



**Universidad
Rey Juan Carlos**

**GRADO EN BIOLOGÍA
Curso Académico 2022/23
Trabajo de Fin de Grado**

**Diseño de una red de reservas genéticas para
la conservación *in situ* del acebuche en España**

Autor: D. Arturo Valenzuela Lozano

**Directores: Dr. D. José María Iriondo Alegría
Dra. D^a. María Luisa Rubio Teso**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mis tutores José María Iriondo Alegría y María Luisa Rubio Teso, por darme la oportunidad de formar parte de este proyecto que centra mi TFG, por su paciencia, su excelente forma de orientarme, por su ayuda en buscar la perfección y el rigor científico, que me será de gran ayuda en mi futuro profesional. También agradecer a Rafael Rubio y al proyecto GEN4OLIVE, por su generosidad en ceder su base de datos, que sin duda contribuye a que este TFG sea mejor y contribuya a mejorar la diversidad biológica, de forma más eficiente.

En segundo lugar, agradezco a la Universidad Rey Juan Carlos, por formarme como un biólogo y por a lo largo de estos cuatro años, inculcar valores como ser: crítico, riguroso, tolerante y honesto.

Finalmente, y por ello no menos importante, dedicarlo a mi familia: a mi madre, a mi padre, a mi hermana Lorena y a mis abuelos; pilares fundamentales, que nunca dejaron que me rindiera en esta etapa de mi vida. También a mis amigas y amigos: Eva, Bea, Sergio o Iván y otros muchos que siempre ayudan a que la vida sea más bonita, gracias por estar siempre.

A ese niño, que siempre luchó contra las adversidades y nunca se rindió, y que ahora es biólogo, apesar de las dudas, yo siempre creí en ti...

“La vida y los sueños son páginas de un mismo libro; leerlo en orden es vivir; ojearlo es soñar”

Arthur Schopenhauer.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1) Especies y zona de estudio	9
3.2) Análisis de faltantes (gap analysis) en áreas protegidas.....	10
3.3) Elaboración de un mapa ecogeográfico asociado a la distribución de acebuche	11
3.4) Análisis de complementariedad	12
4. RESULTADOS	13
4.1) Poblaciones de acebuche en España	13
4.2) Caracterización ecogeográfica del acebuche	14
4.3) Cobertura de las poblaciones de acebuche por la Red Natura 2000.....	17
4.4) Determinación de áreas protegidas prioritarias para el establecimiento de reservas genéticas...	18
5. DISCUSIÓN.....	20
6. CONCLUSIONES.....	22
7. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	23
8. BIBLIOGRAFÍA.....	24
9. APÉNDICES.....	28
Anexo 1.....	28
Anexo 2.....	29
Anexo 3.....	30

1. RESUMEN

Los cultivos se están viendo amenazados por las consecuencias del cambio climático. En concreto, en España, la aridez parece ser el principal factor limitante de producción de olivo (*Olea europaea* L.). Para preservar la diversidad de esta especie se recurre a su Pariente Silvestre de Cultivo (PSC), el acebuche, en concreto a las subespecies: *Olea europaea* subsp *sylvestris* y *Olea europaea* subsp *guanchica*. Estudios previos han demostrado una mejora de la diversidad genética del olivo al cruzarse con su PSC. Con el presente estudio se pretende diseñar una red de reserva genética para la conservación *in situ* del acebuche, que maximice su diversidad genética de forma eficiente. Para ello se emplea una base de datos con 246 localidades de acebuche tomadas de la base de datos de GBIF y del Proyecto Europeo GEN4OLIVE. Para la determinación de las áreas que conforman la red, se usó una aproximación ecogeográfica que tiene en cuenta las variables ambientales que mejor definen la distribución del PSC. Para ello se obtuvo un mapa ecogeográfico y se llevó a cabo un análisis de complementariedad a través de las herramientas QGIS 3.10.11 y CAPFITOGEN3. Los resultados obtenidos se compararon con los resultados de un informe elaborado por el proyecto GEN4OLIVE, donde se identificaron localidades prioritarias basadas en lograr una máxima representatividad de la diversidad genética. Los resultados obtenidos indicaron que las localidades de acebuche recogen el 55,55% de categorías ecogeográficas presentes en España. A su vez, se puede observar que la variable que mejor explica el patrón de distribución del acebuche es la temperatura mínima del mes de noviembre, que oscila entre 3,4°C- 18,6°C. Por su parte el 57,72% de las localidades de estudio se hallan protegidas por la Red Natura 2000. Como propuesta de red, se presentan 9 áreas protegidas que se encuentran en las provincias de: Islas Baleares, Alicante, Murcia, Almería, Córdoba, Cádiz y las Palmas. A las cuales se anexionan las localidades de (San Antolín, Cantabria y Castiblanco de los Arrollos/El Pedroso, Sevilla), no contempladas en nuestros resultados y las localidades de las islas de: Fuerteventura, Gomera, La Palma y Tenerife, cubriendo 12 combinaciones SP-ECO (presencia de especies por categoría ecogeográfica) posibles.

ABSTRACT

Crops are threatened by the consequences of climate change. Specifically, in Spain, aridity seems to be the main factor limiting olive (*Olea europaea* L) production. In order to preserve the diversity of this species, its Crop Wild Relative (CWR), the wild olive tree, is used, specifically the subspecies: *Olea europaea* subsp. *sylvestris* and *Olea europaea* subsp. *guanchica*. Previous studies have shown an improvement in the genetic diversity of the olive tree when crossed with its CWR. The present study aims to design a genetic reserve network for the *in situ* conservation of wild olive trees, which maximises their genetic diversity in an efficient way. To this end, we used a database with 246 localities of wild olive trees taken from the GBIF database and the European GEN4OLIVE project. To determine the areas that make up the network, we used an ecogeographic approach that studies the environmental variables that best define the distribution of wild olive trees. For this purpose, an ecogeographic map and a complementarity analysis was performed using the QGIS 3.10.11 and CAPFITOGEN3 tools. We compared the results with results from a report provided by GEN4OLIVE project, where they identified priority localities to obtain a maximum representation of the genetic diversity. The results obtained indicated that the study localities cover 55,55% of all the ecogeographical categories present in Spain. It was also observed that the variable that better explains the distribution pattern of the wild olive tree is the minimum temperature in November, with values ranging from 3,4°C-18,6°C. In turn, 57,72% of the study localities are protected by the Natura 2000 network. As a network proposal, nine protected areas located in the provinces of Baleares, Alicante, Murcia, Almería, Córdoba, Cádiz and Las Palmas were proposed. These areas were further completed with three localities (San Antolín, Cantabria and Castiblanco de los Arrollos/El Pedroso, Seville), not covered in our results, and the localities of the islands: Fuerteventura, Gomera, La Palma y Tenerife, which cover twelve combinations SP-ECO (presence of species per ecogeographical category).

2. INTRODUCCIÓN

Las consecuencias del cambio climático están teniendo efectos sobre los biomas, ya que están alterando sus características principales (Jarvis et al, 2008). Además, ya es una evidencia que hay efectos del cambio climático que empiezan a perjudicar al ser humano, y en concreto a sus cultivos (Jarvis et al,2008). Una de las consecuencias más importantes es la sequía, que es considerada el factor que más limita la producción de los cultivos en el mundo (Brito et al, 2019). Con la expansión de las zonas áridas y secas, ya se está constatando un descenso de la producción de los cultivos, lo que puede derivar en escasez de alimentos para la población futura (Misra, 2014). Lo más preocupante de todo ello es que ya hay estudios realizados, que parecen indicar que la zona mediterránea es propensa a sufrir condiciones de aridez, cada vez mayor en las próximas décadas (Imeson y Emel, 1992). Según estas previsiones, la diversidad y prosperidad de las especies de cultivo parecen estar comprometidas (Thuiller et al, 2005). Todas las especies de cultivo tienen parientes silvestres de los cultivos (PSC) (Molina et al, 2022). Las PSC son taxones emparentados genéticamente con las especies de cultivo, que se encuentran en hábitats naturales y que también son recursos fitogenéticos. De ese modo un cruce entre un PSC y su cultivo puede dotar a los descendientes híbridos de variación que les permiten adaptarse a las nuevas condiciones. Estas adaptaciones pueden ser finalmente transferidas a los cultivos mediante técnicas convencionales de mejora genética (Maxted et al, 2015). Esta estrategia puede permitir mejorar las especies de cultivo, y por tanto los recursos alimenticios, de cara a escenarios de cambio climático.

