



UNIVERSIDAD DE LAS ISLAS BALEARES
FACULTAD DE CIENCIAS

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE
GERMINACIÓN DE DIFERENTES POBLACIONES DE
TRES ESPECIES DE HERBÁCEAS
MEDITERRÁNEAS: *Ampelodesmos mauritanica*,
Oryzopsis miliacea Y *Dactylis glomerata***

Moisés Nieto Nogales

Febrero 2012

Trabajo de fin de Grado; Grado de Biología
Dirigido por: Dra. Elena Baraza Ruiz Departamento de Biología

Prefacio

El desarrollo del presente proyecto ha posibilitado la adquisición de multitud de conocimientos y competencias. En primer lugar, he podido participar en la elaboración de un diseño experimental real, teniendo que superar en grupo los problemas que se han ido presentando durante el transcurso del trabajo. He aprendido también a planificar en el tiempo un proyecto de tales dimensiones y a responsabilizarme de la correcta obtención de los resultados.

Durante su desarrollo, he conocido y llevado a cabo los métodos usuales en ensayos de germinación y me he familiarizado con el material correspondiente. La búsqueda bibliográfica me ha permitido indagar sobre temas relacionados con la germinación, pudiendo adquirir una mayor comprensión de su importancia y de la necesidad de su estudio. He conocido además las bases de datos de artículos científicos más apropiadas para este campo de estudio y agilizado la comprensión lectora de la literatura científica escrita en inglés.

He realizado por primera vez un análisis estadístico empleando resultados propios y aprendido nociones de estadística que me han permitido determinar el tipo de test más adecuado dependiendo de la distribución seguida por las variables estudiadas. La redacción de esta memoria ha supuesto también una primera aproximación a la elaboración de un escrito en lenguaje científico.

Considero haber dado lo mejor de mí mismo durante todo el proceso y haber dedicado el tiempo y el esfuerzo suficiente para cumplir con las competencias exigidas. Globalmente, ha sido una experiencia muy enriquecedora que, de seguro, será de gran utilidad en la futura vida laboral como biólogo.

Resumen

La generación de energía a partir de la biomasa de gramíneas supone una innovadora alternativa al uso de combustibles fósiles como fuente de energía. Puesto que las dinámicas germinativas de estas especies son determinantes en la viabilidad de su cultivo, se evaluó la germinación de tres especies de gramíneas perennes propias del mediterráneo y con potencialidad de ser usadas como fuente de biomasa: *Dactylis glomerata*, *Oryzopsis miliacea* y *Ampelodesmos mauritanica*. Para cada especie, se escogieron tres poblaciones de Mallorca y se realizó un ensayo de germinación en condiciones de oscuridad, alternando 12 horas a 20°C y 12 horas a 10°C y registrándose el número de semillas germinadas con cierta periodicidad hasta observarse germinación constante. Para cada población de semillas se determinó el tamaño de las semillas, su germinación final y la velocidad cuantificada como R'_{50} y *Peak Value*.

La capacidad de germinación fue de casi el 100% en *A. mauritanica* y superó el 70% en el caso de *D. glomerata*. Aunque *O. miliacea* presentó un porcentaje de germinación medio ligeramente superior al 80%, su germinación fue muy irregular y lenta en las tres poblaciones estudiadas. Para las tres especies, se encontraron siempre diferencias en la germinación entre poblaciones. Por un lado, el porcentaje de germinación final no varió entre las poblaciones de *A. mauritanica*, pero sí en el caso de *D. glomerata* y *O. miliacea*. Sin embargo, en las tres especies hubo al menos una población que presentó una velocidad de germinación distinta. El tamaño de las semillas fue también distinto en al menos una de las poblaciones de cada especie. Se concluye así que la distancia geográfica condiciona la dinámica germinativa de las poblaciones, ergo es necesario considerar su efecto la hora de seleccionar la población original para la producción de semillas para cultivo en la producción de biocombustibles.

Introducción

El interés por la generación de energía a partir de fuentes renovables ha crecido exponencialmente durante los últimos años debido a la necesidad de recurrir a nuevas fuentes de energía, reduciendo así la excesiva dependencia de los combustibles fósiles. El incremento del precio de los combustibles fósiles y su decreciente disponibilidad a nivel global ha provocado que la dependencia de éstos deje de ser un tema secundario desde el punto de vista político en la mayoría de países desarrollados. Sumado a este hecho, se añade además la creciente preocupación social por las consecuencias del cambio global, derivado en parte de la emisión de gases de efecto invernadero (Solomon, 2010). Ante esta situación, la generación de energía a partir de biomasa supone otra alternativa a la dependencia de los derivados del petróleo y otros combustibles fósiles como fuentes de energía primarias. Esta dependencia parece ser partícipe del aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre en los últimos 150 años y es causante parcial de la contaminación atmosférica en zonas urbanas e industriales.

La obtención de biocombustibles ligno-celulósicos se lleva a cabo a partir de biomasa celulósica (tallos de plantas, hierbas, paja, maderas...) en lugar de utilizar productos agrícolas que puedan ser destinados a la alimentación. De esta forma, se consigue una producción de biomasa más sostenible, barata y abundante que no compromete el cultivo de especies de plantas para la alimentación humana como el maíz, la caña de azúcar, la remolacha o el trigo.

