



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS QUE AFECTAN EL ÉXITO REPRODUCTIVO DEL ENDEMISMO GIMNÉSICO *ARUM PICTUM* SUBSP. *SAGITTIFOLIUM* ROSSELLÓ & L. SÁEZ

ANTONIO LLADO PERIAGO

Grado de BIOLOGÍA

Facultad de CIENCIAS

Año Académico 2019-20

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS QUE AFECTAN EL ÉXITO REPRODUCTIVO DEL ENDEMISMO GIMNÉSICO *ARUM PICTUM* SUBSP. *SAGITTIFOLIUM* ROSSELLÓ & L. SÁEZ

ANTONIO LLADO PERIAGO

Trabajo de Fin de Grado

Facultad de CIENCIAS

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2019-20

Palabras clave del trabajo:

Arum pictum subsp. *sagittifolium*, éxito reproductivo, parámetros biométricos, fructificación, sincronía de la floración.

Nombre Tutor/Tutora del Trabajo Joana Cursach Seguí

Nombre Tutor/Tutora (si procede)

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Biodiversidad vegetal en la Cuenca del Mediterráneo	8
Polinización	8
Aráceas	9
Factores que condicionan el éxito reproductivo	10
<i>Arum pictum</i> ssp. <i>sagittifolium</i> Rosselló & L. Sáez	11
Objetivos	11
Metodología	12
Zona de estudio	12
Fenología y sincronía de la floración	13
Variables analizadas	13
Análisis de datos	15
Resultados	15
Variables analizadas y sincronía de la floración	15
Parámetros reproductivos	16
Discusión	21
Conclusiones	23
Agradecimientos	23
Bibliografía	24
Anexo	27

Resumen

La Cuenca del Mediterráneo es un punto caliente de biodiversidad en la que encontramos una gran cantidad de especies endémicas y la polinización en un proceso fundamental para la regeneración de las poblaciones. Algunas familias han desarrollado mecanismos de polinización muy especializados, como la familia *Araceae* que presenta un mecanismo de polinización por engaño que fomenta la polinización cruzada. Este trabajo se centra en el endemismo *Arum pictum* subsp. *sagittifolium* Rosselló & L. Sáez, una especie endémica de Mallorca y Menorca de la que aún se desconocen bastantes aspectos acerca de los parámetros que afectan su éxito reproductivo. En este estudio se ha evaluado como afectan parámetros biométricos del individuo (altura y abertura de la espata, diámetro de la cámara floral y longitud del apéndice) y el contexto vecino, tanto del conjunto de la población (número de donantes y número de competidores) como el en contexto más cercano (distancia al individuo en fase masculina más cercano, longitud del apéndice del donante más cercano y número de competidores a 5 m a la redonda), sobre el éxito reproductivo medido mediante la probabilidad de inicio de la infrutescencia, el cuajado de fruto, la producción de frutos viables, producción de semillas y las dimensiones de la infrutescencia (ancho y alto). Los resultados han reflejado por una parte que la altura y la abertura de la espata, así como la longitud del apéndice del individuo en fase masculina más cercano, influyen de manera positiva en el éxito reproductivo como es el número de semillas producidas. Además, el número de individuos que actúan como donantes, tanto a 5 m a la redonda como a nivel de población, incrementan el éxito reproductivo para la probabilidad de inicio de la infrutescencia y la producción de semillas. En general, se concluye que el contexto vecino y los parámetros biométricos del propio individuo ejercen una gran influencia sobre el éxito reproductivo en *Arum pictum* subsp. *sagittifolium*.

Abstract

The Mediterranean Basin is a biodiversity hot spot where we find a large number of endemic species and pollination in a fundamental process for the regeneration of populations. Some families have developed highly specialized pollination mechanisms, such as the *Araceae* family, which has a deceptive pollination mechanism that encourages cross-pollination. This work focuses on the endemism *Arum pictum* subsp. *sagittifolium* Rosselló & L. Sáez, an endemic species of Mallorca and Menorca, of which quite a few aspects about the parameters that affect their reproductive success are still unknown. In this study, the biometric parameters of the individual (height and maximum opening of the spathe, diameter of the floral chamber and length of the appendix) and the neighboring context have been evaluated, both for the population as a whole (number of donors and number of competitors), such as the closest context (distance to the closest male phase individual, length of the closest donor appendix and number of competitors at 5 m in the round), on reproductive success measured by the probability of onset of infructescence, fruit set, the production of viable fruits, seed production and the dimensions of the infructescence (width and height). The results have reflected, on the one hand, that the height and opening of the spathe, as well as the length of the appendix of the closest male phase individual, positively influence reproductive success, such as the number of seeds produced. Furthermore, the number of individuals acting as donors, both 5 m around and at the population level, increases reproductive success for the probability of onset of infructescence and seed production. In general, it is concluded that the neighboring context and the biometric parameters of the individual himself exert a great influence on reproductive success in *Arum pictum* subsp. *sagittifolium*.

Introducción

Biodiversidad vegetal en la Cuenca del Mediterráneo

La Cuenca del Mediterráneo, formada por más de 11.000 islas e islotes, ha estado sujeta a cambios debidos a la actividad humana durante milenios. Además, las características de esta región como la insularidad, el gradiente altitudinal y la confluencia de plantas de diferentes regiones biogeográficas, han condicionado la evolución de las especies de plantas y animales pese a sus diferentes orígenes (Thompson, 2005; Blondel, 2010). Por todo esto, nos encontramos delante de un punto caliente de biodiversidad donde casi en 50% de las especies de plantas son endémicas, aunque esto implique la presencia de amenazas destacables (Médail & Quézel, 1997).

Si nos centramos en la flora de las Islas Baleares, este archipiélago posee más de 140 taxones endémicos que representan el 9% de toda la flora nativa. Mallorca, la isla más grande, tiene 103 de los taxones endémicos, siendo la Serra de Tramuntana el área que concentra la mayor cantidad de endemismos, concretamente, alrededor del 57,1% de todos los endemismos (Sáez *et al.*, 2013).

Polinización

La polinización es esencial para mantener la biodiversidad y el buen funcionamiento de los ecosistemas. La reproducción de las angiospermas depende principalmente de animales, mayoritariamente insectos (Ollerton *et al.*, 2011). En las Baleares un 90% de los endemismos son polinizados por insectos en los que se incluyen las especies ambófilas (Sáez *et al.*, 2013). La polinización es el proceso de transferencia de polen desde los estambres hasta los estigmas. Este proceso depende de los polinizadores, la sincronía de la floración, la longevidad de la floración y la ratio entre pies fase masculino y pies en fase femenina; aunque, el proceso reproductivo no está basado solo en las características de la floración, sino que depende también del marco que generan todos los factores ecológicos que condicionan a la planta ya sea las condiciones del suelo o la climatología (Méndez & Díaz, 2001), la actividad de los polinizadores o la presencia de otras especies vegetales en floración ya que pueden actuar como competidores (Tuomi *et al.*, 2015).