Algunos autores ya apuntan a que la forma más adecuada de permitir una mejor producción agrícola es mediante la conservación de los parientes silvestres de los cultivos (PSC) *in situ* (Maxted et al, 2015). Previamente ya se han llevado a cabo proyectos a nivel regional e internacional de conservación de PSC, respaldados por la United Nations Environment Programme and Global Environment Facility (UNEP- GEF) (Molina et al, 2022). A nivel europeo, en los últimos tiempos, se ha obtenido una mayor noción sobre cómo conservar estas especies silvestres, por ejemplo a través del proyecto PGR Forum (financiado por el Sexto Programa Marco de la Unión Europea), que generó el primer catálogo de PSC para Europa y el Mediterráneo, en el cual se indicaban los principales riesgos y amenazas sufridas por estas especies (Molina et al, 2022), que contó entre otros, con el apoyo de los miembros que constituyen la Red de Conservación *in situ* y en finca del ECPGR (European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources).

El último proyecto de esta índole es Farmer's Pride, (<http://www.farmerspride.eu/>) terminado en el año 2021 (financiado bajo el Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea), que buscaba la constitución de una red europea para la conservación *in situ* de PSC y variedades tradicionales de los cultivos (Molina et al, 2022).

El cultivo de olivo *Olea europaea* L. en España supone, según datos recogidos en un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura en el año 2019 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación,

2023), el 57% de la producción agroalimentaria total nacional, siendo la producción de la aceituna de mesa y el aceite de oliva, productos claves de la exportación llevada a cabo por España al mercado internacional, debida a su contrastada calidad y valor, en ámbitos culinarios. Esto se traduce en importantes cantidades económicas basadas en esta especie (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023), por lo que es conveniente buscar posibles medios o soluciones que puedan proporcionar diversidad genética al olivo cuando sea necesaria. Para empezar, es importante examinar cuáles son los factores que están limitando la producción del olivo. Uno de esos factores, parece ser la falta de agua, lo que dificulta la prosperidad de los cultivos en zonas áridas, o áreas que evolucionan hacia esas condiciones. Existen estudios (Lorite et al, 2018) que indican que la escasez de agua en el medio reduce la producción de frutos y ralentiza el metabolismo fotosintético, disminuyendo la producción del olivo. Otro de los factores que parece tener influencia sobre el olivo es la temperatura. Y es que, el aumento de aire cálido causado por la presencia de altas temperaturas debido al efecto invernadero, parece tener un efecto negativo sobre la polinización y fertilización de *O. europaea* (Benlloch-González et al, 2018). Tan sólo el 1-2% de las flores que se forman generan frutos que alcanzan la madurez (Benlloch-González et al, 2018). Según este mismo estudio, estas influencias de temperatura y escasez de precipitaciones pueden tener un efecto de adelantamiento del inicio de la floración. También se ha observado pérdida de la calidad de las flores, ya que la exposición a estrés hídrico supone la pérdida de sus órganos reproductores. Por tanto, se genera un elevado porcentaje de inflorescencias infértiles, lo cual presumiblemente tiene un efecto directo sobre la producción del olivo (Benlloch-González et al, 2018). Con relación al incremento de la temperatura, se ha observado que cuando la zona donde habita el olivo supera los 30°C, se observan fallos en la formación de la oliva (Fernández- Escobar et al, 1983). El incremento de la temperatura también puede generar mayor viabilidad a enfermedades propias de los olivos, como la verticilosis, causada por el hongo *Verticillium dahliae* Kleb, que produce el marchitamiento de las hojas del olivo, lo cual afecta directamente a la producción al reducirse la tasa fotosintética de las hojas (Arias-Calderón et al, 2015).

En los años 60 y 70 en Israel e Italia, respectivamente, se llevaron a cabo programas de cruzamiento (Rallo et al, 2018) entre el olivo e individuos clonados de olivo que portaban caracteres genéticos que permitieran una rápida adaptabilidad a los sistemas de plantación mecánica, e incluso resistencia a los efectos producidos por *V. dahliae* que se querían transmitir a la descendencia (Lavee,1990). Por tanto, el éxito de los programas de mejora genética es clave para dar lugar variedades mejor adaptadas a condiciones extremas del medio (Debbabi et al, 2022). Este desarrollo de programas ha permitido implementar mejores métodos de fitomejoramiento, en los cultivos (Debbabi et al, 2022). Uno de estos métodos de fitomejoramiento consiste en el cruzamiento con el acebuche (*O. europaea*), su pariente silvestre (Beghè et al, 2016). Por ejemplo, en Túnez, se ha podido observar que el olivo mejorado con diversidad genética procedente del acebuche ha mejorado su producción, frente a las formas de cultivo tradicionales (Debbabi et al, 2022).

Sabiendo el papel que juega el acebuche, se hace imprescindible promover la conservación *in situ* de las subespecies: *Olea europaea* subsp. *sylvestris* (Mill.) Lehr y *Olea europaea* subsp. *guanchica* P. Vargas, J. Hess, Muñoz Garm y Kadereit; especialmente aquellas poblaciones que se encuentran dentro de áreas protegidas, con el fin de preservar y mejorar los cultivos de olivo en España. Por tanto, una posible solución es plantear una red de reservas genéticas para la conservación *in situ* de estas subespecies. Para ello es importante localizar y preservar aquellos lugares donde se encuentren aquellos PSC (Rallo et al, 2018).

Para determinar estas zonas, se emplean mapas de distribución geográfica que permiten visualizar la distribución, abundancia y riqueza de las especies de interés (Scott et al, 1993). Con ello se pueden localizar zonas con elevado interés de preservación, y plantear planes de conservación que busquen formas eficaces de preservar el valor adaptativo de la diversidad genética de interés (Rubio Teso & Iriando, 2019). De este modo, se garantiza la conservación de diversidad genética útil para la mejora de los cultivos (Rubio Teso & Iriando, 2019). Por otra parte, el acebuche puede presentar una dificultad adicional a la hora de determinar aquellas zonas de PSC útiles para la mejora. Eso se debe a que hay acebuches que presentan cierta hibridación con cultivos, lo que puede suponer un hándicap a la hora de diferenciar germoplasma estrictamente silvestre (Belaj et al, 2007).

El objetivo principal del presente estudio es diseñar una red de reservas genéticas para España que recoja la mayor diversidad genética de acebuche con el menor número de poblaciones. Nuestra hipótesis de partida es que es posible identificar una muestra de poblaciones de acebuche dentro de la red española de espacios protegidos y que represente adecuadamente su diversidad genética de valor adaptativo a través de la diversidad ecogeográfica de la especie.

En cuanto a los objetivos secundarios que se pretenden lograr en este estudio son:

- Conocer el grado de cobertura de la Red Natura 2000 sobre la distribución potencial de las poblaciones de acebuche.
- Identificar las diferentes condiciones ambientales a las que se ha adaptado potencialmente el acebuche en el territorio español.
- Determinar la configuración de una red de reservas genéticas para la conservación *in situ* que maximizaría la diversidad genética estimada del acebuche. De este modo se pretende favorecer la producción agrícola, de cara a escenarios de cambio climático, y contribuir de ese modo con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en particular con el número 2 (hambre cero) y a la meta 2.5 de conservación de la diversidad genética de plantas cultivadas y su correcta gestión (Gamez, 2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1) Especies y zona de estudio

Los taxones que se van a tener en cuenta para el siguiente estudio son:

- *Olea europaea* L. (Fig. 1). Comúnmente conocido como olivo. Se trata de una especie perenne, generalmente monoica. Presentan troncos muy agrietados, con ramas rígidas y espinosas. Generalmente se observa en roquedos, acantilados marinos, sustrato calcáreo, arcilloso o arenoso. Se distribuye principalmente en climas mediterráneos (Castroviejo et al, 2012).
- *Olea europaea* subsp. *sylvestris* (Mill.) Lehr (Fig. 1). Comúnmente conocido como acebuche. Se trata de una subespecie fanerófita que presenta porte arbóreo o arbustivo, con corteza grisácea, hojas coriáceas, lanceoladas, con haz de color verde oscuro y envés más claro. Presenta flores hermafroditas en panículas axilares. Presenta un fruto tipo drupa, con mesocarpo rico en aceite. Florece entre los meses de mayo y julio. En cuanto a sus requerimientos ecológicos, tolera abundante luz, presenta cierta continentalidad, suelen preferir sustratos calcáreos y pobresen nitrógeno (Valderrey, 2023).
- *Olea europaea* subsp. *guanchica*. P. Vargas, J. Hess, Muñoz Garm y Kadereit (Fig. 1). Subespecie endémica de las Islas Canarias, con follaje denso, con hojas estrechamente lanceoladas, con envés ligeramente plateado. Flores pequeñas y color blanquecino, dispuestas en panículas axilares. Generalmente se desarrolla en riscos y barrancos, con cierta humedad y cotas altitudinales entre los 100-600 m. Se observan dos grandes comunidades, una en Las Palmas de Gran Canaria y otra en Santa Cruz de Tenerife (Gobierno de Canarias, 2015)