La utilización de especies herbáceas perennes representa una alternativa más sustentable desde el punto de vista ecológico y económico que el uso de especies anuales (Smeets et al., 2009; Solomon, 2010; Zegada-Lizarazu et al., 2010). Entre sus ventajas destacan sus bajos costes de producción, favorecidos en parte por la disminución de los costes de implantación, sus relativamente bajas necesidades de agua y nutrientes, su adaptabilidad a zonas marginales y su capacidad de almacenar carbono en el sistema radicular (Dondini et al., 2009). No obstante, no todas las especies herbáceas perennes susceptibles de ser utilizadas en la producción de biocombustible presentan estas ventajas y, de hecho, cada una de ellas presenta inconvenientes específicos. En general, en la mayor parte de estas especies se ha puesto de manifiesto la falta de conocimientos agronómicos y ecofisiológicos y la escasez de infraestructuras adecuadas para su aprovechamiento que permitan su cultivo a gran escala (Lewandowski et al., 2003; Zegada-Lizarazu et al., 2010). Aun así, se han producido muchos avances en las especies herbáceas perennes *Panicum virgatum* y *Miscanthus spp.* durante la última década, siendo destacable su potencial en muchas zonas de clima templado y subtropical (McLaughlin y Walsh, 1998; Smeets et al., 2009; Ghimire et al., 2009).

Sin embargo, las zonas de clima mediterráneo, tradicionalmente menos productivas en seco, no han recibido suficiente atención en lo que respecta al estudio de especies herbáceas perennes potencialmente útiles en la producción de biocombustibles. En muchas ocasiones, estas zonas se caracterizan por una deficiente e imprevisible precipitación y por una baja fertilidad física y química del suelo. Así pues, profundizar en el conocimiento de estas especies y explorar nuevas especies altamente eficientes en el uso del agua y de nutrientes que puedan ser utilizadas en zonas marginales de clima mediterráneo podría permitir el cultivo de suelos improductivos o de baja rentabilidad, pudiendo recuperar así antiguas zonas de cultivo abandonadas por esta razón.

La siembra directa es actualmente el sistema de cultivo de gramíneas perennes para la generación de biomasa más barato (Clifton-Brown et al., 2011). Por ese motivo, es fundamental evaluar las dinámicas germinativas y sus requerimientos, pudiendo así determinar la viabilidad de su cultivo. En este contexto, en el presente trabajo de fin de grado se evalúa la capacidad y rapidez germinativa de tres especies de gramíneas perennes propias del mediterráneo y susceptibles de ser utilizadas como fuente de biomasa. Las

especies seleccionadas fueron *Dactylis glomerata* (L.), *Oryzopsis miliacea* (L.) y *Ampelodesmos mauritanica* (Poiret) T. Durand et Schinz.

Dactylis glomerata se emplea en la actualidad como forraje de alta calidad para ganado (Hycka, 1968) y protección del suelo frente a la erosión (Hafenritcher, 1968). Su voluminosa raíz la convierte además en una planta que mejora las cualidades del suelo (Hycka, 1968). *Oryzopsis miliacea* resulta útil tanto para forraje como para control de la erosión (Celik, 1998), para la revegetación de taludes (Tormo, 2007) y para la restauración de canteras (Jorba y Vallejo, 2008), habiéndose usado con éxito en la fitoremediación de suelos contaminados con Zn y Pb (García, 2004). Por otro lado, *Ampelodesmos mauritanica* es utilizada también en la estabilización del suelo de taludes y en la jardinería de bajo mantenimiento en zonas cercanas a la costa. El presente estudio se centró en la comparación entre tres poblaciones de cada una de las especies evaluadas en condiciones de temperatura de 12 horas a 20°C y 12 horas a 10°C en oscuridad.

Está demostrado que las distintas poblaciones de especies de plantas pueden presentar diferencias en su morfología y fisiología (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989) y variaciones en sus tasas de germinación de acuerdo con su posición geográfica. Las causas incluyen tanto diferencias genéticas como las condiciones ambientales en las que se desarrollan las semillas (Stebbins, 1971). Varios estudios han determinado además variaciones relacionadas con el hábitat en los requisitos de germinación dentro de la misma especie creciendo en distintas localidades (Hacker et al. 1984; Honěk y Martinková, 1996) y microhábitats (Shimono y Kudo, 2003). Estos resultados sugieren que la adaptación de los requisitos de germinación de las semillas puede ocurrir en respuesta a diferencias muy pequeñas en las condiciones ambientales.

La hipótesis de partida del trabajo supone que las tres especies de gramíneas a estudiar presentarán tasas de germinación diferenciales, y que las capacidades germinativas de distintas poblaciones de estas mismas especies se verán influenciadas por la distancia geográfica que las separa y las diferencias climáticas de cada zona.

El objetivo del proyecto es la caracterización de las semillas de tres poblaciones de *Ampelodesmos mauritanica*, *Oryzopsis miliacea* y *Dactylis glomerata* y la determinación de sus capacidades germinativas.

