

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL
MEDIO NATURAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



MÁSTER DE PRODUCCIÓN VEGETAL Y ECOSISTEMAS AGROFORESTALES

Estudio para la mejora de la propagación sexual de la alcaparra (*Capparis spinosa* L.)

Tesina de máster

Presentada por:

Noelia Domínguez Pizarro

Dirigida por:

Prof. Dr. D. Bernardo Pascual España

Dra. D^a. Nuria Pascual Seva

VALENCIA, septiembre 2013

RESUMEN

La propagación sexual de la alcaparra (*Capparis spinosa* L.), aunque presenta grandes dificultades, con porcentajes de germinación bajos, es el método más utilizado. En el grupo de investigación en el que se ha desarrollado este trabajo, se realizaron previamente una serie de estudios destinados a mejorar la propagación, tanto sexual como asexual, de esta planta. Con el objetivo general de mejorar la propagación sexual de la alcaparra, en este trabajo se llevaron a cabo tres experimentos. En primer lugar se estudió la influencia del período transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación, estudiando cuatro períodos diferentes (45, 30, 15 y 0 d). En segundo lugar se planteó un ensayo de la influencia de la radiación láser He-Ne sobre la germinación de las semillas y crecimiento de la radícula e hipocótilo. En el tratamiento de irradiación láser se ensayaron cinco tiempos de irradiación (0, 10, 30, 60 y 120 s). Con las semillas irradiadas se realizó un ensayo de germinación. Posteriormente se procedió al estudio de la elongación de la radícula y del hipocótilo de las plántulas correspondientes a las semillas germinadas. Por último, se analizó la germinación obtenida a partir de frutos enteros y de semillas recién extraídas de los frutos, tanto abiertos como cerrados, en un sustrato a base de turba. De los resultados se concluye que el porcentaje de germinación es muy elevado cuando la siembra se realiza inmediatamente después de la recolección y se le adiciona al sustrato ácido giberélico. No se ha visto un efecto claro de la irradiación láser, encontrando en todos los tratamientos comparados con el control un porcentaje de germinación menor que el de éste. Por último, cuando los frutos están abiertos el porcentaje de germinación alcanzado es igual, independientemente de si se siembran enteros o por semillas, lo que podría facilitar la propagación sexual.

Palabras clave: semillas; irradiación láser; ácido giberélico; fruto entero

ABSTRACT

Sexual propagation of caper (*Capparis spinosa* L.) shows presents remarkable difficulties, with low germination percentages; it is the most used method. In the research group where this studies, some studies were taken to improve both sexual and asexual propagation of this plant. In order to improve the caper sexual propagation, three experiments were carried out in this study. First, an experiment was done to determine the influence of the period from harvest to the beginning of the germination test, studying four different periods (45, 30, 15 and 0 days). Secondly, an experiment was done to determine the influence of the He- Ne laser radiation on seed germination and growth of the radicle and hypocotyl. For the laser irradiation treatment, five irradiation times (0, 10, 30, 60 and 120 s) were tested. Germination test with irradiated seed were performed. Then we proceeded to the study of elongation of the radicle and hypocotyl of seedlings corresponding to sprouts. Finally, a propagation experiment was carried out, analyzing the germination obtained from whole fruits and freshly extracted from the fruit seeds, both in open and still closed fruits, in a peat-based substrate. The results show that the germination percentage is very high when seeding is realized immediately after the ripeness and gibberellic acid is added to the substrate. As for the laser irradiation treatment, there has not appeared to have a clear effect, finding in all treatments lower germination percentages, compared to the control treatment. Finally, when the fruits are open the germination percentage reaches similar values, regardless of whether whole fruit or seed were sown, which could facilitate the sexual propagation.

Keywords: seed; laser irradiation ; gibberellic acid ; intact fruit

RESUM

La propagació sexual de la tàpera (*Capparis spinosa* L.) presenta grans dificultats, ja que els percentatges de germinació obtinguts són molt baixos, és el mètode més utilitzat. En el grup d'investigació en què s'ha desenrotllat aquest treball, es va realitzar prèviament una sèrie d'estudis destinats a millorar la reproducció, tant sexual com asexual, d'aquesta planta. Amb l'objectiu general de millorar la propagació sexual de la tàpera, en aquest treball es van dur a terme tres experiments. En primer lloc es va estudiar la influència del període transcorregut des de la recol·lecció fins a l'inici de l'assaig de germinació, estudiant quatre períodes diferents (45, 30, 15 i 0 dies). En segon lloc, es va plantejar un assaig de la influència de la radiació làser He-Ne sobre la germinació de les llavors i creixement de la radícula i hipocòtil. En el tractament d'irradiació làser es van assajar cinc temps d'irradiació (0, 10, 30, 60 i 120 s). Finalment, es va dur a terme un experiment de propagació per llavors per mitjà de fruits sencers, analitzant-se la germinació obtinguda a partir de fruits sencers i de llavors acabades d'extraure dels fruits, tant de fruits oberts com tancats, a un substrat a base de torba. Dels resultats es conclou que el percentatge de germinació és molt elevat quan la sembra es realitza immediatament després de la recol·lecció i se li addiciona al substrat àcid giberèlic. Quant al tractament d'irradiació làser no s'ha vist un efecte clar de la seua aplicació, trobant en tots els tractaments menors percentatge de germinació que al control. Finalment, quan els fruits estan oberts el percentatge de germinació aconseguit és igual independentment de si se sembren sencers o per llavors, la qual cosa podria facilitar la propagació sexual.