Figura 1. Especies de estudio. En la parte superior de izquierda a derecha, *Olea europaea* tomado de: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Olea_europaea&oldid=149373118. *Olea europaea* subsp. *sylvestris* tomado de: <https://www.istockphoto.com/es/foto/acebuche-centenario-gm1303371250-394845571?phrase=acebuche>. En la parte inferior, *Olea europaea* subsp. *guanchica* tomado de: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=Acebuche>

La zona de estudio es el territorio de España peninsular, Islas Baleares e Islas Canarias. Los datos de distribución de las dos subespecies se obtuvieron del Proyecto Europeo GEN4OLIVE (<https://gen4olive.eu/es/inicio/>) y de la base de datos GBIF (<https://www.gbif.org/es/>). A continuación, utilizando sistemas de información geográfica QGIS 3.10.11 (<https://www.qgis.org/es/site/>) se generaron capas tipo shapefile para su visualización y la generación de mapas de distribución.

Empleando el programa informático QGIS 3.10.11, se generó un archivo shape donde se incluyó la información de ambas bases de datos (Proyecto GEN4OLIVE y GBIF) y posteriormente se superpuso sobre un mapa de España dividido en regiones administrativas autonómicas.

3.2) Análisis de faltantes (gap analysis) en áreas protegidas

El *gap analysis* permite emplear los datos de distribución de las especies para evaluar su cobertura en áreas protegidas existentes en un territorio, como forma para evaluar el grado de conservación pasiva de cada taxón. La conservación pasiva es aquella que tienen las especies por el mero hecho de encontrarse en una zona protegida, aunque no gocen de medidas de conservación específicas para sus poblaciones. Gracias a este análisis se puede focalizar las medidas de conservación en aquellos puntos

donde realmente resulta necesario, y por tanto llevar a cabo protocolos de conservación más eficaces (Scott et al, 1993).

La Red Natura 2000 es una red europea que contiene zonas de conservación para la biodiversidad. Se compone de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) dirigidas por la Directiva Hábitat, y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) establecidas por la Directiva Aves. Su fin último es contribuir a detener la pérdida de biodiversidad ([Red Natura 2000 \(RN2000\) \(miteco.gob.es\)](https://miteco.gob.es/red-natura-2000)). Se descargó un mapa digital de áreas protegidas de la Red Natura 2000 en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias, a partir de la página web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ([Red Natura 2000 \(RN2000\) \(miteco.gob.es\)](https://miteco.gob.es/red-natura-2000)) (Fig. 2).

Con este mapa se superpusieron los puntos de distribución obtenidos previamente. El fin de este paso es intersectar con QGIS aquellos puntos de *Olea europaea* subsp. *sylvestris* y *Olea europaea* subsp. *guanchica* que caen dentro de espacios protegidos.

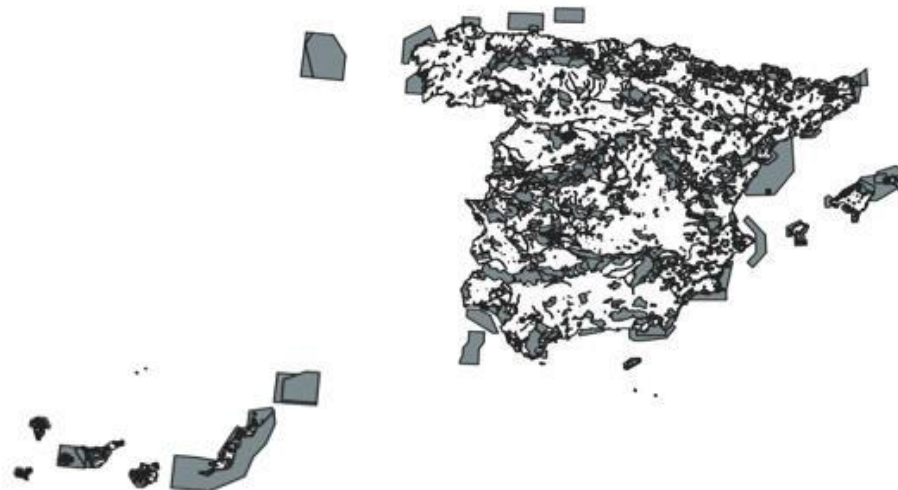


Figura 2. Mapa de distribución de zonas ZEPA y LIC de la Red Natura 2000. Fuente: [Red Natura 2000 \(RN2000\) \(miteco.gob.es\)](https://miteco.gob.es/red-natura-2000).

3.3) Elaboración de un mapa ecogeográfico asociado a la distribución de acebuche

Un mapa ecogeográfico (ELC) es una herramienta que permite identificar, en un área determinada, los diferentes escenarios adaptativos que se presentan a través de la combinación de variables ambientales (climáticas, edáficas y geofísicas) y que podrían estar afectando a la distribución de la especie y su diversidad de valor adaptativo (Parra-Quijano et al, 2020).

Para este estudio se generó un mapa ELC para la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias utilizando para la selección de variables de importancia los datos de presencia de *O. europaea* subsp. *sylvestris* y *O. europaea* subsp. *guanchica*. La selección se hizo a través de la herramienta SelecVar (CAPFITOGEN3) (Parra-Quijano et al, 2020) en su modo local (basado en el entorno de

programación R (R Core Team, 2020)). El análisis incluyó variables con datos disponibles en tres componentes: 1) bioclimáticas, 2) edáficas y 3) geofísicas. Los datos de las variables se obtuvieron en una resolución 1x1 km² para cada localización, en relación con sus coordenadas geográficas.

La herramienta SelecVar extrae las variables de las zonas de presencia y realiza una valoración de cada variable, explicando su distribución (Parra-Quijano et al, 2020). Se detectan las variables relevantes y se eliminan las repetitivas, a través de un análisis bivalente. Esta herramienta además utiliza algoritmos de tipo Random Forest, que organizan las variables en relación con un mayor MDA (importancia).

Para cada componente se escogieron las variables con mayor MDA y no correlacionadas entre sí. Estas variables se usaron para generar un mapa ELC usando la herramienta ELCmapas de CAPFITOGEN3 en su modo local (basado en el entorno de programación de R) (Parra-Quijano et al, 2020). Usando este mapa se obtuvieron categorías ecogeográficas para cada localidad en la que se encuentran poblaciones de acebuche, usando la herramienta Representa de CAPFITOGEN3 (Parra-Quijano et al, 2020) y se añadieron a la tabla maestra de presencias.

3.4) Análisis de complementariedad

El análisis de complementariedad permite seleccionar el menor número de espacios que permiten conservar la mayor diversidad posible, a través de un procedimiento iterativo. El proceso selecciona en primer lugar el área con mayor número de especies (o unidades de conservación) diferentes como lugar prioritario para la conservación. A continuación, las especies seleccionadas se extraen del análisis y el algoritmo selecciona el siguiente lugar con mayor número de especies y así, sucesivamente hasta que toda la diversidad está incluida en los lugares seleccionados (Rebelo, 1994). Debido a que las distintas poblaciones de la misma especie se disponen en diferentes ambientes (categorías ecogeográficas), se puede deducir que presenten una diversidad genética de valor adaptativo, útil para la conservación, ya que presenta las distintas adaptaciones a los diferentes escenarios ambientales posibles. Por tanto, se pretende conservar al menos una población de cada ambiente. Para ello se procede a combinar las poblaciones de la especie objetivo (acebuche) con la categoría ELC en las que se encuentran. Lo que así se genera es una nueva unidad de conservación SP-ECO que nos permite ver esta distribución de las poblaciones en las categorías ELC. Para llevar a cabo una conservación eficiente, usando la menor cantidad de recursos se empleó el análisis de complementariedad, que selecciona el menor número de sitios que contiene el mayor número de combinaciones SP-ECO (Osuna, 2021).