Material y métodos

I. Material vegetal

Dactylis glomerata es una gramínea perenne y erecta que forma manojos. Su lígula es larga y blanquecina y la inflorescencia es una panícula con espiguillas aglomeradas en ramas. Puede encontrarse espontánea en zonas de clima templado de Europa, el norte de África y Asia (Muslera, 1991). Las poblaciones del norte de Europa requieren tanto luz como temperaturas elevadas para alcanzar su máximo de germinación, mientras que las poblaciones mediterráneas presentan altas tasas de germinación en oscuridad y a temperatura constante (Robert, 1985).

Oryzopsis miliacea es una poácea resistente a la sequía que crece fácilmente en lugares perturbados en los que ha desaparecido la maleza. Sin embargo, presenta dificultades para establecerse sobre suelos cultivados o zonas sin perturbar (Kennedy, 1918; Love, 1947), siendo una mala competidora en los estadios más tempranos de su desarrollo y teniendo un crecimiento notablemente lento en el estado de plántula. La germinación de sus semillas es lenta en condiciones normales de laboratorio (Probert, 1981).

Ampelodesmos mauritanica es una gramínea perenne cada vez más abundante en los matorrales esclerófilos propensos a los incendios de las Islas Baleares (Castelló y Mayol, 1987) y de las costas de Cataluña (ORCA, 1985). La cubierta de *Ampelodesmos* es mayor en áreas quemadas, pues la germinación de sus semillas es más pronunciada tras los incendios (Vilà et al. 2001). En el Mediterráneo, la baja disponibilidad de agua obliga al carrizo a invertir menos energía en estructuras reproductivas y a disminuir la germinación de sus semillas (Vilà y Lloret, 2000).

II. Diseño experimental

Para la obtención de semillas, se recogieron durante los meses de finales de verano semillas de al menos cinco individuos distintos de tres poblaciones de Mallorca de *Dactylis glomerata* (playa de El Toro, Son Ferrer y Manacor) (Fig. 1), *Oryzopsis miliacea* (playa de El Toro, Alcudia y Esporles) (Fig. 2) y *Ampelodesmos mauritanica* (Esporles, Port d'es Canonge y Deià) (Fig. 3). En cada caso, se escogieron dos poblaciones más cercanas entre ellas que con la tercera, con el fin de estudiar la influencia de la distancia geográfica sobre las diferencias germinativas.



Fig. 1. Poblaciones seleccionadas de *Dactylis glomerata*.



Fig. 2. Poblaciones escogidas de *Oryzopsis miliacea*.



Fig. 3. Poblaciones muestreadas de *Ampelodesmos mauritanica*.

Se seleccionaron al azar 200 semillas de cada población, midiendo 30 de ellas en anchura y longitud con un pie de rey digital.

Tras la caracterización de semillas, se inició el estudio comparativo de la capacidad de germinación de las poblaciones. Se distribuyeron 200 semillas de cada población sobre papel de filtro estéril a razón de 25 semillas por placa de Petri de plástico (8 réplicas por población, siendo el total 72 placas). Las semillas se dejaron incubar en una cámara de incubación alternando 12 horas a 20°C y 12 horas a 10°C, simulando las condiciones de temperatura diurnas y nocturnas en el mediterráneo en las épocas de mayor pluviometría (primavera y otoño). La germinación se dio por terminada cuando, durante varios recuentos, el total de semillas germinadas no variaba. Esto ocurrió a las 21 días para *D. glomerata* y *A. mauritanica* y a los 45 días para *O. miliacea*.

Cada placa se regó cada dos-cuatro días con 0,5-1 ml de agua destilada, de modo que el papel permaneciera permanentemente húmedo. Se llevó a cabo al mismo tiempo un seguimiento del número de semillas germinadas por placa. La visibilidad bajo lupa estereoscópica de la emergencia de la radícula fue seleccionada como criterio de germinación.

III. Análisis estadístico

Los resultados de cada especie se analizaron por separado para todas las variables consideradas. El tamaño de las semillas se analizó como anchura por longitud. El efecto de la población sobre el tamaño se analizó mediante ANOVA. Las variables respuesta consideradas fueron: germinación final (número total de semillas germinadas el último día de recuento), R'_{50} (número de días en que el 50% de las semillas germinaron) (Ching, 1959) y Peak Value o PV (El máximo cociente resultante de dividir el número de semillas germinadas en un determinado día por el correspondiente número de días transcurridos) (Czabator, 1962).

La germinación final, R'_{50} y PV se analizaron con modelos lineales generalizados, ajustando la distribución en cada caso según fuese binomial (germinación) Poisson (R'_{50}) o normal (PV). Si se detectó sobredispersión, se ajustaron distribuciones de quasipoisson o quasibinomial según el caso (Zuur et al., 2009). Todos los análisis estadísticos se realizaron con R y JMP ® 7, SAS Institute, Cary, NC.

En todos los casos, tras aplicar el modelo estadístico, se revisó la distribución de residuales para asegurar que se cumplían los requisitos de homocedasticidad.

Resultados

I. Resultados de la caracterización morfológica

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el tamaño de las semillas entre poblaciones de las tres especies (Tabla 1).