Paraules clau: llavor; irradiació làser ; àcid giberèlic ; fruit sencer

ÍNDICE GENERAL

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Generalidades	1
1.2.- Taxonomía.....	1
1.3.- Descripción botánica	2
1.4.- Cultivo.....	4
1.4.1.- Exigencias climáticas	4
1.4.2.- Cuidados del primer año	5
1.4.3.- Cuidados del segundo año.....	6
1.4.4.- Cuidados del tercer año y sucesivos.....	6
1.4.5.- Plagas y enfermedades	8
1.5.- Material vegetal.....	9
1.6.- Importancia económica	10
1.7.- Propagación sexual de <i>Capparis spinosa</i>	11
1.7.1.- Estructura de las semillas	11
1.7.2.- El proceso de germinación.	12
1.7.3.- La latencia de las semillas.....	15
1.8.- Influencia de la irradiación láser He-Ne en la germinación.....	18
2.- OBJETIVOS	20
3.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
3.1.- Influencia del período transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación.....	22
3.2.- Influencia de la radiación láser he-ne sobre la germinación de las semillas y crecimiento de la radícula e hipocótilo.	23
3.3.- Utilización de frutos enteros para la propagación sexual.....	25
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1.- Influencia del período transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación.....	29
4.2.- Influencia de la radiación láser He-Ne sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de la radícula e hipocótilo.	34
4.3.- Utilización de frutos enteros para la propagación sexual.....	40
5.- CONCLUSIONES	48
6.- REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la molécula de AG ₃	17
Figura 2. Modelo logístico ajustada a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para los diferentes períodos (número de días) transcurridos entre la recolección y el inicio del ensayo de germinación (A) y la aplicación de ácido giberélico (B).	29
Figura 3. Interacción entre los factores “Días Después de la Recolección” y “Ácido Giberélico, (AG)” para el parámetro % de germinación acumulada (G)..	32
Figura 4. Interacción entre los factores “Días Después de la Recolección” y “Ácido Giberélico, (AG)” para el parámetro % de germinación potencial (A).....	32
Figura 5. Interacción entre el número de días transcurridos desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación y la aplicación de Ácido Giberélico (AG) para el parámetro número de días para alcanzar el 50% de la germinación final (t_{50} , d)...	33
Figura 6. Modelo logístico ajustado a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para las diferentes dosis de irradiación láser (A) y la aplicación de ácido giberélico (B).....	34
Figura 7. Regresión lineal entre el número de semillas maduras por fruto en función del peso del fruto de alcaparra.	41
Figura 8. Modelo logístico ajustado a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para los diferentes estados del fruto (A), las formas de siembra (B) y la aplicación de ácido giberélico (C).	42
Figura 9. Interacción entre los factores “Método de siembra”, y “Estado del fruto” para el parámetro porcentaje germinación acumulada (A).....	45
Figura 10. Interacción entre los factores "Método de siembra" y "Estado del fruto" para el parámetro máximo porcentaje de germinación (A;%).	45
Figura 11. Interacción triple entre los factores “Método de siembra”, “Estado del fruto” y “AG” (sin AG: A; con AG: B) para el parámetro número de días necesarios para alcanzar el 50% del porcentaje de germinación final (t_{50} , d)..	46
Figura 12. Interacción entre los factores “Método de siembra”, y “Estado del fruto” para el parámetro velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d ⁻¹)	47

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Botones florales	2
Fotografía 2. Flor abierta de la planta de alcaparra. Ovario sobre un largo tallo, el ginóforo.....	3
Fotografía 3. Fruto de alcaparra (alcaparrón) abierto.....	3
Fotografía 4. Semillas de alcaparra.	4
Fotografía 5. Morfología de la semilla germinada germinada.	12
Fotografía 6. Germinación epigea.	13
Fotografía 7. Vista aérea de la parcela.	21
Fotografía 8. Parcela de alcaparra	21
Fotografía 9. Vista de una placa Petri preparada para el ensayo de germinación.	23
Fotografía 10. Láser He-Ne, 1145 JDSU.	24
Fotografía 11. Elongación de radícula e hipocótilo en semillas de alcaparra germinadas.	24
Fotografía 12. Situación de los frutos de alcaparra en la planta.....	25
Fotografía 13. Bandeja con macetas en cámara de germinación.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fechas de recolección y número de días transcurridos desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación para cada uno de los períodos de recolección	22
Tabla 2. Características del sustrato.	26
Tabla 3. Influencia del período (número de días) días transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación (DDR) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en la germinación acumulada (G , %), máximo porcentaje de germinación (A , %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final ($t_{50} = \beta/k$, d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).	30
Tabla 4. Influencia de las diferentes dosis de irradiación láser (Láser, s) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en la germinación acumulada (G , %), máximo porcentaje de germinación (A , %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final (t_{50}) (β/k , d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).	35
Tabla 5. Influencia del tiempo de aplicación del tratamiento de irradiación láser (Láser) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en el porcentaje de semillas elongadas, longitud media y longitud máxima alcanzada por la raíz e hipocótilo.	38
Tabla 6. Influencia del estado del fruto (abierto o cerrado), la forma de siembra (entero o por semillas) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en el porcentaje de germinación acumulada (G , %), germinación final (A , %), tiempo hasta alcanzar el 50% de la germinación final (β/k , d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).	43