Para el análisis de complementariedad se utilizaron las áreas protegidas pertenecientes a la Red Natura 2000 y la herramienta Complementa de CAPFITOGEN 3 (Parra-Quijano, 2020). Los resultados obtenidos se compararon con la propuesta de poblaciones prioritarias ofrecida por el proyecto GEN4OLIVE tras realizar un estudio genético de poblaciones de acebuche que se encuentran en la Red Natura 2000.

4. RESULTADOS

4.1) Poblaciones de acebuche en España

Partimos de una base de datos inicial de poblaciones de acebuche (de ambas subespecies) para nuestro estudio de 316 localidades: 68 localidades pertenecientes a la subespecie *sylvestris* y 248 para la subespecie *guanchica*. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión de la base de datos para localizar y eliminar aquellas localidades repetidas (con mismas coordenadas geográficas). En concreto, de la subespecie *sylvestris* retiramos 7 localidades y de la subespecie *guanchica* 63 localidades.

Por tanto, tras la revisión de la base de datos de partida, nos quedamos con una base de datos final, con 246 localidades (de ambas subespecies), de las cuales 61 localidades corresponden a la subespecie *sylvestris* y 185 localidades a la subespecie *guanchica*.

De las 61 localidades de la subespecie *sylvestris*, 24 fueron proporcionadas por el Proyecto Europeo GEN4OLIVE. Las 37 localidades restantes y las 185 de la subespecie *guanchica* fueron obtenidas de la base de datos del GBIF.

De la comparación de los datos proporcionados por el Proyecto Europeo GEN4OLIVE con los obtenidos de la base de datos del GBIF para *Olea europaea* subsp. *sylvestris*, ninguna población coincide. Por lo que se tratan de bases de datos complementarias que nos sirven para ampliar la base de datos de localizaciones de acebuche en el territorio español.

Las localidades de *O. europaea* subsp. *sylvestris* se distribuyen principalmente por Andalucía, el Levante e Islas Baleares. Secundariamente, hay poblaciones en Extremadura, oeste de Castilla - La Mancha, Asturias y La Rioja. Por su parte, las localidades de *O. europaea* subsp. *guanchica* se distribuyen por todas las Islas Canarias (Fig. 3).

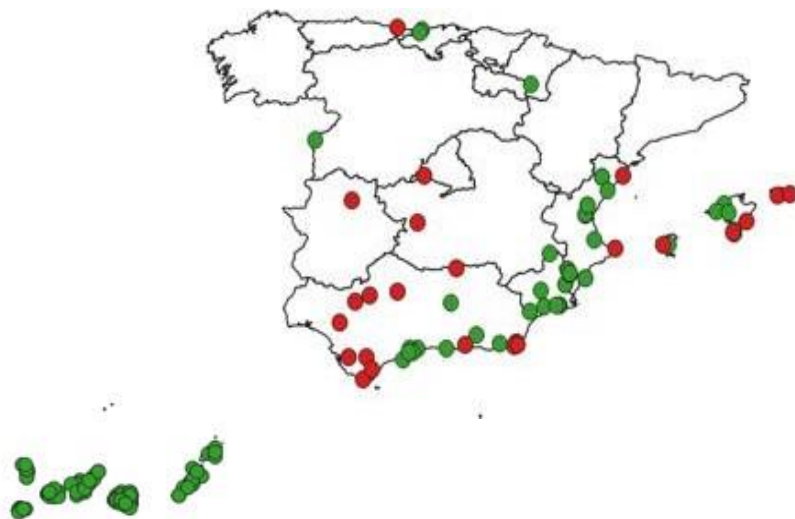


Figura 3. Mapa de España con la distribución de las 246 poblaciones de acebuche. En verde se representan los datos proporcionados por la base de datos del GBIF y en rojo los proporcionados por el Programa Europeo GEN4OLIVE.

4.2) Caracterización ecogeográfica del acebuche

El mapa ecogeográfico obtenido clasifica el territorio de España en 27 categorías ecogeográficas (Fig. 4). Las poblaciones de acebuche se distribuyen en 15 de las 27 categorías ecogeográficas, representando el 55,55% de las categorías existentes. De esas 15 categorías, *O. europaea* subsp. *guanchica* se encuentra en cuatro y *O. europaea* subsp. *sylvestris* en once (Tabla 1), siendo comunes en ambas subespecies tres categorías. A partir de los resultados obtenidos en ambas tablas se hizo una categorización de los puntos del acebuche; para una mejor visualización de la distribución del acebuche en las distintas categorías ecogeográficas, éstas se representaron en una escala de colores (Fig. 4).

Por otro lado, de las 246 poblaciones, 17 se encontraban en la categoría 0 (categoría sin valor por faltade información en alguna o varias de las variables ecogeográficas). Por este motivo, fueron asignadas a las categorías ecogeográficas próximas; así todas las poblaciones de estudio fueron incluidas en alguna categoría con información completa en todas las variables.

Tabla 1. Categorías ecogeográficas de las poblaciones de *O. Europea* subsp. *sylvestris* y *O. europaea* subsp. *guanchica* en España y número de poblaciones respectivas.

Categoría ecogeográfica	poblaciones subespecie <i>sylvestris</i>	poblaciones subespecie <i>guanchica</i>
13	0	5
14	9	0
15	6	0
17	4	0
18	2	0
19	2	0
22	1	112
23	14	1
24	15	67
25	1	0
26	2	0
27	5	0
TOTAL	61	185

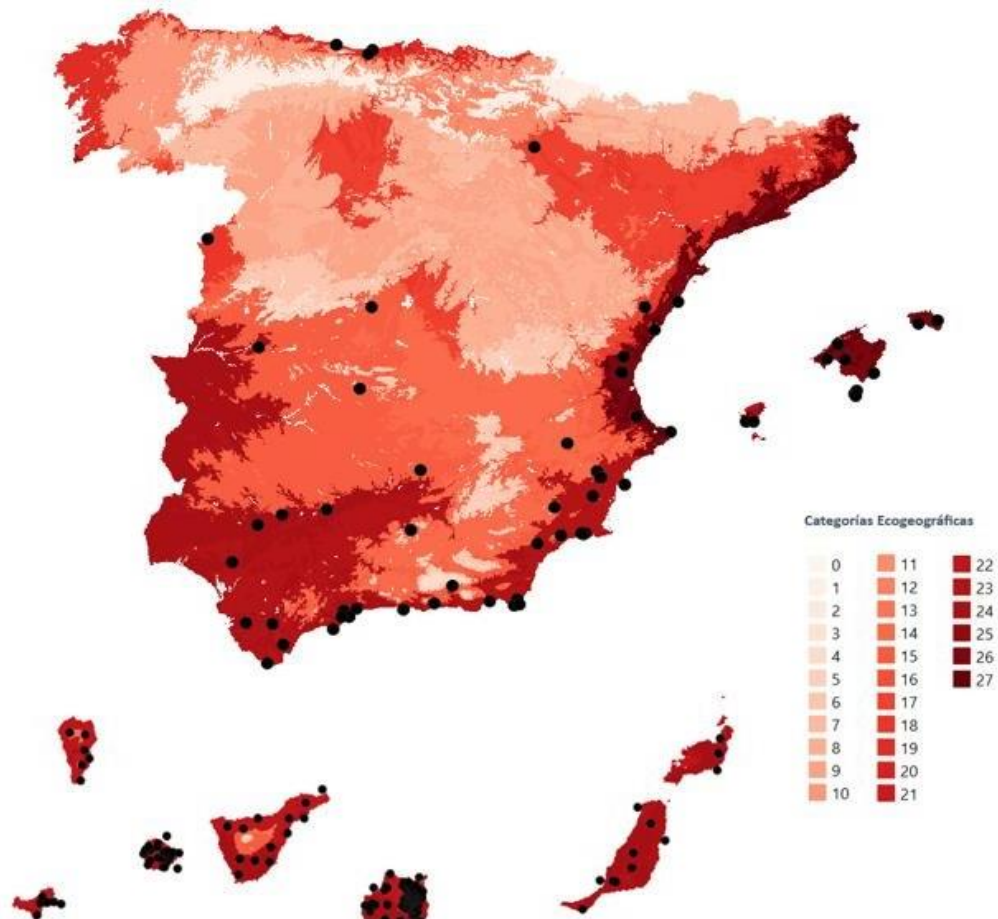


Figura 4. Mapa ecogeográfico de España generado a partir de la herramienta CAPFITOGEN3 (Parral-Quijano et al,2020). Las localidades con presencia de acebuche se superponen sobre las categorías ecogeográficas, representadas en escala de color para su mejor visualización.