Para la especie *Dactylis glomerata*, las semillas procedentes de Manacor resultaron significativamente mayores que las de las otras poblaciones (Tabla 2), las cuales no presentaron entre ellas diferencias significativas en su tamaño. Para la especie *Ampelodesmos mauritanica*, los tamaños de las semillas de las tres poblaciones fueron significativamente distintos, siendo las semillas de Deià las mayores y las de Es Canonge las menores (Tabla 2). En cuanto a *Oryzopsis miliacea*, las semillas oriundas de la playa de El Toro resultaron significativamente menores que las del resto de poblaciones. Los tamaños de las semillas de las poblaciones de Esporles y Alcudia no fueron significativamente diferentes (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados del ANOVA para el efecto de la población de origen sobre el tamaño de las semillas calculado como la anchura multiplicada por la longitud.

Especie	GI	F	P
<i>D. glomerata</i>	2/87	4,33	0.016
<i>A. mauritanica</i>	2/87	29,02	<0.0001
<i>O. miliacea</i>	2/87	18,43	<0,0001

Tabla 2. Valores medios y error estándar para la longitud, la anchura y el tamaño de las semillas de cada población de las tres especies.

Especie	Población	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Longitud x Anchura (mm ²)
<i>Dactylis glomerata</i>	1. Manacor	2,100±0,051	0,625±0,021	1,320±0,061a
	2. Toro Playa	1,875±0,044	0,610±0,017	1,146±0,045b
	3. Son Ferrer	1,854±0,036	0,606±0,017	1,129±0,044b
<i>Ampelodesmos mauritanica</i>	1. Deià	6,598±0,072	1,128±0,018	7,466±0,178a
	2. Esporles	6,212±0,067	1,051±0,014	6,532±0,118b
	3. Es Canonge	5,691±0,105	1,026±0,013	5,853±0,149c
<i>Oryzopsis miliacea</i>	1. Esporles	2,056±0,030	0,872±0,018	1,794±0,047a
	2. Alcudia	1,879±0,022	0,882±0,014	1,659±0,036a
	3. Toro Playa	1,955±0,036	0,736±0,012	1,443±0,040b

Letras diferentes implican diferencias estadísticas para un test a posterior de Tukey HSD.

II. Diferencias poblacionales en la germinación

Las poblaciones de *D. glomerata* resultaron ser diferentes estadísticamente en su germinación final ($\chi^2= 6,246$, $P= 0,044$; GLM-binomial). Las semillas procedentes de Son Ferrer germinaron en menor proporción que las de las otras dos poblaciones (Fig. 4). Se encontraron además diferencias significativas para la velocidad medida como R'_{50} ($F= 4,717$, $P= 0,020$; GML-quasipoisson), pero no para PV ($F= 3,285$, $P= 0,574$; GLM-gaussiana). De nuevo, fueron las semillas procedentes de Son Ferrer las más lentas en germinar (Fig. 4).

En el caso de *A. mauritanica*, no se encontraron diferencias significativas en la germinación final entre poblaciones ($\chi^2= 0,887$, $P= 0,642$; GLM-binomial), llegando a germinar un porcentaje cercano a 100% de las semillas de las tres poblaciones (Fig. 5). Sin embargo, sí hubo diferencias para la velocidad de germinación cuantificada como R'_{50} ($F= 93,973$, $P= 3.334e-11$; GLM-quasipoisson) y como PV ($F= 68,125$, $P= 6,593e-10$; GLM-gaussiana). A pesar de presentar una germinación final igual, la población de Deià fue la más lenta en germinar, mientras que la velocidad de germinación inicial fue máxima en la población de Esporles (Fig. 5).

En cuanto a *O. miliacea*, las poblaciones muestreadas fueron estadísticamente diferentes en su germinación final ($\chi^2= 15,167$, $P= 0,0005$; GLM-binomial). La proporción de germinación fue menor en la población de Alcuía que en las otras dos poblaciones (Fig 6). La velocidad de germinación cuantificada como R'_{50} no fue diferente significativamente entre poblaciones ($F= 3,091$, $P= 0,067$; GLM-quasipoisson), pero sí lo fue medida como PV ($F= 5,308$, $P= 0,014$; GLM-gaussiana). Las semillas de Alcuía fueron también las más lentas en germinar, seguidas de las semillas de la playa de El Toro y de Esporles (Fig. 6).