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- GENERALIDADES

Se conoce como alcaparra, tápena, tápera o tapanera la especie botánica *Capparis spinosa* (L.), perteneciente a la familia *Capparidaceae*. Etimológicamente alcaparra procede del árabe hispano *alkappárra*, éste del latín *cappāris*, que a su vez procede del griego κάππαρις. La designación *spinosa* alude a las espinas que aparecen en la base de las hojas de la planta.

La alcaparra es originaria de Asia. Fue importada por los griegos, extendiéndose posteriormente a otros países del mediterráneo, donde crece espontáneamente al encontrarse en condiciones óptimas de clima y suelo para su desarrollo. Se puede encontrar en el sur de Francia, Italia, Grecia, Turquía, Asia menor, sur de Portugal, Marruecos, Argelia, Túnez y Egipto. En España se encuentra en las zonas litorales de Almería, Murcia, Granda y Baleares.

El principal aprovechamiento son los botones florales, aunque también se aprovechan los frutos y los brotes. Las partes comestibles de la alcaparra constituyen un alimento que pertenece al grupo verduras/hortalizas. En cuanto al aspecto nutricional, es un alimento que destaca por su significativo aporte de sodio y agua. El resto de nutrientes presentes en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: magnesio, hierro, vitamina B2, vitamina E, vitamina B9, fibra, vitamina C, calcio, carotenoides, hidratos de carbono, proteínas, cinc, ácidos grasos poliinsaturados, calorías, vitamina B3, potasio, vitamina B, selenio, vitamina B6, grasa, ácidos grasos saturados, fósforo, vitamina A y ácidos grasos monoinsaturados. Mallor, (2010) obtienen datos de la composición química y de ácidos grasos de muestras de botones florales procedentes de diferentes provincias españolas productoras de alcaparra.

También de las semillas y de su aceite se han realizado investigaciones (Duman y Özcan, 2013) para determinar su contenido mineral por sus interesantes características nutritivas.

1.2.- TAXONOMÍA

La alcaparra se encuadra en los siguientes taxones:

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Brassicales</i>
Familia	<i>Capparaceae</i>
Tribu	<i>Cappareae</i>
Género	<i>Capparis</i>
Especie	<i>C. spinosa</i>

1.3.- DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La planta es una dicotiledónea perenne caducifolia, herbácea o subarborescente, de alrededor de 40 cm de altura, típica del secano y muy rústica. Su parte aérea está formada por tallos tiernos, produciendo tallos anuales sobre una base leñosa, de desarrollo rastrero (planta cundidora) y que pueden alcanzar hasta 3 metros de longitud.

Las hojas presentan un pecíolo de una longitud que varía entre 3 y 10 mm y una lámina de forma más o menos oval pudiendo ser algunas mucronadas, algo gruesas, de verdes a rojas y de consistencia crasa, con estipulas precozmente caducas. Las hojas poseen estomas en ambos lados de la hoja distribuidos uniformemente, que en verano se mantienen abiertos continuamente durante el día en el período de crecimiento, sobre todo los de la superficie inferior de la hoja.



Fotografía 1. Botones florales.

Las flores son hermafroditas, solitarias y axilares, muy vistosas, de 4 a 5 cm de diámetro. Nacen en las axilas de las hojas, son tetrámeras con los pétalos blancos o ligeramente rosados. Poseen una gran cantidad de estambres con largos filamentos de color violáceo. El pistilo tiene un solo ovario, que es súpero, con un solo estilo y un solo estigma. El ovario está sostenido en una columnilla que es una prolongación del eje floral (ginóforo). Cada yema axilar origina una sola flor; sus pedúnculos son muy largos con relación al tamaño del botón floral. Desde que se forma el botón floral hasta que la flor se abre transcurren unos 8-12 días, según las condiciones existentes (Mascarós, 2010).



Fotografía 2. Flor abierta de la planta de alcaparra. Ovario sobre un largo tallo, el ginóforo.