Teniendo en cuenta los patrones de distribución de las poblaciones en las 15 categorías previamente citadas, y a partir de los componentes seleccionados por la herramienta CAPFITOGEN3 (Parra-Quijano, 2020), podemos seleccionar las variables que mejor explican el patrón de distribución del acebuche.

Para el componente bioclimático, la variable seleccionada fue la temperatura mínima del mes de noviembre. Por su parte, en el componente edáfico, se seleccionaron 3 variables: densidad aparente (tierra fina) en Kg/metro cúbico- en la capa superficial del suelo, bases intercambiables totales en la capa superficial del suelo y pH del suelo en KCl de la capa superficial del suelo. Finalmente, para el componente geofísico, se incluyeron 2 variables: radiación solar del mes de abril y del mes de julio. Observando las distintas variables, tan solo la temperatura mínima del mes de noviembre (tmin_11) muestra variación significativa a lo largo de todas las categorías ecogeográficas (Fig. 5), lo que nos permite explicar su patrón de distribución. Se puede observar que, para ambas subespecies, el rango ambiental es el mismo, entre 3,4-18,6 °C (Tablas 2-3). Se presenta un rango bastante heterogéneo (Fig.5) para las categorías donde se distribuye *Olea europaea* subsp *sylvestris* (Tabla 1). Sin embargo, para las categorías donde más abunda *Olea europaea* subsp. *guanchica*, el rango ambiental es más homogéneo, salvo la categoría 13 (Fig. 5).

Tabla 2. Valores máximos y mínimos de las diferentes variables en relación con las categorías ecogeográficas donde se distribuye *Olea europaea* subsp. *sylvestris* en España.

Descripción	Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
Temperatura mínima mes de noviembre	tmin_11	3,40	18,60	°c
Radiación solar mes de abril	srad_4	1,55	2,61	
Radiación solar mes de julio	srad_7	1,83	2,98	
Bases intercambiables totales en suelo superficial	t_teb	1,34	5,71	
Densidad aparente (tierra fina)	t_bulk_dens	1,17	1,59	Kg/m3
pH suelo en KCl topsoil	t_ph_kcl	3,38	7,98	

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de las diferentes variables en relación con las categorías ecogeográficas donde se distribuye *Olea europaea* subsp *guanchica* en España.

Descripción	Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
Temperatura mínima mes de noviembre	tmin_11	3,40	18,60	°c
Radiación solar mes de abril	srad_4	1,83	2,55	
Radiación solar mes de julio	srad_7	2,13	2,97	
Bases intercambiables totales en suelo superficial	t_teb	1,38	5,71	
Densidad aparente (tierra fina)	t_bulk_dens	1,19	1,59	Kg/m3
pH suelo en KCl topsoil	t_ph_kcl	4,40	7,77	

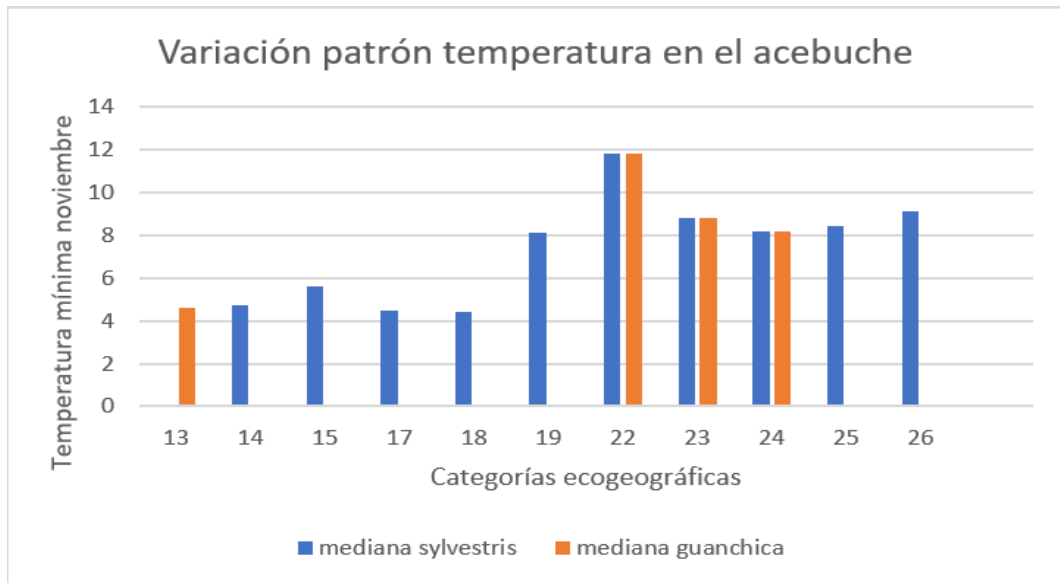


Figura 5. Rango de temperaturas mínimas durante el mes de noviembre en las categorías ecogeográficas dondese distribuyen *O. europaea* subsp. *sylvestris* y *O. europaea* subsp. *guanchica*

4.3) Cobertura de las poblaciones de acebuche por la Red Natura 2000

Del total de 246 poblaciones, 142 (57,72%) se encuentran dentro de la Red Natura 2000 (Fig. 6). En relación con las categorías ecogeográficas, tres de las cuatro donde se distribuye *O. europaea* subsp. *guanchica*, se hallan dentro de las áreas de la Red Natura 2000. Por su parte, nueve de las once donde se distribuye *O. europaea* subsp. *sylvestris* se hallan también dentro de estas áreas. Por tanto, la Red Natura 2000 recoge el 80% de todas las categorías ecogeográficas en las que se distribuyen las especies de acebuche de estudio. En total se generan 15 combinaciones SP-ECO, de las cuales 12 se encuentran representadas en la Red Natura 2000.

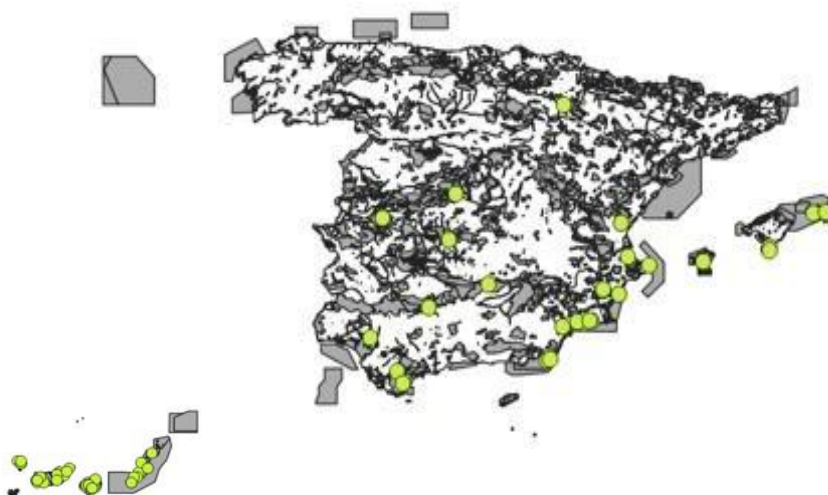


Figura 6. Mapa de España con las 142 localidades (puntos verdes) de acebuche que se encuentran dentro de las áreas ZEPA y LIC de la Red Natura 2000.

