios que quieran seguir con temas similares.

Es recomendable continuar con la monitorización de estas especies y que se implementen medidas de control propias para ambas especies. Además, es fundamental aumentar la

concienciación sobre los impactos de las especies invasoras y promover la colaboración entre científicos, gestores ambientales y la comunidad local para mitigar los efectos negativos en la biodiversidad.

Declaración de conflicto de interés

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

Referencias

- Akeroyd, J., & Preston, C. (1990). Notes on some Aizoaceae naturalized in Europe. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 197-200.
- Akeroyd, J., Preston, C., Tutin, T., Burges, N., Chater, A., Edmonson, J., . . . Webb, D. (1993). Flora Europaea Volume 1: Psilotaceae to Platanaceae. *Carpobrotus N.E. Br. Cambridge University Press:Cambridge*, 135.
- Battisti, C., Zullo, F., & Fanelli, G. (2021). The road to invasion: fine-grained distribution and suitability model for *Carpobrotus* sp. pl., a plant invader on a small Mediterranean island. *Folia Geobotanica*, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1007/s12224-021-09388-6>
- Campoy, J. G., Acosta, A. T., Affre, L., Barreiro, R., Brundu, G., Buisson, E., & Fagúndez, J. (2018). Monographs of invasive plants in Europe: *Carpobrotus*. *Botany Letters*, 440-475.
- Campoy, J. G., Acosta, A. T., Affre, L., Barreiro, R., Brundu, G., Buisson, E., . . . Retuerto, R. (2018). Monographs of invasive plants in Europe: *Carpobrotus*. *Botany Letters*, 440-475.
- Chenot, J., Affre, L., Gros, R., Dubois, L., Malecki, S., Passetti, A., . . . Buisson, E. (2018). Eradication of invasive *Carpobrotus* sp.: effects on soil and vegetation. *Restoration Ecology*, 106-113.
- D'Antonio, C. M. (1993). Mechanisms Controlling Invasion of Coastal Plant Communities by the Alien Succulent *Carpobrotus Edulis*. *Ecology*, 83-95.
- di Castri, F., Hansen, A., & Debussche, M. (1990). *Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Fagúndez, J., & Barrada, M. (2007). *Plantas invasoras de Galicia. . Bioloxía, distribución e métodos de control*. Xunta de Galicia.
- Lazzeri, V. (28 de 2 de 2023). *Acta Plantarum*. Obtenido de Chiavi di determinazione e confronti: <https://www.actaplantarum.org/forum/viewtopic.php?t=132542>
- Mifsud, S. (2021). Morphology of the invasive *Carpobrotus* (Aizoaceae) in Europe: Malta as a case study. *Mediterranean Botany*.
- Novoa, A., Hirsch, H., Castillo, M. L., González, L., Richardson, D., Pysek, P., . . . Le Roux, J. (2023). Genetic and morphological insights into the *Carpobrotus* hybrid complex around the world. *NeoBiota*, 135-160.

- Sánchez García, J. Á. (2007). Venciendo las olas. Arquitectura y técnica en la construcción del segundo faro de Cabo Vilán (1884-1896). *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, (págs. 823-834). Burgos.
- Sanz Elorza, M., Dana Sánchez, E. D., & Sobrino Vesperinas, E. (2004). *Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España*. Madrid: Dirección General para la Biodiversidad.
- Suehs, C., Médail, F., & Affre, L. (2001). Plant Invasions: Species Ecology and Ecosystem Management. Ecological and genetic features of the invasion by the alien *Carpobrotus* plants in Mediterranean island habitats. *Backhuys Publishers: Leiden*, 145–158.
- Trastoy Bello, S., & Rodríguez Roiloa, S. (2015). *Repositorio Universidade de Coruña*. Obtenido de Estudiando las invasiones biológicas : un trabajo experimental con "Carpobrotus edulis": <http://hdl.handle.net/2183/15293>
- Vilá, M., & CM., D. (1998). Fruit choice and seed dispersal of invasive vs. noninvasive *Carpobrotus* (Aizoaceae) in coastal California. *Ecology*, 1053–1060.
- Wisura, W., & Glen, H. (1993). The South African species of *Carpobrotus* (Mesembryanthema - Aizoaceae). *Contributions to the Bolus Herbarium*, 76-107.