El fruto, denominado alcaparrón, es de color verde cuando está inmaduro y algo rojizo cuando alcanza la madurez. Se trata de una baya con un largo pedúnculo, es coriáceo y carnoso en su interior. Tiene forma ovalada llegando a alcanzar de 2 a 4 cm de longitud y un diámetro de 1,5 a 3 cm, según la variedad. Llegado al estado de madurez el fruto se abre, dejando las numerosas semillas que contiene a disposición de los insectos, animales o fenómenos naturales encargados de su diseminación.



Fotografía 3. Fruto de alcaparra (alcaparrón) abierto.

Las semillas, sin albumen y sin látex, son esféricas o reniformes, de 2 o 3 mm de longitud y toman un color marrón oscuro cuando llegan a la madurez. Presentan una testa de 0,2 a 0,3 mm de espesor, compuesta por fibras exteriores, una capa lignificada de 4 o 10 células de espesor, con un endotegumento lignificado compuesto por células cúbicas, con paredes radiales fuertemente engrosadas. Debido a todo esto, la testa es muy dura y difícilmente permeable al agua, siendo ésta una de las causas del bajo porcentaje de germinación de las semillas.



Fotografía 4. Semillas de alcaparra.

La raíz es profunda, gruesa y medianamente ramificada, que le permite vivir en terrenos bastante áridos, extrayendo humedad del subsuelo, además las raíces laterales cuentan con un elevado contenido de agua en sus tejidos que la planta puede utilizar en casos de sequía. La separación de la raíz con los tallos forma un muñón de cepa que llega a alcanzar de 20 a 25 cm de ancho en algunas plantas.

En un estudio publicado Gan *et al*, (2013) se ha observado que las hojas, el tallo y la raíz de *C. spinosa* se modifican adaptándose a las condiciones de sequía y además genera una región de tránsito ampliada entre el tallo y la raíz, donde el xilema y el sistema fibrovascular se han aumentado mejorando así la absorción de agua y la capacidad de almacenamiento.

1.4.- CULTIVO

1.4.1.- Exigencias climáticas

La alcaparra es capaz de crecer en sitios secos, ruinas, etc., de manera silvestre en todo el litoral mediterráneo. Esta capacidad muestra su extrema resistencia a la sequía y a las altas temperaturas.

Una humedad relativa ambiental baja durante el periodo estival, favorece la producción, mientras que una humedad excesiva junto al tronco favorece la aparición de infecciones fúngicas.

La alcaparra se trata de una planta termófila, cuyas exigencias térmicas a lo largo del ciclo biológico son (Melgarejo y Salazar, 2000):

- Temperaturas moderadas durante la germinación.
- Temperaturas altas durante el verano para alcanzar el máximo desarrollo y producción, siempre que las necesidades hídricas puedan ser cubiertas.
- Temperaturas suaves durante el invierno

En cuanto a exigencias lumínicas, se obtienen mayores rendimientos en aquellas zonas de veranos calurosos, con alta iluminación y días largos.

Su ciclo vegetativo se inicia en la primavera, en que la planta entra en actividad; la floración se produce en el verano, y al llegar el otoño comienza a paralizar su crecimiento, perdiendo sus hojas y ramas, pasando el invierno tan solo en forma de tocón de tallo, hasta que reanuda su vegetación en la primavera siguiente (Maroto, 2002). El éxito de una plantación de tapenera depende fundamentalmente de los cuidados prestados a las plantas en el primero y segundo año después de la plantación.

1.4.2.- Cuidados del primer año

Plantación

La plantación se debe realizar a finales del invierno, (tras las lluvias), cuando la planta aún está en reposo vegetativo. Aunque puede realizarse siembra directa, frecuentemente se emplean semilleros. Debe procurarse que se mantenga la humedad durante todo el período que dure la fase de semillero.

El marco de plantación para el establecimiento de una plantación en regadío como mínimo será de 4×4 m ó 5×5 m, y en plantaciones de secano desde $2,5 \times 2,5$ m hasta 4×4 m (Melgarejo y Salazar, 2000).

Labores

Si la plantación no se realiza con suficiente tempero es necesario realizar un riego de plantación. En este caso, cuando el terreno esté en condiciones se dará una cava alrededor de cada hoyo para evitar la formación de costra y mantener la humedad del suelo el mayor tiempo posible, cubriendo la cepa de la planta 3 o 4 centímetros. Esta operación de cavar el cerco de la planta hay que realizarla después de cada lluvia con la misma finalidad.

Se recomienda labrar con cultivador las calles entre filas, para eliminar la vegetación espontánea y ayudar a mantener la humedad en el suelo. La última labor se dará en otoño-invierno, una vez podadas las plantas.

Riegos

A los 25-30 días de la plantación, si no llueve y la tierra del hoyo carece de suficiente humedad, se dará un riego (de la misma manera que al inicio de la plantación). Si el año resulta excesivamente seco se darán otros dos riegos a lo largo del verano, practicando en cada uno de ellos las labores de escarda y rotura de costra.

Poda

Durante la parada invernal, de noviembre a febrero, se cortan los tallos, dejando dos o tres centímetros de éstos a partir de la cepa.