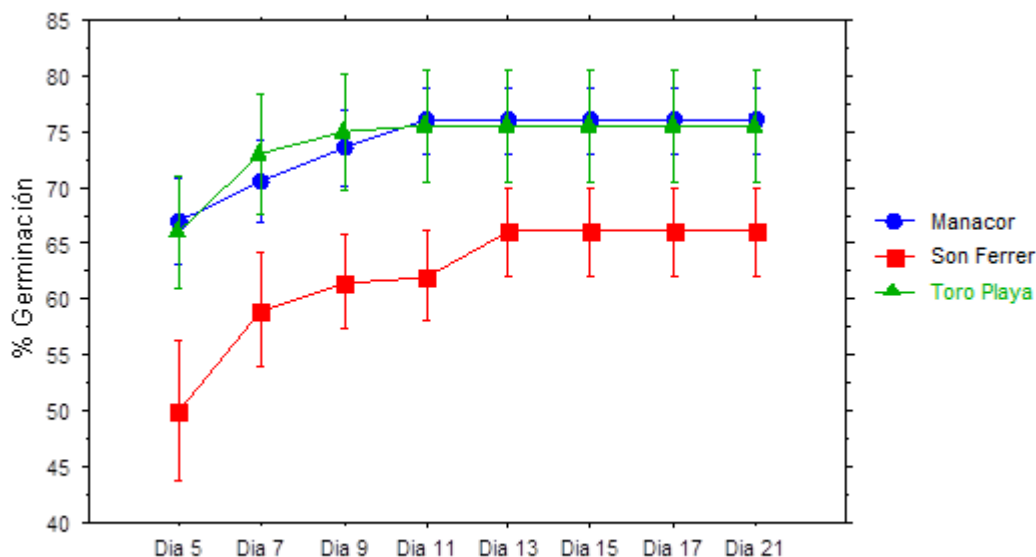


Fig. 4. Porcentaje de germinación de *Dacylis glomerata* frente al número de días.

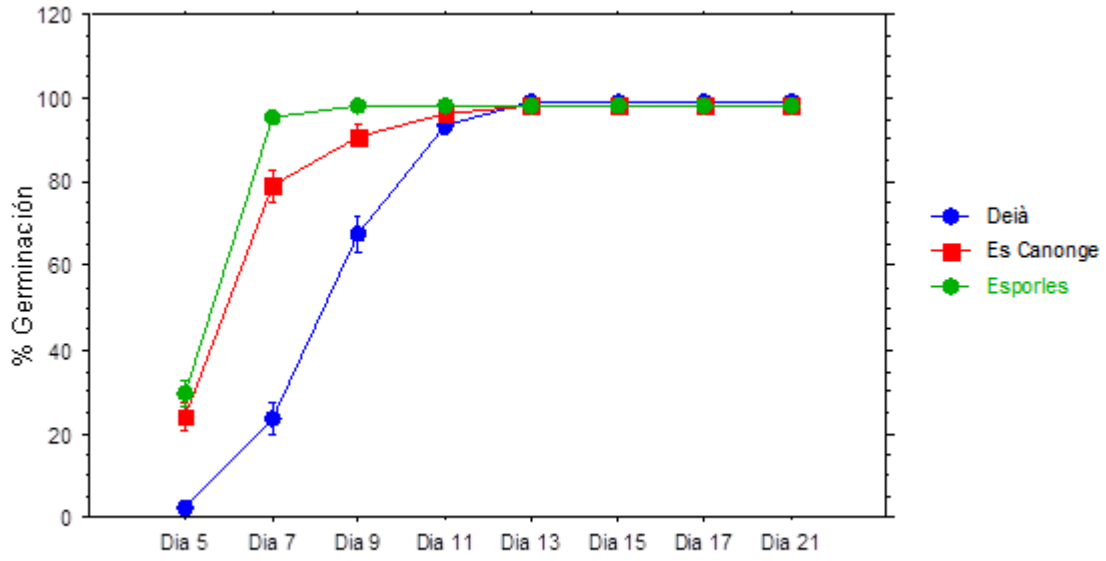


Fig. 5. Porcentaje de germinación de *Ampelodesmos mauritanica* frente al número de días.

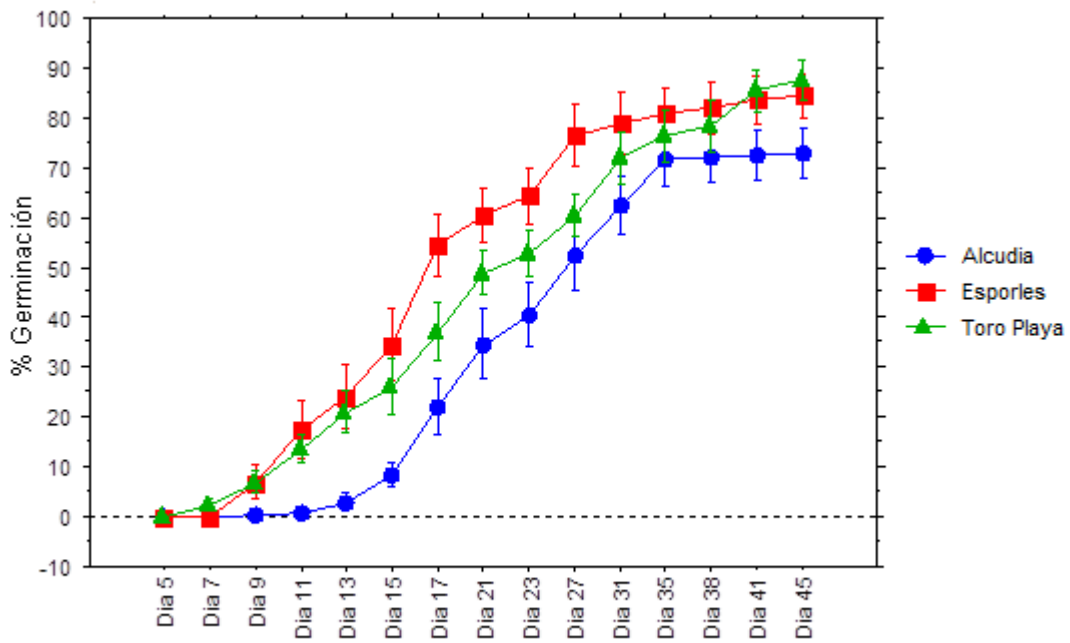


Fig. 6. Porcentaje de germinación de *Oryzopsis miliacea* frente al número de días.