Generalmente, las plantas establecen una relación mutualista con sus polinizadores (Faegri & Pijl, 1979), aunque existen excepciones, como en la polinización por engaño, donde el polinizador no obtiene ninguna recompensa a cambio del servicio de la polinización. Este tipo de polinización ha prosperado porque constituye un mecanismo muy efectivo que fomenta la polinización cruzada. Dentro de este sistema de polinización encontramos 3 estrategias: la alimentaria, presenta señales florales que son típicas de especies que ofrecen recompensa al polinizador, tales como la forma de la inflorescencia, el color de la flor o aroma entre otros (Gumbert & Kunze, 2001); la sexual, donde las flores imitan las señales de apareamiento (especialmente sus feromonas) y presentan señales visuales y táctiles de los insectos hembra, de modo que son polinizadas por los insectos macho atraídos, es el caso de las Orquídeas (Galizia *et al.*, 2005); y por último, la imitación de lugares de cría, por ejemplo, mediante la producción

de sustancias volátiles para imitar lugares de puesta como es el caso de las aráceas (Gibernau *et al.*, 2004; Castillo *et al.*, 1999; Albre *et al.*, 2003), las cuales utilizan un sistema llamado sapromiofilia, donde sus polinizadores (saprófitos o coprófagos) normalmente moscas o escarabajos (Boyce, 1993; Gibernau, 2003) son atraídos por olores similares a materia orgánica en descomposición o heces (Proctor *et al.*, 1996).

Aráceas

La familia de las aráceas comprende aproximadamente 110 géneros y 1800 especies, extendida por el norte de África, Europa y parte del continente asiático (Boyce, 1988). Dentro de ésta, el género *Arum* posee 28 especies caracterizadas por ser plantas de porte herbáceo con un rizoma o tubérculo (Boyce, 1988). Presentan una inflorescencia en espádice que consta de una espata normalmente petaloide que rodea completamente la inflorescencia (Barabé *et al.*, 2003). El conjunto de la inflorescencia y espata constituye un pseudanto y posee dos zonas bien diferenciadas: la cámara floral y la abertura de la espata. La cámara floral (parte inferior), que está protegida por la espata y posee una entrada en la parte superior, comprende la zona de la inflorescencia que lleva las flores, mientras que en la zona de la abertura de la espata (parte superior) se encuentra el apéndice o osmóforo, un órgano estéril relacionado con la difusión de los olores y la atracción de polinizadores (Gibernau *et al.*, 2004).

La distribución de las flores en la inflorescencia está organizada en 3 pisos (de abajo a arriba): flores femeninas, flores femeninas estériles (estaminodios), flores masculinas y flores estériles (estaminodios). Esta organización es crucial, ya que las primeras flores en madurar son las femeninas (protoginia) y durante esta fase (fase femenina), el osmóforo libera un olor similar al de carne en descomposición para atraer a los insectos. Una vez que estos han entrado no pueden salir a causa del segundo piso de flores estériles, que tienen forma de pelos. De este modo, los insectos permanecen en la cámara floral hasta que se abren las flores masculinas (Gibernau *et al.*, 2004). Esta cámara posee un tejido que permite que los polinizadores puedan respirar y sobrevivir dentro además de mantener unas condiciones de humedad (Knoll, 1926). Finalmente, en la segunda fase, maduran las flores masculinas (fase masculina) y se marchitan las flores estériles para que salgan los polinizadores y deban pasar por encima del polen, el cual quedará adherido en los insectos y podrán polinizar otras plantas favoreciendo la polinización cruzada (Knoll, 1926). En el caso de que se haya dado la fecundación la espata se pliega sobre sí misma protegiendo el espádice hasta el momento de la fructificación, mientras que si no se ha dado se pudre.

Además, se produce un proceso de termogénesis (Young, 1986; Yafuso, 1993), el cual se debe a un aumento de la respiración mitocondrial desacoplada de la producción de energía (Meeuse, 1978). Este proceso se divide en cuatro fases. Los dos primeros picos están relacionados con los movimientos de apertura de la inflorescencia. El tercero es producido por el apéndice, previo a la maduración de las flores masculinas, que es cuando las femeninas están activas y se atrae a los polinizadores, puesto que la temperatura ayuda a dispersar mejor los olores. El último es producido por las flores masculinas al día siguiente de la abertura de la espata, se cree que este último pico está relacionado con la liberación de polen (Gibernau *et al.*, 2004; Albre *et al.*, 2003). Por lo

que se refiere al apéndice, se ha visto que esta región es muy importante ya que en algunos estudios se ha observado una correlación entre el tamaño de este órgano y la cantidad de frutos producidos (Méndez & Díaz, 2001; Borràs, 2019).

Factores que condicionan el éxito reproductivo

Las aráceas poseen una estrategia muy especializada para promover la polinización cruzada, que es la polinización por engaño. El éxito reproductivo, medido como el cuajado del fruto y la producción de semillas, depende de factores como: el número de individuos, clima, polinizadores, sincronía floral, caracteres de la planta y fenología de la floración (Méndez & Díaz, 2001). El tamaño poblacional también es un factor importante a la hora de conocer el éxito reproductivo, ya que se ha visto que poblaciones pequeñas o individuos aislados provocan efectos negativos en el éxito reproductivo de una población (Widén & Widén, 1990). Por otro lado, la distancia entre plantas también es otro condicionante (Méndez & Díaz, 2001).

En cuanto a la sincronía floral, estudios en *Arum italicum* Mill. indican que las inflorescencias que se abren un día donde no haya más inflorescencias abiertas tienen una probabilidad 45% menor de fructificar que las que se abren días en los que hay más inflorescencias abiertas (Méndez & Díaz, 2001). Lo mismo pasa en *Arum maculatum* L. donde se ha observado que las inflorescencias que poseen una menor capacidad de formar frutos son las que se abren más lejos del pico de floración (Ollerton & Díaz, 1999). Por otra parte, también se ha visto que *A. italicum* ha desarrollado dos estrategias para asegurar el éxito reproductivo que consisten en especializar la inflorescencia en flores masculinas o femeninas: si se especializa en flores masculinas, se produce mucho polen con el objetivo de dispersarlo sin obtener frutos; en cambio, si se especializa en flores femeninas, el objetivo es formar muchas semillas (Méndez, 1998) por lo que la sincronía floral es un fenómeno crucial. La autopolinización en la familia *Araceae* es un fenómeno muy poco frecuente ya que en géneros como *Arum* no se da, y se ve en pocas especies como en *Montrichardia arborescens* L. aunque el porcentaje de frutos abortados es elevado (Gibernau, 2003). El clima también condiciona el éxito reproductivo, ya que se ha visto que la actividad de los polinizadores disminuye en temperaturas bajas (Bergman et al., 1996). Además, el polen que le llega a las flores femeninas dependerá de si los polinizadores han sido atrapados en otras inflorescencias previamente (Méndez y Obeso, 1992).