En esta operación es conveniente utilizar las tijeras de podar la viña, con el fin de no pincharse con las espinas de la planta. Después de la poda, se retiran los tallos, cubriendo la cepa unos 10-15 centímetros de tierra (Massa y Luna, 1985).

Fertilización

El primer año de la plantación se recomiendan la aportación por hectárea de 400 kg de superfosfato de cal (18% P₂O₅), 150 kg de cloruro potásico (60%) y 100 kg de sulfato amónico (21% de N), considerándose así cubiertas las necesidades del primer año de la plantación (Luna y Pérez, 1985).

1.4.3.- Cuidados del segundo año

Labores

En general las plantaciones de tapenera están situadas en los secanos, en zonas de escasa pluviometría, por lo que las labores tienen como objetivo fundamental mantener la humedad del suelo. Por tanto se darán tantas binas como lluvias se produzca, dando la primera al principio del año y antes de que brote la planta, y la última en otoño-invierno después de la poda. Es imprescindible la cava frecuente del cerco alrededor de la mata.

Riegos

En el segundo año se darán uno o dos riegos aquellas plantas más débiles que por la escasez de lluvia pudiera peligrar su vida. En general no es necesario regar.

Poda

Se hará lo mismo que en el primer año, corte de tallos secos y el aporcado de la cepa (Massa y Luna, 1985).

1.4.4.- Cuidados del tercer año y sucesivos

Labores

A las calles se les dará tres o cuatro binas; una en otoño con el fin de remover la tierra y recoger la máxima cantidad de agua de lluvia que pueda caer, y las otras a finales de invierno y primavera. A partir de mayo se hace muy difícil el laboreo debido a la longitud que alcanzan las ramas, ya que se provoca la rotura de las mismas con los aperos empleados.

Abonado

De los análisis realizados por el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), sobre la extracción de nutrientes del suelo por parte del botón floral y la mata, se deducen las cantidades mínimas de abonos que se deben aportar al suelo para la nutrición mineral de la tapenera.

Cantidades a aportar:

- 150 a 200 kg. de sulfato amónico (todos los años).
- 50 kg. de sulfato potásico (cada dos años).
- 50 kg. de superfosfato de cal (cada dos años).

El fósforo y el potasio pueden aplicarse cada dos años, debido a las pequeñas cantidades que necesita la planta, sin embargo el nitrógeno se aporta anualmente (Massa y Luna, 1985).

Existen otras publicaciones, como Luna y Pérez (1985) en las que los valores de fertilización recomendados una vez la plantación ha comenzado a producir son ligeramente diferentes.

Estos abonos se deben aportar y enterrar en una labor de otoño-invierno, antes de que la planta inicie la brotación.

Herbicidas

A esta especie, propia de los secanos de zonas de clima seco en los cuales el laboreo favorece a los cultivos, se le pueden aplicar herbicidas a partir del tercero o cuarto año, siempre que se evite mojar la cepa y sus brotaciones con los mismos.

Según ensayos realizados por Massa y Luna (1985) en una plantación de cinco años y en riego, con diversos productos en pre-emergencia y post-emergencia aplicados en primavera, los mejores resultados se obtuvieron con los herbicidas metribuzin y prometrina.

Poda en seco

Se hará en la parada vegetativa, practicándola de la misma forma a como se hizo en los dos primeros años. Sin embargo, a partir del tercer año, la poda se hará cortando las ramas más delgadas a ras de cepa y las más gruesas o principales a dos o tres centímetros de la cepa, ya que en este trozo están las yemas que brotarán la próxima primavera con mucho más vigor que si no se hubieran podado.

Poda en verde

Una vez brotada la planta, aparecen tallos vigorosos y otros más débiles. Los primeros son los que formarán las ramas principales que albergan la producción, quedando los delgados parcialmente debilitados y con poca o nula producción.

Por tanto a los 30 ó 40 días de haber iniciado la brotación, se eliminan los tallos débiles, dejando estratégicamente distribuidos los vigorosos que en su desarrollo cubrirán concéntricamente la superficie del suelo que corresponde a la planta. Los tallos eliminados, se pueden utilizar en salmuera.

Producción

El período de recolección de botones florales se escalona entre junio y septiembre. La producción media que puede dar una planta de alcaparras es de 1-3 kg al año, pudiendo llegar en ocasiones a una producción de 8 kg/año.

1.4.5.- Plagas y enfermedades

Plagas

Al pasar a cultivarse la tapenera, aparecen algunas plagas que si bien en principio son leves, podrían revestir cierta gravedad en algunas plantaciones.