Discusión

Los resultados de este estudio muestran que las tres especies estudiadas manifiestan diferentes dinámicas de germinación, presentando así mismo diferencias intraespecíficas según la población de origen. Diversos autores han relacionado la capacidad y velocidad de germinación de las semillas con su tamaño (Nelson et al., 1970; Edwards y Hartwig, 1971, Bretagnolle et al., 1994; van Mólken et al., 2004). En nuestro caso, el número de días necesario para la germinación de las semillas fue mayor en *A. mauritanica* que en *D. glomerata*, cuyas semillas son mucho menores en tamaño. Al ser más grandes, las semillas de *A. mauritanica* podrían requerir un tiempo de imbibición inicial mayor que permitiera la expansión del embrión. Sin embargo, en contradicción con lo anterior, *O. miliacea*, aun presentando un tamaño mucho menor que *A. mauritanica*, fue claramente la especie con mayor dificultades para germinar, probablemente debido a la dormancia impuesta por el ácido abscísico contenido en las semillas y por el retraso en la absorción de agua inducido por el tegumento (McDonald y Khan, 1977).

Estudios con poblaciones de Grecia e Italia confirman que la germinación de *O. miliacea* es generalmente muy lenta (Probert, 1981), mientras que otros autores demuestran que su germinación final y su velocidad de germinación puede mejorarse mediante tratamientos con H_2SO_4 , hipoclorito sódico o Clorox (Laude, 1951). La escarificación ácida de las semillas de *O. hymenoides* es un método efectivo para detener la dormancia impuesta por el tegumento de éstas (McDonald y Khan, 1977), lo cual coincide con la mejora de la germinación en semillas de *O. miliacea* sin estructuras externas (lema y palea) determinada por Koller y Negbi (1959).

De las poblaciones de *A. mauritanica*, la población de Deia fue la que más se demoró en germinar y la que presentó semillas más grandes. Estos resultados apoyan los obtenidos por Nelson et al. (1970), los cuales demostraron que individuos de la poácea *Taeniatherum caput-medusae* (L.) Nevski en un lugar más húmedo produjeron semillas más pesadas, que germinaron más lentamente que las procedentes de un lugar más seco y cálido. Resultados similares fueron obtenidos por Belderok (1961) en el caso del trigo.

En el caso de *D. glomerata*, la población con menor tasa de germinación (Son Ferrer) no fue la más distante a las otras dos, pero sí fue la de menor tamaño. Sin embargo, las semillas de la población del El Toro, a pesar de presentar semillas menores que las de Manacor, germinaron a igual velocidad y en igual proporción. Por tanto, el tamaño no parece ser determinante en esta especie. Probert (1983) le atribuyó un rol importante al pigmento sensible a la luz denominado fitocromo en el control de la respuesta germinativa de *D. glomerata*. Otros autores determinaron además que semillas de dátilo de plantas tetraploides germinan más rápidamente y alcanzando porcentajes de germinación más elevados que semillas de biomasa similar de plantas diploides (Bretagnolle et al., 1995), mientras que dentro del mismo nivel de ploidía, semillas de distinta biomasa no difieren ni en la velocidad de germinación ni en el porcentaje de germinación final. De este modo, podría esperarse que la población de Son Ferrer, más lenta en germinar y con menor germinación final, presentara un genotipo diploide mientras que el resto de semillas (Manacor y El Toro) procedieran de poblaciones tetraploides.

La germinación de las poblaciones de *O. miliacea* fue muy irregular durante todo el periodo de incubación. La irregularidad de semillas germinadas se dio también entre réplicas de la

misma población. El tamaño no pareció ser relevante para esta especie, pues la población de El Toro, que presentó las semillas significativamente más pequeñas, germinó en igual proporción que las provenientes de Esporles, e incluso en mayor proporción y velocidad que las semillas procedentes de Alcudia. La población de Alcudia fue la población con menor velocidad de germinación y menor germinación final por estar afectada por infecciones fúngicas de manera mucho más intensa que el resto de poblaciones. Harper y Lynch (1980) observaron que la germinación de las semillas de cebada se veía dificultada por colonizaciones fúngica, proponiendo como causa más probable la competición por el oxígeno entre el embrión y las poblaciones fúngicas. Griffin (1966) obtuvo resultados similares con semillas de trigo y determinó que las semillas muertas no germinadas presentaban una masa externa de conidióforos o ya estaban colonizadas internamente. La muerte de las semillas se atribuyó a la invasión fúngica, siendo las semillas incapaces de ofrecer resistencia alguna al ataque fúngico cuando los niveles de humedad eran suficientes para el crecimiento de hongos pero insuficiente para su germinación. Sin embargo, en el caso de *O. miliacea* se ha observado que la presencia de hongos de la especie *Penicillium funiculosum* estimula su germinación (Probert, 1981). Así pues, el éxito o no de la germinación podría venir dado por el tipo de hongo que afecta a las semillas.