Como caracteres vegetativos, se debe tener en cuenta el tamaño del tubérculo, ya que algunos individuos pueden no florecer para aumentar el tamaño del tubérculo, ya que si realizan la floración el tamaño del tubérculo crece menos y más lentamente (Méndez & Obeso, 1993). De hecho, en *A. italicum* se ha visto una correlación positiva entre el tamaño de la inflorescencia y el del tubérculo (Méndez & Díaz, 2001), entre la longitud de su apéndice y la cantidad de insectos y la cantidad de polen (Méndez & Obeso, 1993), la longitud del apéndice y la producción de frutos (Méndez & Díaz, 2001) y por último la longitud del apéndice (Méndez & Díaz, 2001). Sin embargo, hay pocos estudios que evalúen el número de individuos sincrónicos en fase masculina (donadores de polen) y en fase femenina (competidores por el polen) sobre el éxito reproductivo (Méndez & Díaz, 2001; Borràs, 2019).

Arum pictum es una planta de porte herbáceo con un tubérculo subterráneo de entre 15 y 30 cm, enterrado como mínimo 5 cm, y que posee una hoja con una línea rojiza en el margen de la hoja y nerviación blanca (Boyce, 1988). Cada individuo puede producir una o dos inflorescencias (produce una media de 1,16 inflorescencias en cada época de floración) cuya espata de color lila facilita la distinción entre individuos (Albre *et al.*, 2003; Quilichini *et al.*, 2010). Se han descrito dos subespecies: *Arum pictum* subsp. *pictum* y *Arum pictum* subsp. *sagittifolium*. La primera, se encuentra en Córcega y Cerdeña, y posee hojas sin aurículas con un peciolo largo. La segunda, se encuentra en Mallorca y Menorca y algunos islotes adyacentes, posee hojas auriculadas con un peciolo más corto que la primera subespecie (Rosselló & Sáez, 1997).

La floración de *A. pictum* se produce en el otoño, en los meses de octubre y noviembre, a diferencia de la mayoría de aráceas que florecen en primavera (Gibernau *et al.*, 2004). Suele iniciarse tras las primeras lluvias que indican el principio de esta estación y dura dos meses (octubre y noviembre) hasta que se produce una decaída total. Los principales polinizadores son dípteros de las familias *Sphaeroceridae*, *Sciaridae* y *Scatopsidae* y coleópteros de la familia *Staphylinidae* entre los que destaca el género *Coproica* spp. (Quilichini *et al.*, 2010).

Finalmente, la fructificación se produce alrededor de mayo (Boyce, 1988). Los frutos se dispersan por endozoocoria (Halevy, 1985; Boyce, 1988). Normalmente, este efecto de dispersión es conocido como efecto percha, ya que las aves dispersoras se posan sobre las ramas de los acebuches (*Olea europea* L.) y expulsan las semillas con los excrementos. También se han observado individuos debajo de otras plantas como el lentisco (*Pistacia lentiscus* L.). Para el caso concreto de *A. pictum* ssp. *sagittifolium*, Borràs (2019) ha documentado que el principal dispersor es *Sylvia atricapilla*, además de *Alectoris rufa*, *Columba palumbus*, *Monticola solitarius* y *Turdus merula*. El periodo de fructificación *A. pictum* ssp. *sagittifolium* coincide con la anidación de la especie de *S. atricapilla* (Del Hoyo *et al.*, 2016), por lo tanto, los especímenes probablemente estaban buscando alimento para alimentar a sus crías (Snow & Snow 1988; Hernández 2005).

Objetivos

Mediante este trabajo se pretende profundizar en el conocimiento de la biología reproductiva de *A. pictum* ssp. *sagittifolium* y, más concretamente, en la fenología y sincronía de la floración y en los parámetros que afectan al éxito reproductivo. Así, se han estudiado los efectos de parámetros biométricos (altura, ancho máximo y diámetro de la abertura máxima de la espata) y espaciales (distancia mínima a las inflorescencias donadoras de polen, y número de individuos en fase masculina y femenina a 5 m a la redonda), así como el número de individuos sincrónicos en fase masculina (donantes) y en fase femenina (competidores) sobre el éxito reproductivo de la especie. El éxito reproductivo se ha evaluado mediante la probabilidad de inicio de la infrutescencia, el

número de frutos viables por inflorescencia, el número de semillas por inflorescencia y las dimensiones (ancho y alto) de la infrutescencia. Las hipótesis del trabajo son que la distribución espacial de los individuos, las características de estos y las características del propio individuo pueden condicionar el éxito reproductivo de cada individuo, ya que en trabajos realizados en otras especies de *Arum* se ha observado esta influencia, sobre todo la del osmóforo (apéndice).

Metodología

Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en la finca de Son Baco, en el término municipal de Campos (Mallorca). Para delimitar el área de estudio se hizo una exploración preliminar de la zona y se delimitó una zona de 1,04 ha (Figura 1).