Según García Marí (2002), las orugas de la col *Pieris brassicae* (L.) y *Pieris rapae* (L.) cuyas larvas procedentes de puestas formadas por numerosos huevos, viven agrupadas en sus primeros estadios, alimentándose de las hojas, al principio en pequeña cantidad. Al llegar a su mayor desarrollo, 4º o 5º estadio larvario, muestran extraordinaria voracidad comiendo toda la hoja y respetando solo los nervios más gruesos. Dado el comportamiento gregario que manifiestan, sus daños suelen ser localizados, devorando totalmente plantas completas sin afectar a las plantas vecinas. Otro tipo de daño indirecto es el derivado de la gran cantidad de excrementos que produce, con pérdida de calidad y pudrición de la planta. El daño aparece con mayor frecuencia en los lindes de las parcelas, pues prefieren hacer la puesta en esa zona.

Esta plaga se puede controlar mediante varios enemigos naturales que ejercen un buen control biológico. El himenóptero braconídeo parásito de orugas *Cotesia glomerata* (L.) [= *Apanteles glomeratus*] es muy frecuente. El adulto pone varios huevos, hasta 50, en el interior de la oruga y esta sigue su desarrollo aunque se vuelve más perezosa. Al llegar el momento de pupar no lo hace sino que se dirige a zonas altas de la planta, o hacia troncos o muros cercanos, surgiendo de su interior gran cantidad de larvitas del parasitoide que tejen sus capullos de pupación de color amarillo encima del hospedante muerto.

C. glomerata tiene preferencia por *P. brassicae*, por lo que el predominio de otras especies de *Pieris* es síntoma de su presencia.

Otro parasitoide que ataca a las crisálidas de *Pieris* y otros lepidópteros es el calcídido *Pteromalus puparum* (L.). Su presencia se detecta por quedar la crisálida seca y un pequeño orificio en su parte lateral del que llegan a salir hasta un centenar de adultos de aspecto metálico de este pequeño himenóptero (García Marí, 2002).

El control químico siempre es preferible realizarlo sobre las orugas jóvenes que son más sensibles. Se recomiendan triclorfon, malation o *Bacillus thuringiensis*.

Como medidas complementarias se recomienda destruir las crucíferas silvestres de los márgenes y también las crisálidas invernantes de muros y troncos cercanos, así como los plastrones de huevos que son fácilmente visibles sobre las hojas.

También ataca un hemíptero, *Eurydema ornata* (L.), de color amarillo-naranja con manchas negras, que chupa la savia por medio de picaduras en las hojas, quedando como puntos amarillos en las mismas. Si estos ataques son intensos puede llegar a defoliar totalmente la planta. Además sus picaduras pueden ser vías de entrada para enfermedades criptogámicas.

Un medio indirecto de combatirlas es eliminar las crucíferas espontáneas en las que se refugian (al igual que con *P. brassicae* y *P. rapae*). En invierno es conveniente destruir la vegetación adventicia en la que se encuentra invernando. Para el control directo se recurre a la aplicación de plaguicidas como diacinon, malation o piretroides.

En la literatura sobre el cultivo de la alcaparra se indica que también puede afectar al cultivo el ataque del díptero-tripétido minador de botones florales *Capparinia savastanoi* Martelli (Maroto, 2002).

Enfermedades

Las enfermedades son de efectos desastrosos cuando su ataque se produce en los semilleros. Un ataque de hongos del suelo de los géneros *Pythium*, *Fusarium*, etc., en la zona del cuello de la plántula, provoca su muerte.

Estas enfermedades se pueden evitar desinfectando el suelo de los semilleros, pudiendo realizar esta desinfección mediante métodos físicos o mediante métodos químicos, con antelación de 30-40 días antes de la siembra.

En las plantaciones cultivadas se ha observado que algunas plantas aisladas se secan incluso con gran desarrollo, presentado en la raíz un estrangulamiento que a veces ocasiona su muerte. Descubriendo la raíz, limpiando e impregnado la parte dañada con productos a base de cobre, se puede corregir esta enfermedad (Massa y Luna, 1985).

1.5.- MATERIAL VEGETAL

Aunque la especie *Capparis spinosa*, que habita la región mediterránea occidental es la más utilizada, el subgénero comprende 23 especies y subespecies que se extienden desde las costas Atlánticas hasta el Pacífico en África, Asia, Europa y Oceanía. Se han registrado (Rivera *et al*, 2003) usos para 19 especies y subespecies, que son de interés alimentario y medicinal.

Cuando los híbridos de este taxón se propagan por semilla, la descendencia resultante es muy diversa. En este caso, se puede propagar de manera clonal mediante esquejes. Las plantas híbridas se pueden reconocer por sus combinaciones parentales de hoja formas, y muy a menudo por la presencia de diferentes colores, follaje rojizo, de color verde oscuro, de color amarillento, etc. (Rivera *et al*, 1999; Inocencio, 2001).

Las características principales (Melgarejo y Salazar, 2000) de las variedades más cultivadas dentro del territorio de la península ibérica son:

-Común: Con espinas. Hojas verdes y fruto grueso. Buen rendimiento, aunque variable por falta de selección.

-Mallorquina: Con espinas. Fruto pequeño y con pocas semillas. Hojas de color verde intenso. Las ramas no se secan totalmente durante el invierno. Buen rendimiento. Buena multiplicación por estaca.