4.4) Determinación de áreas protegidas prioritarias para el establecimiento de reservas genéticas

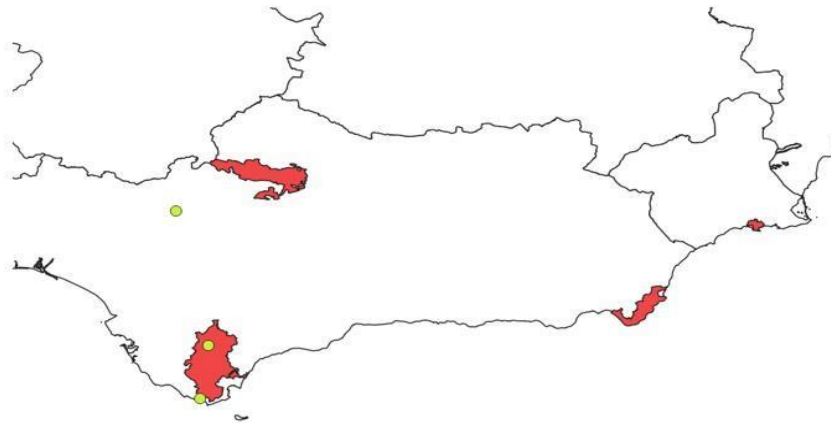
Tras llevar a cabo el análisis de complementariedad, se ha podido observar que son necesarias nueve áreas protegidas para recoger las doce combinaciones SP-ECO que se encuentran representadas en la Red Natura 2000. En concreto se distribuyen por las provincias de Las Palmas, Almería, Cartagena, Málaga, Cádiz, Córdoba, Alicante, Ibiza, Formentera y Menorca (Fig. 7a, 7b y 7c). De las nueve áreas, hay tres que presentan más número de combinaciones únicas que el resto y se hallan localizadas en las provincias de: Las Palmas, Almería y Cartagena (Tabla 4).

Como se puede apreciar en la Figura 7 y en el Anexo 2, esta propuesta generada a partir de datos ecogeográficos coincide con tres de las cinco localidades de la subespecie *sylvestris* propuestas por el estudio genético del proyecto GEN4OLIVE y con dos de las siete localidades de la subespecie *guanchica*.

Tabla 4. Análisis de complementariedad: combinaciones SP-ECO recogidas dentro de las nueve áreas seleccionadas.

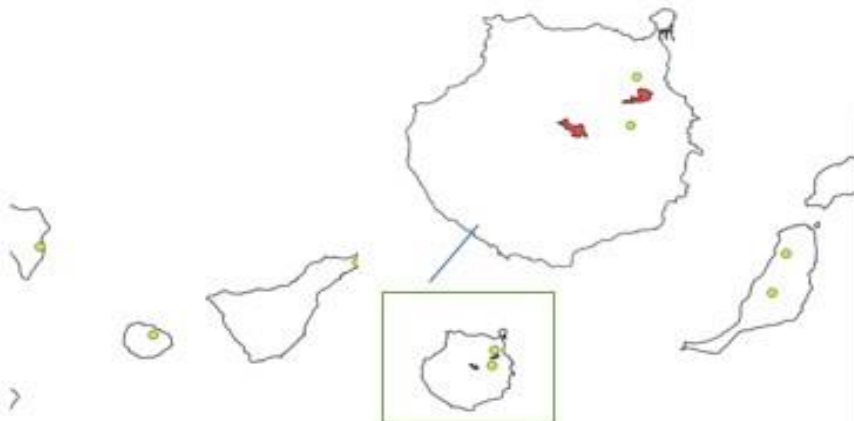
Nombre del área	Provincia	Nº de combinaciones únicas
Bandama	Las Palmas	2
Cabo de Gata	Almería	2
La Muela y Cabo Tiñoso	Murcia	2
Hoya del Gamonal	Las Palmas	1
Parque Natural de los Arconocales	Málaga, Cádiz	1
Guadiato- Bembezar	Córdoba	1
Serres del Sud D´Alacant	Alicante	1
Espacio Marino Sur Formentera e Ibiza	Formentera, Ibiza	1
De Binigaus a Cala Mitjana	Menorca	1

A)



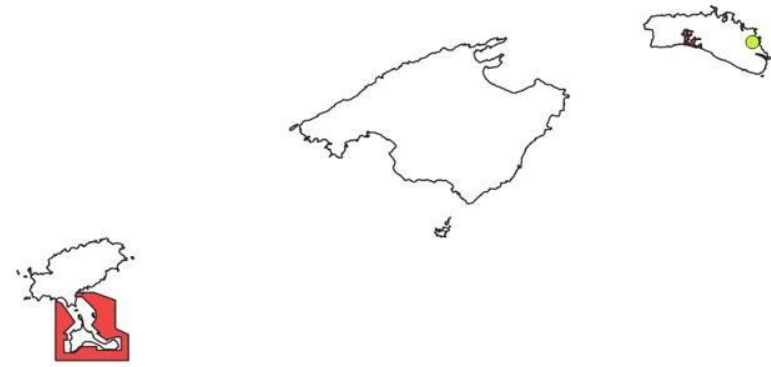
Escala 1:2450426

C)



Escala 1:1792415

B)



Escala 1:1465194

Figura 7. Distribución de las áreas protegidas prioritarias para el establecimiento de reservas genéticas (zonas en rojo) derivadas de nuestro estudio. Los puntos verdes indican las localidades prioritarias (prioridad A) propuestas por el estudio de Rafael Rubio y colaboradores en proyecto GEN4OLIVE en zona sur de España que están presentes en la Red Natura2000. A) Península Ibérica, B) Islas Baleares, C) Islas Canarias.

5. DISCUSIÓN

El acebuche es una especie característica de los ecosistemas típicos de la Península Ibérica (Gianguzzi y Bazan, 2019). Generalmente conforman pequeños bosques con carácter climácico, dentro de las regiones termomediterráneas y mesomediterráneas (Gianguzzi y Bazan, 2019). En concreto, según nuestra base de datos, la distribución más amplia de *Olea europaea* subsp. *sylvestris* se da en la zona de Andalucía, Comunidad Valenciana y Región de Murcia (Fig. 3.), todas ellas pertenecientes a la región mediterránea, si bien es cierto existen ciertos reductos fragmentados en la región Eurosiberiana, coincidiendo en Cantabria, principalmente (Fig. 3). Por su parte, el acebuche canario (*Olea europaea* subsp. *guanchica*) se trata de una especie endémica de las Islas Canarias, distribuida por todas las islas (Fig. 3). En Tenerife, donde tan solo se encuentra en refugios topográficos, resulta menos abundante (Marrero et al, 1984). En general, la distribución de *Olea europaea* subsp. *guanchica* se puede delimitar en el piso termocanario (Marrero et al, 1984).

Si visualizamos la cobertura de distribución de acebuche por parte de la Red Natura 2000, observamos que es elevada pero no es completa. Según nuestro estudio, de las quince categorías ecogeográficas, donde se distribuyen las dos subespecies del acebuche en España, la Red Natura 2000 cubre doce, es decir un 80%. Estos datos de cobertura se traducen en que el 57, 72% de las localidades se ven protegidas de forma pasiva por espacios de la Red Natura 2000. Destaca por negativo el caso de Tenerife, donde la cobertura de los espacios protegidos con respecto a las formaciones de bosques de *Olea* y de *Ceratonia* es tan solo del 5,61 %, como se puede comprobar en el **Anexo 1** (Delgado et al, 2023). En contraste, hay zonas como en la Campiña Sur de Cádiz, donde la mayor parte de las ZEC (Zonas de Especial Conservación) pertenecientes a la Red Natura 2000, están compuestas principalmente por acebuchales (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*) (1.680 ha), siendo proporcionalmente el doble con respecto al resto de formaciones (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015).

En relación con las variables ambientales que mejor explican la distribución del acebuche, la más significativa es la temperatura mínima del mes de noviembre (tmin_11), donde se puede observar que el acebuche es una especie con un rango térmico amplio (Fig. 5). Estos valores se pueden deber al elevado contraste térmico, sometido en los distintos puntos de la península donde se localiza, lo que la hace una especie euriterma (Mercado et al, 2019). Su carácter termófilo se traduce en una mayor presencia en zonas con mayor temperatura, dentro de su distribución geográfica. En el caso concreto de *Olea europaea* subsp. *guanchica*, se observa un rango térmico menos variable (Fig. 5) y eso puede deberse precisamente, a que la variación térmica en el archipiélago canario es menor a lo largo del año, debido a que presenta un clima subtropical (Jaén & Suárez, 2012)

Se pretende con los resultados obtenidos a lo largo del presente estudio, proponer una red de

reservas genéticas, que permita la conservación *in situ* que maximice la diversidad genética del acebuche.