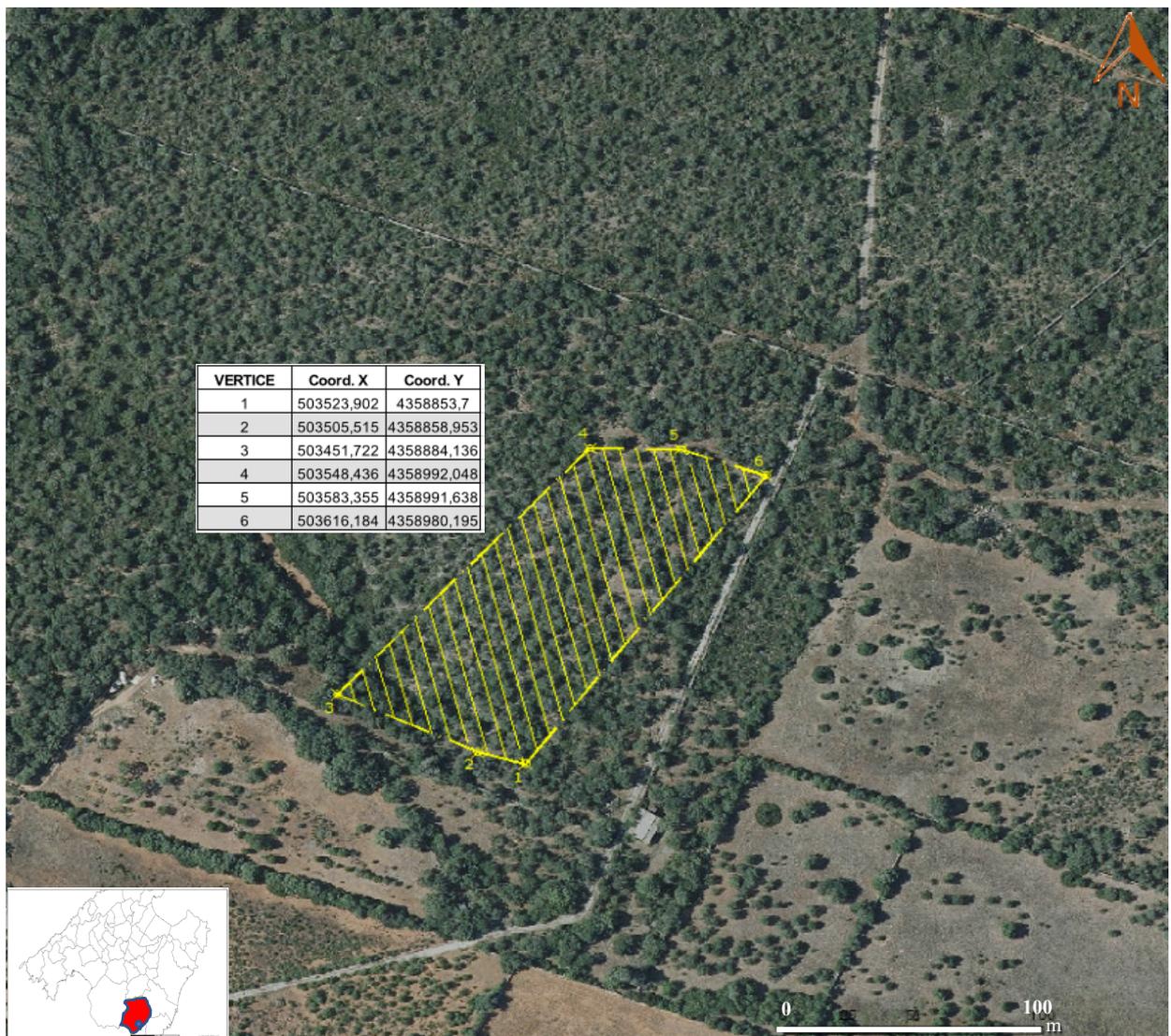


Figura 1. Izquierda: ofotofoto de la zona de estudio y las coordenadas UTM que comprenden la zona de estudio. Derecha: punto azul, ubicación de la zona de estudio en la isla de Mallorca; sombreado rojo, límites del término municipal.

La zona presenta una vegetación dominada principalmente por la vegetación esclerófila, con dominancia de *Pistacia lentiscus* y *Olea europaea*, por lo que se trata de la alianza *Oleo sylvestris-Ceratonion siliquae* dentro del orden *Quercetalia ilicis*. Este tipo de vegetación es típico de la zona del sur de Mallorca y está en el piso termomediterráneo con ombroclima semiárido y seco inferior (Llorens & Gil, 2017). Este hábitat es ideal para que se produzca la dispersión de esta especie mediante el efecto percha ya descrito anteriormente. De hecho, los individuos de *A. pictum* ssp. *sagittifolium* aparecen mayoritariamente debajo de individuos de las dos especies mencionadas.

Fenología y sincronía de la floración

Durante el período de la floración se realizaron muestreos cada 3-4 días para evaluar la fenología y sincronía de la floración. En cada uno de los muestreos se exploró la zona de estudio y se marcaron todos los individuos en floración (Figura A1, Anexo). También, se tomó nota del individuo en floración más cercano y los individuos en floración presentes en un radio de 5 metros (contexto vecino) diferenciando entre “donantes” (inflorescencias en fase masculina) o “competidores” (inflorescencias en fase femenina) y finalmente el número total de la población diferenciando entre donantes y competidores. Para poder llevar a cabo este proceso de clasificación de los individuos en machos y hembras se midió la temperatura de la espata (TE) y del espádice (TP), mediante un termómetro láser, y se observó la presencia o no de polen en la cámara floral. Las inflorescencias con una diferencia mínima TE-TP de 2 °C y sin la presencia de polen en su interior fueron clasificadas como inflorescencias en fase femenina. Todos los individuos en floración desarrollaron una única inflorescencia.

Variables analizadas

Parámetros biométricos que afectan al éxito reproductivo

Para cada individuo en floración se tomó nota de los siguientes parámetros:

- Diámetro de la cámara floral: es la entrada a la cámara floral. Se midió utilizando un pie de rey digital (Figura A2, Anexo). Unidad: centímetros.
- Altura del apéndice: representa la longitud de esta región. Se determinó mediante un pie de rey (Figura A2, Anexo). Dentro de este parámetro se realizó una diferenciación:
 - Altura del apéndice del donante más próximo: a partir de los datos de la altura del apéndice, de la diferencia de temperatura para distinguir entre donante y competidor, y de la distancia al individuo más cercano se puede calcular este parámetro con los donantes. Unidad: centímetros.
 - Altura del apéndice del competidor más próximo: se siguió el mismo procedimiento que en parámetro anterior, pero en los competidores. Unidad: centímetros.
- Altura de la espata: es la longitud medida desde la parte basal de la espata hasta el ápice. Se determinó mediante un flexómetro (Figura A3, Anexo). Unidad: centímetros.

- Abertura máxima de la espata: zona situada en la parte superior de la inflorescencia que deja visible el apéndice. Es la parte más ancha de la inflorescencia. Se determinó mediante un pie de rey digital (Figura A3, Anexo). Unidad: centímetros.
- Ancho del apéndice: representa el grosor de esta región. Se determinó mediante un pie de rey (Figura A3, Anexo). Dentro de este parámetro se realizó una diferenciación:
 - Ancho del apéndice del donante más próximo: a partir de los datos del ancho del apéndice, de la diferencia de temperatura para distinguir entre donante y competidor, y de la distancia al individuo más cercano se puede calcular este parámetro con los donantes. Unidad: centímetros.
 - Ancho del apéndice del competidor más próximo: se siguió el mismo procedimiento que en el parámetro anterior, pero en los competidores. Unidad: centímetros.
- Ratio altura apéndice/altura espata: calculado a partir de la altura del apéndice (cm) dividido entre la altura de la espata (cm). Se expresó como porcentaje y refleja qué porcentaje ocupa el apéndice de la altura total de la inflorescencia.

Fructificación

En el período correspondiente a la fructificación se tomaron los datos relativos al cuajado de la infrutescencia en el que se excluyeron a los individuos que no llegaron a esta fase. En las inflorescencias fructificadas se tomaron los siguientes datos:

- Número de frutos: es el total de frutos que posee la infrutescencia independientemente de si son viables o no (Figura A4, Anexo).
- Frutos abortados: son aquellos que no forman semillas. Se determinaron abriéndolos con un bisturí.
- Número de semillas: este valor fue calculado tras abrir una media de 10 frutos por infrutescencia, después se multiplicó el valor medio de las semillas que contenían estos frutos por el número de frutos.
- Ancho de la infrutescencia: tomada con un pie de rey digital para poder observar la vigorosidad de la infrutescencia (Figura A5, Anexo). Unidad: centímetros.
- Altura de la infrutescencia: para observar la vigorosidad de la infrutescencia. Tomada con un pie de rey digital (Figura A5, Anexo). Unidad: centímetros.
- Cuajado de fruto: calculado a partir del cociente entre el número de frutos viables y el número total de frutos. Su valor se expresa en porcentaje.
- Probabilidad de inicio de la infrutescencia: es la probabilidad de que se lleve a cabo el inicio de la infrutescencia, es decir si fructifica o no.

Análisis de datos

En primer lugar, se elaboraron medias de los parámetros con la finalidad de poder comparar los datos de esta especie con datos publicados para otras especies del mismo género o con otras poblaciones de la misma especie. A continuación, para valorar como afectan los parámetros biométricos y el contexto vecino sobre éxito reproductivo se realizaron análisis de regresión. Para las variables respuesta binomiales (cprobabilidad de inicio de la infrutescencia y cuajado del fruto) se realizó un modelo de regresión logística con estructura binomial, mientras que para la variable respuesta número de frutos viables y número de semillas se realizó un modelo de regresión logística con estructura Poisson. Para las variables respuesta relacionadas con las dimensiones de la infrutescencia (ancho y altura de la infrutescencia), previa comprobación de la normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas mediante el test de Shapiro-Willk, se aplicó un modelo de regresión lineal. Para todos los análisis estadísticos mencionados se realizaron pruebas de correlación. El nivel de significación viene dado mediante “*”. Todos estos datos han sido analizados mediante el programa informático R (R Development Core Team, 2019).