-Italiana: Sin espinas. Planta muy pequeña, con tallos elevados. Produce pocos botones florales y los frutos son pequeños y con pocas semillas. No se seca durante el invierno.

Las variedades cultivadas en las islas baleares son:

-Rosa: Posee espinas. Variedad muy productiva.

-Figa seca: Posee tallos con espinas muy largas y curvas, con porte elevado, fruto plano y de poco peso, y es difícil de recolectar.

-Redonda: Posee espinas. Botones florales muy duros y de calidad.

-Cavall: Sin espinas y poco productiva.

-Fulla redona: Hoja redonda. Sin espinas. Gran calidad.

-Boscana: Muy vigorosa y con muchas espinas. Tápenas de poca dureza y muy fructífera.

1.6.- IMPORTANCIA ECONÓMICA

Las alcaparras se cultivan para varios propósitos en el mundo desde la antigüedad (Rodrigo *et al*, 1992; Matthäus y Özcan, 2002; Pascual *et al*, 2009b). Varias partes de la planta de la alcaparra se pueden utilizar como alimentos, medicamentos y cosméticos (Dursun y Dursun, 2005). Las partes de valor comercial de alcaparras son los botones florales previa apertura de la flor, que son encurtidos en vinagre o conservado en salmuera. Los frutos semi-maduros y los brotes tiernos con hojas pequeñas también pueden ser encurtidos para su uso como condimento (Alkire, 2003), aperitivo o en ensaladas. En varios artículos estudian la composición de los botones florales de distintas especies de alcaparra (Özcan y Akgül, 1998; Matthäus y Özcan, 2002) atendiendo a sus propiedades físicas y químicas (agua, fibra cruda, el aceite crudo, carotenoides totales, almidón, Na, K, P, Ca, Mg, Mn y glucosinolatos).

Su principal aplicación es culinaria, y se demandan, sobre todo, en la Comunidad Valenciana, Región de Murcia y en la Comunidad Autónoma de Andalucía (Mascarós, 2010). Se ha de señalar que su consumo está extendido por todo el mundo. Ciertas especies y variedades de alcaparras han sido cultivadas en las regiones mediterráneas y se convirtió en una planta económica importante en Italia y España en las últimas décadas del siglo XX (Özcan y Akgül, 1998). Actualmente la producción de alcaparra se encuentra en regresión en España, importándose de países como Marruecos y Turquía (Pascual *et al*, 2009b).

Es utilizada en numerosas recetas de cocina y se le atribuyen numerosas propiedades. Los tallos tienen efectos estimulantes del apetito, así como propiedades conservantes, de ahí la antigua tradición de añadir alcaparras para evitar fermentaciones

de alimentos. También se le atribuyen propiedades diuréticas, antirreumáticas, antiartríticas, digestivas, etc. (Rivera *et al*, 2003; Trombetta *et al.*, 2005; Nizar *et al.*, 2011, Zhou *et al.*, 2011).

El desarrollo de nuevos pesticidas a base de extractos de plantas ha adquirido recientemente gran interés para la protección de cultivos con químicos no tóxicos. La especie *Capparis spinosa* se ha demostrado, en la investigación realizada por Caboni *et al*, (2012) que puede usarse como un potente agente nematocida natural, contra los nematodos juveniles de segunda etapa (J2) de la especie *Meloidogyne incognita*. La eficacia de los extractos de esta planta se debe a que los compuestos principales son metilisotiocianato y 2-tiofenocarboxaldehído. Este segundo compuesto muestra una fuerte actividad fumigante.

Además, su uso medicinal ha sido investigado en distintos estudios (Rahmani *et al*, 2013; Kulisic-Bilusic *et al*, 2012; Tlili *et al*, 2011). Kulisic-Bilusic *et al*, (2012) sugieren que la alcaparra contiene compuestos volátiles y no volátiles que potencialmente pueden desempeñar un papel importante en la prevención del cáncer de colon; debido a que el tratamiento con aceite esencial de la alcaparra y su infusión provocan la detención del ciclo celular de una manera dependiente de la dosis.

Otros aprovechamientos importantes de la especie son como planta controladora de la erosión del suelo y sobre todo como planta ornamental, ya que requiere pocos cuidados y además presenta una floración muy llamativa.

Las semillas de alcaparra son ricas en proteína, aceite y fibra. El aceite de semilla tiene un alto contenido de ácido oleico y de ácido linoleico. Por lo tanto, las semillas se pueden utilizar de varias formas para alimentos y pienso (Dursun y Dursun, 2005).