En primer lugar, es imprescindible recordar que la finalidad de esta Red es promover una conservación eficiente, y de ese modo disminuir la pérdida de diversidad de los recursos fitogenéticos del acebuche (Molina et al, 2022). Si solamente se tienen en cuenta los resultados del presente estudio, el análisis de complementariedad identifica nueve áreas protegidas donde se representan doce de las quince combinaciones de especie-categorías ecogeográficas (SP-ECO) correspondientes a la totalidad de diversidad de acebuche (Tabla 4). Para llevar a cabo un plan de conservación con éxito, se considera importante tener en cuenta la variación genética. Si obviamos esta información, corremos el riesgo de perder variedades genéticas que sean importantes para escenarios de cambio climático (Nielsen et al, 2017). Las combinaciones especie-categoría ecogeográfica constituyen una aproximación para tratar de recoger la diversidad genética interpoblacional de cada especie, cuando no existe información directa sobre la diversidad genética interpoblacional de una especie. Sin embargo, en el caso del acebuche identificamos un informe técnico donde se recoge un estudio genético de multitud de poblaciones de acebuche en toda Europa, proporcionado por el Proyecto GEN4OLIVE (<https://gen4olive.eu/es/inicio/>), lo cual constituye una gran oportunidad de comparar datos de diversidad genética obtenidos directamente con las aproximaciones a la estructura de la diversidad genética obtenidas a partir de información ecogeográfica. En el estudio genético del Proyecto GEN4OLIVE, entre múltiples aspectos, se plantean varios niveles de prioridad de conservación de las poblaciones en relación con una serie de criterios genéticos, en donde, las poblaciones con mayor interés de conservación son las de “prioridad A” (Barea et al, 2020). En este informe, se indica que estas poblaciones albergan una diversidad genética de interés, basada en su elevada singularidad, además de tener una elevada probabilidad de portar genes que permitan adaptaciones a condiciones extremas del medio (Barea et al, 2020). A partir de esta información, generamos una tabla donde se recogen aquellas poblaciones de acebuche (de las dos subespecies de estudio) presentes en la Red Natura 2000 y con prioridad genética A solo presentes en España, con sus coordenadas geográficas (**Anexo 2**). Cabe destacar que, de las quince localidades genéticas de prioridad A observadas en España, doce de ellas se encontraban dentro de la Red Natura 2000. En la misma (**Anexo 2**), se puede observar marcadas en verde, aquellas poblaciones que coinciden en alguna de las nueve áreas prioritarias para el establecimiento de reservas genéticas (Tabla 4).

Basándonos en la Figura 7a, 7b y 7c, donde se puede visualizar que localidades de acebuche con prioridad de conservación A, se disponen en algunas de las zonas prioritarias, se decidió, para el presente estudio determinar cómo red de reserva genética *in situ* para el acebuche, las nueve áreas, comprendidas en: Menorca, Formentera e Ibiza, Alicante, Cartagena, Almería, Córdoba, Cádiz y Las Palmas (Área de Bandama y Hoya del Garmonal). Se propone, la adhesión de las dos localidades de la subespecie *sylvestris*, propuestas por el proyecto GEN4OLIVE no contempladas

en nuestros resultados (San Antolín, Cantabria y Castiblanco de los Arrollos/El Pedroso, en Sevilla) y las cinco localidades de la subespecie *guanchica*, propuestas por dicho proyecto y localizadas en las islas de Fuerteventura, Gomera, La Palma y Tenerife, por poseer puntos de conservación prioritaria tipo A. De ese modo conseguimos hacer más completa la Red al tener en cuenta conjuntamente la aproximación ecogeográfica y genética. Por tanto, teniendo una visión general de esta Red completa, se puede observar que la distribución de estas áreas seleccionadas recorre de este a oeste mayoritariamente la costa sur mediterránea y las Islas Canarias. Además, estas zonas se caracterizan, salvo excepciones, por poseer un índice de aridez entre árido y semiárido, principal factor limitante de la producción de los cultivos, como hemos mencionado en el comienzo de este trabajo, véase en el **Anexo 3** (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023).

6. CONCLUSIONES

- La Red Natura 2000 proporciona una cobertura considerable de conservación a las poblaciones de acebuche. Esto supone que el 57,72% de las localidades de acebuche se encuentra conservadas pasivamente en áreas protegidas y que el 80% de las categorías ecogeográficas que recogen la variación ambiental donde se distribuye el acebuche se encuentran cubiertas por la Red Natura 2000.
- La distribución del acebuche está determinada por la tolerancia a un amplio rango térmico, entre 3, 4° C- 18, 6° C.
- La aproximación ecogeográfica utilizada como aproximación a la detección de diversidad genética significativa entre poblaciones tuvo un éxito parcial cuando fue contrastada con un estudio realizado con análisis genéticos.
- Utilizando la aproximación ecogeográfica se proponen como áreas de conservación genética del acebuche *in situ* aquellas comprendidas en las 9 áreas distribuidas en: Menorca, Formentera e Ibiza, Alicante, Cartagena, Almería, Córdoba, Cádiz y Las Palmas (Área de Bandama y Hoya del Garmonal). Para una adecuada representación de la diversidad genética del acebuche estas áreas deben ser complementadas las de San Antolín (Cantabria) y Castiblanco de los Arrollos/El Pedroso (Sevilla) de las subespecies *sylvestris* y las cinco localidades de la subespecie *guanchica*, en las islas de Fuerteventura, Gomera, La Palma y Tenerife propuestas por el estudiogenético del proyecto GEN4OLIVE.

En relación con las fortalezas del presente trabajo, hay que destacar la visión completa para una adecuada conservación proporcionada, tanto por la aproximación ecogeográfica y la genética. Por su parte, las debilidades que se detectan radican en el hecho de que la base de datos de distribución del acebuche no es exhaustiva y puede no detectar todas las variables que influyen en la distribución de la especie de estudio.

7. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Para próximos estudios sería interesante extender el estudio a otros países de la cuenca mediterránea, para plantear redes de conservación similares, que ayuden a generar una macro red de reservas genéticas del acebuche. De esa manera, la prosperidad de los cultivos de olivo será más segura, ya que el *pool* de genes disponibles será más diverso.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arias-Calderón, R, León, L. M, Bejarano-Alcázar, J, Belaj, A, De La Rosa, R, & Rodríguez-Jurado, D. (2015). Resistance to *Verticillium* wilt in olive progenies from open-pollination. *Scientia Horticulturae*, 185, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.015>
- Badenes, M. L, & Byrne, D. H. (2012). *Fruit Breeding*, 1, (8), 25-875. Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9>
- Barea, A, Rubio, R, García, C, Besnard, G (2023). Delimitation of the geographical areas and populations of particular richness in wild genetic resources. Informe del Proyecto GEN4OLIVE, pendiente de publicar.
- Beghè, D, Piotti, A, Šatović, Z, De La Rosa, R, & Belaj, A. (2017). Pollen-mediated gene flow and fine-scale spatial genetic structure in *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris*. *Annals of Botany*, 119(4), 671-679. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw246>
- Belaj, A, Muñoz-Díez, C, Baldoni, L, Porceddu, A, Barranco, D, & Šatović, Z. (2007). Genetic Diversity and Population Structure of Wild Olives from the North-western Mediterranean Assessed by SSR Markers. *Annals of Botany*, 100(3), 449-458. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm132>
- Benlloch-González, M, Sánchez-Lucas, R, Benlloch, M, & Ricardo, F. (2018). An approach to global warming effects on flowering and fruit set of olive trees growing under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 240, 405-410. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.054>
- BOE (1992). Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Boletín Oficial del Estado 206 (22 de julio de 1992): 7-50.
- Brito, C, Dinis, L, Moutinho-Pereira, J, & Correia, C. R. D. (2019). Drought Stress Effects and Olive Tree Acclimation under a Changing Climate. *Plants*, 8(7), 232. <https://doi.org/10.3390/plants8070232>
- Castroviejo, S et al (2012). Flora Ibérica. Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares: *Gentianaceae-Boraginaceae* (eds.), 11. Real Jardín Botánico, CSIC. Madrid <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/15518-flora-iberica-vol-11-gentianaceae-boraginaceae>
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (diciembre de 2015). Valores ambientales de los Espacios Protegidos Red Natura 2000: Acebuchales de la Campiña Sur de Cádiz. Junta de Andalucía. <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/387338/ES6120015.pdf>