Resultados

VARIABLES ANALIZADAS Y SINCRONÍA DE LA FLORACIÓN

Arum pictum subsp. *sagittifolium* inició su floración a finales de septiembre, el pico de floración se produjo al final del mes de octubre – principios de noviembre y la floración cayó en picado habiendo solo 1 individuo en flor el día que coincidió con el final del otoño (Fig. 2).

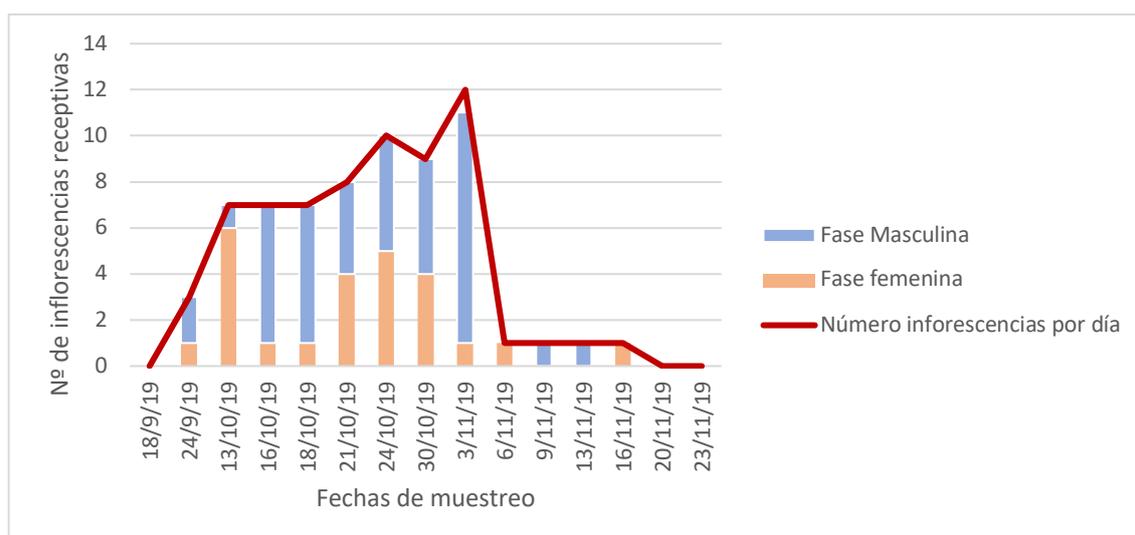


Figura 2. Número de individuos en floración observados en cada visita a la zona de estudio. Las barras indican la fase de la inflorescencia en el momento de fueron encontradas. En total florecieron 67 individuos.

En cuanto a los datos biométricos de la población se observó que el apéndice representaba una gran parte de la inflorescencia (31%) (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros relativos a la inflorescencia durante el periodo de floración y parámetros de sincronía floral. N = 67

VARIABLES	MEDIA	ERROR
Altura de la espata (cm)	12,03	± 0,26
Abertura máxima de la espata (cm)	3,72	± 0,15
Diámetro de la cámara floral (cm)	1,01	± 0,09
Altura del apéndice (cm)	3,71	± 0,12
Ancho del apéndice (cm)	0,60	± 0,02
Número de donantes por día	3,15	± 0,36
Número de competidores por día	1,92	± 0,23

Parámetros reproductivos

Tan solo 33 de las 67 inflorescencias fructificaron (49,25%), en la que se observó que el número de frutos viables representa el 86,27% del total de frutos y el número de abortados representa el 13,73% (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de la infrutescencia, además del cuajado de fruto. N = 67

Variables	Media	Error
Nº frutos	41	± 3
Nº semillas	75	± 7
Frutos abortados	5	± 1
Frutos viables	36	± 3
Alto de la infrutescencia (cm)	3	± 0,2
Ancho de la infrutescencia (cm)	3	± 0,2
Cuajado de fruto (%)	86,27	± 0,02

En todos los análisis se han realizado test de correlación en los que el resultado siempre ha sido una correlación positiva, por lo que no viene indicado en las siguientes tablas. El análisis de regresión logística mostró que los parámetros biométricos (abertura de la espata, altura de la espata, ancho y alto del apéndice del donante más próximo); y el contexto vecino (nº de donantes, distancia al individuo más próximo y nº de donantes a 5m) mostraron un resultado significativo (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión logística para la probabilidad de inicio de la infrutescencia por *Arum pictum* en función de los parámetros biométricos de inflorescencia, contexto vecino y sincronía de floración. N = 67.

Variables	Error	R²	P-valor
Nº de donantes	± 0,07	0,71	0,0006***
Nº de competidores	± 0,11	0,15	0,2195
Altura del apéndice del donante más próximo (cm)	± 0,79	0,77	0,0001***
Abertura máxima de la espata (cm)	± 0,11	0,53	0,0071**
Diámetro de la cámara floral (cm)	± 0,14	0,23	0,1166
Ancho del apéndice del donante más próximo (cm)	± 0,09	0,77	0,0001***
Altura de la espata (cm)	± 0,15	0,4	0,0284*
Ancho del apéndice del competidor más próximo (cm)	± 0,11	0,08	0,3758
Altura del apéndice del competidor más próximo (cm)	± 0,12	0,13	0,728
Nº de donantes a 5 m	± 0,24	0,66	0,0488*
Nº de competidores a 5 m	± 0,30	0,01	0,86
Distancia al individuo más cercano en fase masculina (m)	± 0,09	0,62	0,0023**

En el análisis de regresión donde la variable respuesta era el nº de semillas se observaron resultados significativos para el alto y ancho del apéndice del donante más próximo y para la altura del apéndice del competidor más próximo (Tabla 4). Por lo que se refiere al nº de frutos viables como variable respuesta se han obtenido valores significativos para el alto y ancho del apéndice del donante más próximo, el nº de donantes a 5 m a la redonda y la distancia al individuo más cercano (tabla 4).

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión logística entre las variables respuesta nº de frutos viables y nº de semillas y las variables explicativas contexto vecino, datos biométricos y sincronía de la floración. N = 67.