En conclusión, bajo condiciones de temperatura propias del mediterráneo en primavera y otoño y humedad constante, *A. mauritanica* es capaz de germinar casi al 100% en oscuridad y las tasas de germinación de *D. glomerata* superan el 50%, mientras que, aun presentando porcentajes de germinación elevados, las semillas de *O. miliacea* germinan muy lentamente en comparación con las otras dos especies estudiadas. Por tanto, el éxito de la germinación en campo dependerá de la posibilidad de proporcionar las condiciones de germinación adecuadas para *D. glomerata* y *O. miliacea* que permitan alcanzar mayores tasas de germinación en menos tiempo sin la necesidad de recurrir a tratamientos que encarezcan su uso. Una vez logrado el objetivo, la determinación de la capacidad de producción de biomasa de las tres especies sería el factor decisivo de cara a la selección de la especie herbácea perenne potencialmente interesante en la producción de biocombustibles y en la producción de biomasa para otras aplicaciones como el forraje o la revegetación de taludes.

Los resultados obtenidos evidencian además diferencias morfológicas y diferencias en las capacidades germinativas entre las poblaciones de las tres especies estudiadas, posiblemente relacionadas con adaptaciones a las condiciones ambientales del lugar de procedencia. Así pues, no deberían soslayarse las diferencias germinativas entre poblaciones a la hora de seleccionar la población original para la producción de semillas para cultivo en la producción de biocombustibles, pues se ha demostrado que poblaciones de una misma especie separadas en el espacio pueden presentar dinámicas germinativas muy distintas. En el caso del presente estudio, puede afirmarse que la población de Esporles de *A. mauritanica* es sin duda una firme candidata a ser plantada para la posible obtención de biomasa debido a la elevada capacidad germinativa y la rápida germinación de sus semillas, la cual le permitiría un mejor aprovechamiento del agua de lluvia en condiciones de campo. Aunque la velocidad de germinación de *D. glomerata* fue elevada, la germinación final media de las dos poblaciones con mayor porcentaje de germinación no alcanzó el 75%. Por otro lado, *O. miliacea* presentó elevados porcentajes de germinación final, pero su germinación fue excesivamente lenta. Por estos motivos, sería conveniente la realización de ensayos de germinación para ambas especies en distintas condiciones de luz y temperatura con el fin de determinar mejores respuestas germinativas. Aun así, los

ensayos de germinación en condiciones de laboratorio no son suficientes a la hora de seleccionar especies con posible uso agronómico, siendo necesarios ensayos posteriores de germinación en condiciones de campo.

Agradecimientos

- A Elena Baraza Ruiz, por su ayuda y asesoramiento durante todas las fases del trabajo.
- A Antonia Romero Munar, por su asistencia en la recolección de plantas y semillas y su ayuda durante todas las etapas del proyecto.
- A Xavier Guilas, por sus correcciones, consejos e ideas aportadas en la elaboración del diseño experimental.
- A Hanan Elaouad por la colaboración prestada en la preparación de la cámara de incubación y en el uso del autoclave.
- A María Emilia Reina, por la ayuda en el riego y contaje de semillas.

Bibliografía

- Belderok, B. 1961. Studies on dormancy in wheat. *Proc. Int. Seed Testing Association*, **26**: 697-760.
- Bretagnolle, F., Thompson, D., Lumaret, R. 1995. The influence of seed size variation on seed germination and seedling vigour in diploid and tetraploid *Dactylis glomerata* L. *Annals of Botany*, **76 (6)**: 607-615.
- Castelló, M., Mayol, J. 1987. La explotación arcaica del carriz *Ampelodesmos mauritanicum* (Poiret) Dur. et. Schinz en Mallorca. Ponencias y Comunicaciones de la XXVII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Mahó, Palma. 502-512.
- Celik, I. 1998. Utilisation of naturally grown *Oryzopsis miliacea* (L.) Benth and *Hypparrhenia hirta* (L.) Stapf plants species for erosion control in Cukurova Region, Turkey. *M. Şefik YEŞİLSOY INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARID REGION SOIL*, 267-273.
- Ching, T. 1959. Activation of germination in Douglas-fir seed by hydrogen peroxide *Plant Physiology*, **34(5)**: 557-563.
- Clifton-Brown, J., Robson, P., Sanderson, R., Hastings, A., Valentine, J., Donnison, I. 2011. Thermal requirements for seed germination in *Miscanthus* compared with Switchgrass (*Panicum virgatum*), Reed canary grass (*Phalaris arundinaceae*), Maize (*Zea mays*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Global Change Biology (Bioenergy)*, **3**: 375-378.
- Czabator, F. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*, **8(2)**: 386-396.
- Dondini, M., Hastings, A., Saiz G., Jones, M., Smith, P. 2009. The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions. *Global Change Biology (Bioenergy)*, **1**: 413-425.
- Edwards, C., Hartwig, E. 1971. Effect of seed size upon rate of germination in soybeans. *Agronomy Journal*, **63(3)**: 429-450.
- García, G., Faz, A., Cunha, M. 2004. Performance of *Piptatherum miliaceum* (Smilo grass) in edaphic Pb and Zn phytoremediation over a short growth period. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **54 (2-3)**: 245-250.
- Ghimire S., Charlton, N., Craven, K. 2009. The mycorrhizal fungus, *Sebacina vermifera*, enhances seed germination and biomass production in switchgrass (*Panicum virgatum* L). *BioEnergy Research*, **2**:51–58.
- Griffin, D. 1966. Fungi attacking seeds in dry seed-beds. *Proceedings of The Linnean Society of New South Wales* **91**: 84-89.
- Hacker, J., Andrew, M. McIvor, J., Mott. 1984. Evaluation in contrasting climates of dormancy characteristics of seed of *Digitaria milanijana*. *Journal of Applied Ecology*, **31**:961-969.
- Hafenrichter, A., Schwendiman, J., Harris, H., MacLauchlan, R., Miller, H. 1968. Grasses and legumes for soil conservation in the Pacific northwest and Great Basin States. (Agriculture Handbook No. 339). *Soil Conservation Service, United States. Department of Agriculture*: 6-8.
- Harper, S., Lynch, M. 1980. Effects of fungi on barley seed germination. *Journal of General Microbiology*. **122**: 55-60.