- Debbabi, O. S, Amar, F. B, Rahmani, S. M, Taranto, F, Montemurro, C, & Miazzi, M. M. (2022). The Status of Genetic Resources and Olive Breeding in Tunisia. *Plants*, 11(13), 1759. <https://doi.org/10.3390/plants11131759>
- Delgado, J. A, González González, R, Martín, R, & Prieto, J. M. (2023). Consejería de Obras Públicas, Transportes y Política Territorial. Gobierno de Canarias Consultor: Tecamac S.A. Autor documento: Bejeque Medio. Tenerife. <https://www.tenerife.es/documentos/medioambiente/2022EstrategiaBiodiversidadTenerife.pdf>
- Gamez, M. J. (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Gianguzzi, L and Bazan, G. (2019). The *Olea europaea* L.var. *sylvestris* (Mill) Lehr. Forest in the Mediterranean area. *Plant Sociology*, 56(2) 3-34. <https://doi.org/10.7338/pls2019562/01>
- Fernández-Escobar, R, Gomez-Valledor, G, & Rallo, L. (1983). Influence of pistil extract and temperature on vitropollen germination and pollen tube growth of olive cultivars. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 58(2), 219-227. <https://doi.org/10.1080/00221589.1983.11515113>
- Imeson, A. C, Emmer, I. M, Jeftic, L, Millman, J, & Sestin, G. (1992). Climate change and the Mediterranean: environmental and societal impacts of climate change and sea-level rise in the Mediterranean en Jeftic, L., Millman, J.D., Sestin, G (Ed.), London: Implications of climatic change on land degradation in the Mediterranean (pp. 95-128). Edward Arnold.
- Jarvis, A, Lane, A, & Hijmans, R. J. (2008). The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1-2), 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.013>
- Jaén, M. D. M, & Suárez, P. M. (2012). Algunas reflexiones acerca del clima de las Islas Canarias. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 29, 399-416. ISSN: 1139-7136
- Lavee, S. (1990). Aims. Methods and advances in breeding of new (*Olea europaea* L.) cultivars. *Actahortic.* 286, 23-36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.1>
- León, L, De La Rosa, R, Velasco, L, & Belaj, A. (2018). Using Wild Olives in Breeding Programs: Implications on Oil Quality Composition. *Frontiers in Plant Science*. 9, 232. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00232>
- Lorite, I. J, Gabaldón-Leal, C, Ruiz-Ramos, M, Belaj, A, De La Rosa, R, León, L. M, & Santos, C. F.

- D. (2018). Evaluation of olive response and adaptation strategies to climate change under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 204, 247-261. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.008>
- Marrero, Á, Rodríguez, C. E. A, & Rodrigo, J. (1989). Distribución de especies significativas para la comprensión de las formaciones boscosas en Gran Canaria (Islas Canarias). II. *Botánica Macaronésica*, 18, 27-46. ISSN: 0211-7150
- Maxted N, Avagyan A, Frese L, Iriondo JM, Magos Brehm J, Singer A, Kell SP. (2015). ECPGR Concept for *in situ* conservation of crop wild relatives in Europe. Wild Species Conservation in Genetic Reserves Working Group, European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources, 1-20, Rome, Italy
- Mercado, F. G, Luque, E. G, Fernández, I. M. G, De Haro Lozano, S, & Del Moral Torres, F. (2009). Estimación de los rangos de tolerancia a los factores ambientales de diversas especies mediterráneas de interés ecológico-forestal. *Mediterranean Botany*, 30, 145-159. ISSN: 0210-9778
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Aceite de oliva, aceituna de mesa y aceite de orujo de oliva. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023). La desertificación en España. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/lch_espana.aspx
- Misra, A. K. (2014). Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.04.006>
- Molina, A, Torres, E, Rubio Teso, M.L, Álvarez, C, De la Rosa, R, Rincón, V, Tardío, J, Guasch, L, Iriondo, J.M (2022). Estrategia Nacional de Conservación y utilización de Parientes Silvestres de los Cultivos (PSC) y Plantas Silvestres de Uso Alimentario (PSUA). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, pp 114, Madrid.
- Nielsen, E. S, Beger, M, Henriques, R, Oleson, K. L, & Von Der Heyden, S. (2017). Multispecies genetic objectives in spatial conservation planning. *Conservation Biology*, 31(4), 872-882. <https://doi.org/10.1111/cobi.12875>
- Osuna, D. (2021). Evaluación del Potencial de Conservación de Parientes Silvestres de los Cultivos y Plantas Silvestres de los Cultivos y Plantas Silvestres de uso alimentario en la Red de Microrreservas de flora de la Comunidad Valenciana. Comunidad de Madrid [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Alcalá de Henares]. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/54580>

- Parra-Quijano, M, Iriondo, J. M, Torres, M. E, López, F, Maxted, N, and Kell, S. (2020). CAPFITOGEN3. A Toolbox for the Conservation and Promotion of the use of Agricultural Biodiversity. Universidad Nacional de Colombia. Faculty of Agricultural Sciences, Bogota, Colombia. <http://www.capfitogen.net/es/acceso/manuales/>
- R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Rallo, L, Cuevas, J, & Rapoport, H. F. (1990). Fruit set pattern in self- and open-pollinated olive cultivars. *Acta Hort.* 286, 219-222. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1990.286.45>
- Rallo, L, Barranco, D, Díez, C. M, Rallo, P, Suárez, M. M. S, Trapero, C, & Pliego-Alfaro, F. (2018). Strategies for Olive (*Olea europaea* L.) Breeding: Cultivated Genetic Resources and Crossbreeding en Al-Khayri, J, Jain, S, Johnson, D. (Ed). *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits* (pp. 535- 600). Springer, Cham.
- Rebelo, A.G. (1994) Centres of endemism and optimal placement of reserves in Botanical Diversity in Southern Africa en Huntley, B.J. (Ed), Pretoria: Iterative selection procedures (pp. 231-257). National Botanical Institute.
- Rubio Teso, M. L, & Iriondo, J. M. (2019). *In situ* conservation assessment of forage and fodder CWR in Spain using phytosociological associations. *Sustainability*, 11, (21), 5882. <https://doi.org/10.3390/su11215882>
- Segovia, A. J, & Segovia, M. J. (2005). Los huertos. *Contraluz: Revista de la Asociación Cultural Arturo Cerdá y Rico*, 2, 153-158. ISSN: 1698-8817
- Scott, J. F, Davis, F. W, Csuti, B, Noss, R. F, Groves, C, Anderson, H. E, Caicco, S. L, Edwards, T. E, Ulliman, J, & Wright, R. G. (1994). Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity. *Biological Conservation*, 67(1), 91. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90022-1)
- Thuiller, W, Lavorel, S, Araújo, M. B, Sykes, M. T, & Prentice, I. C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(23), 8245-8250. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409902102>
- Valderrey, J. L. M. (2023). Acebuche. *Olea europaea* var. *sylvestris*. *Naturaleza y turismo*, 92, ISSN: 1887-5068. <https://www.asturnatura.com/especie/olea-europaea-var-sylvestris>

Anexo 2

Tabla A2. Lista de poblaciones de acebuche con prioridad A de conservación para España de acuerdo con el estudio genético realizado por el proyector GEN4OLIVE presentes en Red Natura 2000. Marcado en verde aquellas localidades que coinciden con alguna de las 9 localidades prioritarias propuestas para su conservación en nuestro estudio ecogeográfico. (Modificado de Barea et al, 2020).

Subespecie	Localidad	Provincia	Latitud	Longitud
<i>europaea</i>	Tarifa	Cádiz	36.062	-5.670
<i>europaea</i>	Alcala de los Gazules	Cádiz	36.531	-5.602
<i>europaea</i>	Castilblanco de los Arrollos/ El Pedroso	Sevilla	37.709	-5.862
<i>europaea</i>	San Antolín	Cantabria	43.443	-4.878
<i>europaea</i>	S'Albufera des Grau	Menorca	39.945	4.247
<i>guanchica</i>	Agua de Bueyes- Betancuria-Vega del Río	Fuerteventura	28.380.278	-14.048.056
<i>guanchica</i>	Tindaya	Fuerteventura	28.594.167	-13.979.722
<i>guanchica</i>	Bco. de los Cernicalos	Las Palmas	27.980.165	-15.473.828
<i>guanchica</i>	Bco. Guinguada	Las Palmas	28.064.649	-15.463.615
<i>guanchica</i>	Valle de Hermigua	La Gomera	28.149.722	-17.199.444
<i>guanchica</i>	Finca Amado	La Palma	28.633.889	-17.774.722
<i>guanchica</i>	Anaga	Tenerife	28.548.691	-16.158.142

Anexo 3

Figura A1. Mapa de Aridez de España. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023)