Var. Explicativa ↓	Nº de frutos viables			Nº de semillas		
	Error	R ²	P-valor nº de semillas	Error	R ²	P-valor nº de frutos viables
Altura de la espata (cm)	± 0,21	0	0,7681	± 0,59	0,01	0,6844
Abertura máxima de la espata (cm)	± 0,05	0	0,7014	± 1,52	0	0,8662
Ancho del apéndice del donante más próximo (cm)	± 3,15	0,01	0,6946	± 0,21	0,77	0,0002***
Diámetro de la cámara floral (cm)	± 0,09	0,47	1.522e ⁻⁰⁵ ***	± 0,75	0	0,7304
Altura del apéndice del donante más próximo (cm)	± 0,09	0,34	0,0004***	± 0,21	0,77	0,0001***
Nº de competidores	± 0,16	0	0,8369	± 0,28	0,20	0,143
Nº de donantes	± 0,12	0,84	2.34e ⁻¹³ ***	± 0,29	0,33	0,0527
Altura apéndice competidor más próximo (cm)	± 0,19	0,7	0,0007***	± 0,28	0,29	0,0846
Ancho del apéndice del competidor más próximo (cm)	± 1,41	0,2	0,142	± 0,27	0,20	0,1432
Nº de donantes a 5 m	± 0,23	0,18	0,1729	± 0,24	0,66	0,0488*
Nº de competidores a 5 m	± 0,24	0,32	0,0572	± 0,30	0,01	0,86
Distancia al individuo más próximo en fase masculina (m)	± 0,24	0,66	0,0488*	± 0,09	0,62	0,0023**

En el análisis de regresión donde la variable respuesta fue la probabilidad de inicio de infrutescencia se observaron valores significativos para la altura y ancho del apéndice del donante más próximo y para la altura del apéndice del competidor más próximo (tabla 5).

Tabla 5. Resultados del análisis de regresión logística para el cuajado de fruto en *Arum pictum* utilizando las variables explicativas: parámetros biométricos, contexto vecino y sincronía de floración. N = 67.

Variables	Error	R²	P-valor
Altura de la espata (cm)	± 0,22	0,02	0,4347
Abertura máxima de la espata(cm)	± 0,10	0,02	0,4968
Ancho del apéndice del donante más próximo (cm)	± 0,13	0,6	0,003**
Diámetro de la cámara floral (cm)	± 0,05	0	0,8157
Altura del apéndice del donante más próximo (cm)	± 0,23	0,6	0,003**
Nº de competidores	± 0,13	0,24	0,1014
Nº de donantes	± 0,14	0,27	0,0824
Altura apéndice competidor más próximo (cm)	± 0,13	0,36	0,0497*
Ancho del apéndice del competidor más próximo (cm)	± 0,27	0,20	0,1432
Nº de donantes a 5 m	± 0,18	0,02	0,8136
Nº de competidores a 5 m	± 0,30	0,12	0,5031
Distancia al individuo más próximo en fase masculina (m)	± 0,13	0,01	0,5833

Finalmente, se repitió en análisis usando como variable respuesta las dimensiones (alto y ancho) de la infrutescencia. Para el ancho no se obtuvieron valores significativos, en cambio, para el alto la distancia al individuo más próximo sí que aportó un nivel de significación además de las dimensiones (alto y ancho) del apéndice (Tabla 6).

Tabla 6. Regresiones lineales entre las variables respuesta altura y ancho de la infrutescencia frente a las variables explicativas datos biométricos, contexto vecino y sincronía de la floración. N = 67

Variables Explicativas	Altura de la infrutescencia			Ancho de la infrutescencia		
	Error	R ²	P-valor altura	Error	R ²	P-valor ancho
Altura de la espata	± 1,12	0,04	0,3124	± 0,96	0,07	0,1478
Diámetro de la cámara floral (cm)	± 0,27	0	0,88	± 0,23	0,02	0,4841
Abertura máxima de la espata (cm)	± 0,47	0,05	0,2032	± 0,42	0,03	0,3537
Altura del apéndice (cm)	± 0,85	0,01	0,4807	± 0,75	0	0,7766
Altura del apéndice del donante mas próximo (cm)	± 0,6	0,58	0,0038**	± 0,09	0,01	0,7286
Ancho del apéndice del donante más próximo (cm)	± 0,57	0,67	0,0011**	± 0,09	0,34	0,5636
Nº de competidores	± 0,63	0,23	0,1183	± 0,07	0,01	0,7322
Nº de donantes	± 0,67	0,32	0,0538	± 0,07	0,19	0,1529
Nº de donantes a 5 m	± 1,25	0,14	0,4592	± 0,18	0,35	0,214
Nº de competidores a 5 m	± 1,08	0,04	0,6955	± 0,16	0,07	0,5918
Distancia al individuo más próximo en fase masculina (m)	± 0,71	0,37	0,0354*	± 0,08	0,01	0,7358

Discusión

Se ha visto que la dinámica de la floración de la especie de estudio sigue una curva en la que se puede observar un aumento del número de inflorescencias abiertas por día hasta llegar a un pico en el que después se observa un rápido decrecimiento que indica la finalización de la época de floración de la especie. Esta tendencia de floración también puede ser observada en el estudio realizado en *A. italicum* (Albre & Gibernau, 2008).

La sincronía floral es un factor muy importante para el éxito reproductivo de una especie, especialmente en las especies que producen una sola unidad de floración o pocas (Totland, 1994). De hecho, se ha observado que la sincronía de la floración condiciona el éxito reproductivo en otras especies de aráceas, como *A. maculatum* (Ollerton & Díaz, 1999) y *A. italicum* (Méndez & Díaz, 2001). Aunque trabajos anteriores han apuntado que *Arum pictum* produce 1,16 inflorescencias por individuo (Quilichini et al., 2010), en este estudio todos los individuos analizados han producido una única inflorescencia.

La sincronía floral ha sido evaluada mediante el número de competidores y donantes sincrónicos, a nivel poblacional y 5 m a la redonda. En la población de estudio, se ha observado que, en ambos casos, el número de individuos sincrónicos, concretamente los donantes, afecta positivamente sobre la probabilidad de inicio de la infrutescencia y el número de semillas. Estos resultados coinciden con los publicados para *A. italicum* en trabajos anteriores (Méndez, 1998; Méndez & Díaz 2001). Esta influencia positiva no se ve reflejada en otros estudios realizados con la misma especie donde los donantes a 5m reducen la presencia de polinizadores y producción de semillas (Borràs, 2019). En cuanto a las inflorescencias en fase femenina, en esta población vemos que estas potencian la probabilidad de inicio de infrutescencia y la producción de frutos, otros estudios reportan resultados similares, pero haciendo referencia a la abundancia de polinizadores (Borràs, 2019) y también contrarios (Rust, 1980) y otros en los que se dice que depende de la población (Méndez & Díaz, 2001). La distancia al individuo donante más cercano se ha visto que afectó a la probabilidad de inicio de la infrutescencia, al número frutos viables y al número de semillas, aunque, en otros estudios realizados en *A. italicum* este efecto no se ha visto reflejado sobre la probabilidad de inicio de la infrutescencia (Méndez & Díaz, 2001).

Por lo que se refiere a los parámetros biométricos, el apéndice representa una gran parte de la altura de la inflorescencia (31%), datos similares se han observado para poblaciones de *A. pictum* ssp. *pictum* (Quilichini et al., 2010).