- Honěk, A., Martinková, Z. 1996. Geographic variation in seed dormancy among populations of *Echinochloa crus-galli*. *Oecologia*, **108**: 419-423.
- Hycka, M. 1976. Cultivares españoles de *Dactylis glomerata* L. *Anales Aula Dei*, **13(3-4)**: 301-324.
- Jorba, M., Vallejo, R. 2008. La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. *Ecosistemas*, **17(3)**: 119-132.
- Kennedy, P.B. 1918. Smilo grass for ranges and non-irrigated land. *Rural World Service Bull*, **4**: 4.
- Koller, D., & Negbi, M. 1959. The regulation of germination in *Oryzopsis miliacea*. *Ecology*, **40**: 20-36.
- Laude, H. 1951. Treatments to improve the emergence and stand of smilo grass. *Journal of Range Management*, **4(2)**: 88-92.
- Lewandowski, I., Scurlock, J., Lindvall, E., Christou, M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, **25**: 335-361.
- Love, R. 1947. Smilo grass. *California Certified Seed News. California Crop Improvement Association, Davis*, **4**: 2.
- Mayer, A. M., A. Poljakoff-Mayber. 1989. The germination of seeds. *Pergamon Press, New York, NY*.
- McDonald, M., Khan, A. 1977. Factors determining germination of Indian ricegrass seeds. *Agronomy Journal*, **69(4)**: 558-563.
- McLaughlin, S., Walsh, M. 1998. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and bioenergy*, **14**: 317-324.
- Muslera, E, Ratera, C. 1991. Praderas y Forrajes. Ed. Mundi-Prenas. 702 p.
- Nelson, J., Harris, G., Goebel, C. 1970. Genetic vs. environmentally induced variation in medusahead (*Taeniatherum asperum* [Simonkai] Nevski). *Ecology*, **51**: 526-529.
- ORCA. 1985. Atlas corològic de la flora vascular dels Països Catalans. Vol. I. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, Spain.
- Probert, R. 1981. The promotive effects of a mould, *Penicillium funiculosum* Thom on the germination of *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch et Schw. *Annals of Botany*, **48(1)**: 85-88.
- Probert, R. 1983. Germination studies in European populations of *Dactylis glomerata* L. Ph. D. thesis, Council for the National Academic Awards.
- Shimono, Y., Kudo, G. 2003. Intraspecific variations in seedling emergence and survival of *Potentilla matsumurae*(Rosaceae) between alpine fellfield and snowbed habitats. *Annals of Botany*, **91**: 21-29.
- Smeets E., Lewandowski I., Faaij A. 2009. The economical and environmental performance

of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewal and Sustainable Energy Review*, **13**: 1230-1245.

Solomon, B. 2010. Biofuels and sustainability. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1185**: 119-134.

Stebbins, G. 1971. Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms. II. Seeds and seedlings. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **2**: 237–260.

Tormo, J. 2007. Factores que influyen en la colonización vegetal y la revegetación de taludes de carreteras en ambiente mediterráneo. *Servicio de publicaciones Universidad de Valencia*.

van Mólken, T., Jorritsma-Wienk, L., van Hoekand, P., de Kroon, H. 2004. Only seed size matters for germination in different populations of the dimorphic *Tragopogon pratensis* subsp. *pratensis* (Asteraceae). *American Journal of Botany*. **92(3)**: 432-437.

Vilà, M., Lloret, F. 2000. Seed dynamics of the mast seeding tussock grass *Ampelodesmos mauritanica* in Mediterranean shrublands. *Journal of Ecology*, **88**: 479-491.

Vilà M, Lloret F, Ogheri E, Terradas J. 2001. Positive fire-grass feedback in Mediterranean Basin woodlands. *Forest Ecology and Management*, **147**: 3–14.

Zegada-Lizarazu, W., Elbersen, H.W., Cosentino, S.L., Zatta, A., Alexopoulou, E., Monti, A. 2010. Agronomic aspects of future energy crops in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, **4**: 674-691.

Zuur, A., Ieno, E, Walker, J., Saveliev, A., Smith, G. 2009. Mixed effect models and extensions in ecology with R. ISBN 978-0-387-87458-6.