En cuanto a los parámetros reproductivos, se ha visto que la producción de semillas es similar a la de otros estudios realizados en el género *Arum*. El 49,25% de los individuos llegó a fructificar, una tasa bastante elevada si lo comparamos con otros estudios que muestran una tasa de fructificación oscila alrededor de un 30% (Borràs, 2019; Quilichini et al., 2010). Esta diferencia puede ser originada por la mayor o menor abundancia de polinizadores (Borràs, 2019). Si comparamos la producción de frutos con el estudio realizado por Albre et al. (2003) donde se analizó una población de *A. italicum* y otra de

A. maculatum, se observa que la población de este estudio se asemeja más a la especie *A. italicum* en cuanto a número de frutos.

El papel que juegan los parámetros biométricos en el éxito reproductivo es importante ya que este ha sido evaluado en otros estudios como el de Méndez & Díaz (2001) en *A. italicum* pero no en *A. pictum*. Se ha visto que el apéndice juega un papel importante en la reproducción de las aráceas, aunque la mayoría de los estudios se ha centrado en comentar este fenómeno de manera cualitativa (Lack & Díaz, 1991) y algunos de manera cuantitativa como Méndez & Díaz (2001) pero no en esta especie. En esta especie se han realizado estudios de como afectan los parámetros biométricos sobre el éxito reproductivo y la atracción de polinizadores (Borràs, 2019) pero no los parámetros biométricos del contexto vecino. Los resultados muestran que altura del apéndice del donante más próximo potencia el éxito reproductivo para todas las variables analizadas salvo para el ancho de la infrutescencia, al igual que su ancho salvo en el ancho de la infrutescencia y el nº de frutos viables. Este resultado es equiparable a otros estudios que han evaluado la importancia de este órgano en *A. italicum*, donde se ha visto que juega un papel importante en la atracción de los polinizadores y en el inicio de la infrutescencia (Méndez & Díaz, 2001; Méndez & Obeso, 1992). Esta relación puede deberse a que los donantes que poseen apéndices de gran tamaño deberían atraer a una mayor cantidad de polinizadores (Méndez & Obeso, 1992).

La abertura de la espata también juega un papel muy importante sobre la probabilidad de inicio de infrutescencia, potenciándola. Esto puede ser debido a que una entrada más grande permite que polinizadores de mayores dimensiones puedan acceder a la cámara floral (Borràs, 2019). De la misma manera pasa con la altura de la espata, se ha visto que esta potencia la probabilidad de inicio de infrutescencia, posiblemente, ya que esta actúa como reclamo visual por lo que un tamaño mayor incrementa el reclamo de polinizadores. Relaciones similares han sido observadas en el estudio realizado por Díaz & Kite (2006) donde un número mayor de polinizadores quedaban atrapados en los individuos con espatas de mayor tamaño. Pese a esto, no se ha visto relación entre este parámetro y la producción de frutos, ya que se han observado relaciones negativas entre ambas variables, lo que puede ser debido a un efecto de limitación de recursos (Borràs, 2019).

Finalmente, sería interesante en estudios futuros tener datos de la geolocalización de los individuos en la población con la finalidad de analizar de manera más precisa el efecto espacial de los individuos sincrónicos sobre el éxito reproductivo. Por otra parte, deberían analizarse los caracteres vegetativos de la planta ya que trabajos anteriores han valorado como los parámetros vegetativos como el tamaño de las hojas, influyen sobre el éxito reproductivo de otras especies del género *Arum* (Quilichini *et al.*, 2010), pero se desconoce en esta especie.

Conclusiones

Las principales conclusiones de este estudio son:

1. El éxito reproductivo de *Arum pictum* ssp. *sagittifolium* está condicionado por la presencia de otros individuos que actúan como donantes de polen, tanto a 5 m a la redonda como en el conjunto de la población, y no solo por su presencia sino también por la distancia que los separa.
2. El apéndice juega un papel muy importante en el contexto de la polinización ya que condiciona el éxito reproductivo de la especie actuando como reclamo de polinizadores.
3. La altura y la abertura de la espata también son parámetros que pueden condicionar el éxito reproductivo. El primero juega un papel de reclamo y el segundo posibilita el acceso a la cámara floral.

Agradecimientos

Agradezco sobretodo a mi tutora Joana Cursach Seguí la realización de este estudio ya que, sin ella no hubiese sido posible. También agradezco a todo el personal del Área de Botánica que me facilitó el instrumental necesario para poder llevar a cabo este estudio. Finalmente, agradecer la ayuda a todas aquellas personas que me acompañaron a la hora de recoger los datos del estudio: Maria Manresa, Maria Eulalia Periago, Javier Molina, Miguel Lladó, Fernando Dionel Cortés y José Ignacio Delgado.

Bibliografía

- Albre, J., & Gibernau, M. (2008). Reproductive biology of *Arum italicum* (Araceae) in the south of France. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 156(1), 43-49.
- Albre, J., Quilichini, A., & Gibernau, M. (2003). Pollination ecology of *Arum italicum* (Araceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141(2), 205-214.
- Arroyo-Pérez, E., Jiménez-Sierra, C. L., Zavala-Hurtado, J. A., Flores-Rivas, J. D., & Salgado-Ugarte, I. H. (2019). Fenología, sincronía floral y éxito reproductivo de *Neolloydia conoidea* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 97(4), 579-587.
- Barabé, D., Lacroix, C., & Gibernau, M. (2003). Development of the flower and inflorescence of *Arum italicum* (Araceae). *Canadian Journal of Botany*, 81(6), 622-632.
- Bergman, P., Molau, U., & Holmgren, B. (1996). Micrometeorological impacts on insect activity and plant reproductive success in an alpine environment, Swedish Lapland. *Arctic and Alpine Research*, 28(2), 196-202.
- Blondel J. (2010) The Mediterranean region: biological diversity in space and time. *Oxford University Press*. Editor: OUP Oxford.
- Borràs, J. I. (2019). Effects of anthropization on the pollination and fruit dispersal of the gymnesic endemism *Arum pictum* ssp. *sagittifolium* Roselló & Sàez. Tesis de Máster. *Universitat de les Illes Balears*.
- Boyce, P. (1988). 102. *Arum pictum* Araceae. *The Kew Magazine*, 5(2), 72-76.
- Castillo, R. A, Cordero, C., & Domínguez, C. A. (1999). Ecología y evolución de la polinización por engaño. *Botanical Sciences*, (64), 57-64.
- Del Hoyo J., Elliott A., Sargatal J., Christie D. (2016) *Handbook of the Birds of the World Alive*.
- Diaz, A., & Kite, G. C. (2006). Why be a rewarding trap? The evolution of floral rewards in *Arum* (Araceae), a genus characterized by saprophilous pollination systems. *Biological Journal of the Linnean Society*, 88(2), 257-268.
- Faegri, K., & Pijl, L. VAN DER. 1979. The principles of pollination ecology. *New York: Pergamon Press*, 64, 6-7.
- Galizia, C. G., Kunze, J., Gumbert, A., Borg-Karlson, A. K., Sachse, S., Markl, C., & Menzel, R. (2005). Relationship of visual and olfactory signal parameters in a food-deceptive flower mimicry system. *Behavioral Ecology*, 16(1), 159-168.
- Gibernau, M., Macquart, D., Diaz, A., House, D., Fern-Barrow, P., & Dorset, B. (2003). Pollen viability and longevity in two species of *Arum*. *Aroideana*, 26, 58-62.
- Gibernau, M., Macquart, D., & Przetak, G. (2004). Pollination in the genus *Arum*—a review. *Aroideana*, 27, 148-166.
- Gumbert, A., & Kunze, J. (2001). Colour similarity to rewarding model plants affects pollination in a food deceptive orchid, *Orchis boryi*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 72(3), 419-433.
- Halevy, A. H., & Janzen, D. H. (1985). *CRC Handbook of Flowering—Volume II*.
- Hernández, A. (2005). Blackcaps, *Sylvia atricapilla* and blackbirds, *Turdus merula* feeding their nestlings and fledglings on fleshy fruit. *Folia Zoologica-Praha*-, 54(4), 379.

- Knoll, F. (1926). Die *Arum*-Blütenstände und ihre Besucher (Insekten und Blumen IV). *Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*, 12, 379-481.
- Lack, A. J., & Díaz, A. (1991). The pollination of *Arum maculatum* L. A historical review and new observations.
- Llorens, L., & Gil, L. (2017). The Balearic Islands. In *the Vegetation of the Iberian Peninsula* (pp. 3-33). Springer, Cham.
- Médail F., Quezel P. (1997) Hot-Spots Analysis for Conservation of Plant Biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84:112.
- Meeuse, B. J. D. (1978). The physiology of some sapromyophilous flowers. The Pollination of Flowers by Insects. *Academic Press, London, UK*, 97-104.
- Méndez, M. (1998). Modification of phenotypic and functional gender in the monoecious *Arum italicum* (Araceae). *American Journal of Botany*, 85(2), 225-234.
- Méndez, M., & Díaz, A. (2001). Flowering dynamics in *Arum italicum* (Araceae): relative role of inflorescence traits, flowering synchrony, and pollination context on fruit initiation. *American Journal of Botany*, 88(10), 1774-1780.
- Méndez, M., & Obeso, J. R. (1992). Influencia del osmóforo en la producción de infrutescencias en *Arum italicum* Miller (Araceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 50(2), 229-237.
- Méndez, M., & Obeso, J. R. (1993). Size-dependent reproductive and vegetative allocation in *Arum italicum* (Araceae). *Canadian Journal of Botany*, 71(2), 309-314.
- Quilichini, A., Macquart, D., Barabé, D., Albre, J., & Gibernau, M. (2010). Reproduction of the West Mediterranean endemic *Arum pictum* (Araceae) on Corsica. *Plant systematics and Evolution*, 287(3-4), 179-187.
- Ollerton, J., & Díaz, A. (1999). Evidence for stabilising selection acting on flowering time in *Arum maculatum* (Araceae): the influence of phylogeny on adaptation. *Oecologia*, 119(3), 340-348.
- Proctor, M., Yeo, P., & Lack, A. (1996). The natural history of pollination. *HarperCollins Publishers*.
- Rosselló J. A., Sáez L. (1997) Notes on some Balearic Araceae. *Acta Botanica Barcinonensia*, 44:169–170.
- Rust, R. W. (1980). Pollen movement and reproduction in *Arisaema triphyllum*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 539-542.
- Sáez L., Fraga P., López-Alvarado J. (2013) The Flora of the Balearic Islands. In: Islands and plants: preservation and understanding of flora on Mediterranean islands. *Consell Insular de Menorca, Mahón*, pp 91–103.
- Snow B.K., Snow D.W. (1988) Birds and Berries. *T & AD Poyser Ltd, London*.
- Thompson J.D. (2005) Plant evolution in the Mediterranean. *Oxford University Press*.
- Totland, Ö. (1994). Intraseasonal variation in pollination intensity and seed set in an alpine population of *Ranunculus acris* in southwestern Norway. *Ecography*, 17(2), 159-165.

- Tuomi, J., Lämsä, J., Wannas, L., Abeli, T., & Jäkäläniemi, A. (2015). Pollinator behaviour on a food-deceptive orchid *Calypso bulbosa* and coflowering species. *The Scientific World Journal*.
- Yafuso, M. (1993). Thermogenesis of *Alocasia odora* (Araceae) and the role of *Colocasiomyia* flies (Diptera: *Drosophilidae*) as cross-pollinators. *Environmental Entomology*, 22(3), 601-606.
- Widén, B., & Widén, M. (1990). Pollen limitation and distance-dependent fecundity in females of the clonal gynodioecious herb *Glechoma hederacea* (Lamiaceae). *Oecologia*, 83(2), 191-196.
- Young, H. J. (1986). Beetle pollination of *Dieffenbachia longispatha* (Araceae). *American Journal of Botany*, 73(6), 931-944.

Anexo



Figura A1. *Arum pictum* subsp. *sagittifolium* en el campo. Trabajo propio

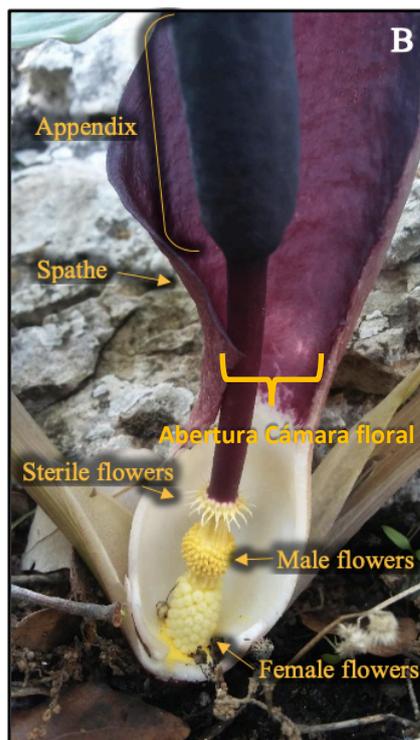


Figura A2. Partes de la inflorescencia de *Arum pictum* subsp. *sagittifolium*. Extraída de Borràs, 2019 (con modificaciones).



Figura A3. Morfología de la inflorescencia de *Arum pictum* subsp. *sagittifolium*. Extraída de Borràs 2019 (con modificaciones)

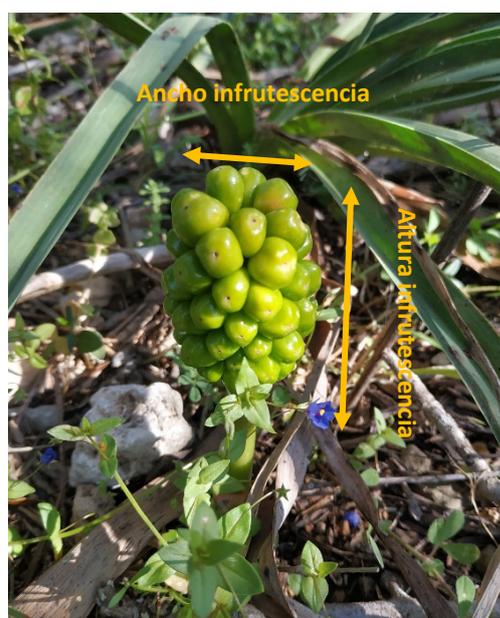


Figura A4. Morfología de la infrutescencia de *Arum pictum* subsp. *sagittifolium* en el campo. Infrutescencia inmadura. Trabajo propio