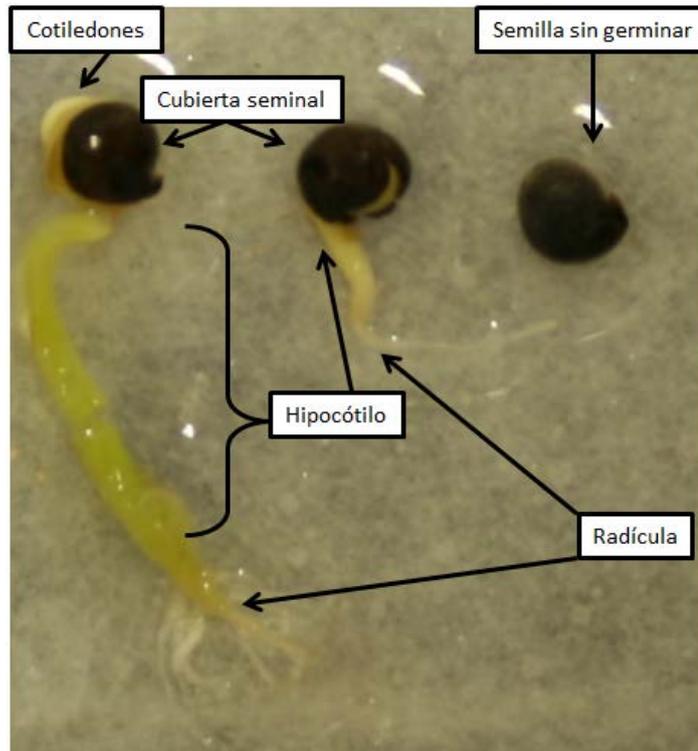
1.7.- PROPAGACIÓN SEXUAL DE *Capparis spinosa*

1.7.1.- Estructura de las semillas

Como en la mayoría de las angiospermas, la semilla se desarrolla a partir de un óvulo fecundado; estando compuesta, cuando su estructura está completamente desarrollada, de cuatro partes:

- **Embrión**, como resultado de la fecundación de una célula ovárica del núcleo del saco embrionario por un núcleo masculino del tubo polínico. En el embrión se distinguen varias partes:
 - **radícula**, de la que se formará la futura raíz.
 - **cotiledones**, que darán origen a las primeras hojas. En el caso de la alcaparra existen dos cotiledones (dicotiledónea).

- **hipocótilo**, que es la porción comprendida entre la radícula y los cotiledones.
- **epicotilo o plúmula**, que está por encima de los cotiledones y que lleva la yema terminal.
- Endospermo, que surge de la fusión de dos núcleos polares del saco embrionario con otro núcleo masculino del tubo polínico.
- Perispermo, que procede de la nucela.
- Las cubiertas, procedentes del desarrollo de los tegumentos del óvulo.



Fotografía 5. Morfología de la semilla germinada de alcaparra germinada.

La semilla de alcaparra tiene una cubierta extremadamente dura y difícilmente permeable al agua, por lo que su irregularidad en la germinación puede ser debida a esta causa. Muchas semillas germinan al segundo y tercer año de siembra. Desde hace algún tiempo, en el Departamento de Producción Vegetal de la UPV, se han realizado una serie de ensayos con el fin de ablandar y permeabilizar al agua la cubierta, sometiendo a las semillas a diferentes tratamientos como la inmersión en agua fría, en agua caliente, en ácido sulfúrico, estratificado, etc.

1.7.2.- El proceso de germinación.

La germinación de las semillas de alcaparra es epigea, propia de especies que germinan en climas cálidos o, en los templados, a finales de primavera y principios de verano, con temperaturas adecuadas para realizar la fotosíntesis. Las semillas con nascencia epigea se adaptan mal a los suelos compactados en superficie.

En las plántulas denominadas epigeas, los cotiledones emergen del suelo debido a un considerable crecimiento del hipocótilo (porción comprendida entre la radícula y el punto de inserción de los cotiledones). Posteriormente, en los cotiledones se diferencian cloroplastos, transformándolos en órganos fotosintéticos y, actuando como si fueran hojas. Finalmente comienza el desarrollo del epicotilo (porción del eje comprendida entre el punto de intersección de los cotiledones y las primeras hojas) (Azcón-Bieto y Talón, 2000).



Fotografía 6. Germinación epigea.

La germinación es el proceso fisiológico de reactivación de la maquinaria metabólica de la radícula y de la plúmula, conducente a la producción de una planta. Para que dicho proceso se lleve a cabo se precisan tres condiciones: que la semilla sea viable, que no esté latente y que las condiciones ambientales sean apropiadas. Es necesario un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula.

Se pueden distinguir las siguientes fases:

- Fase de Hidratación. La imbibición se produce por la diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el sustrato. Durante esta fase se produce una gran absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.
- Fase de Germinación. Representa el verdadero proceso de la germinación. En ella se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.
- Fase de Crecimiento. Es la última fase y se asocia con la emergencia de la radícula. Se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar así como la actividad respiratoria.

La germinación de las semillas es irregular, lo que puede deberse a la presencia de una cubierta extremadamente dura y difícilmente permeable al agua (Pascual *et al*, 2009b).

Desde hace varios años, en el Departamento de Producción Vegetal de la UPV, se han realizado una serie de ensayos con el fin de mejorar la germinación de las semillas de alcaparra, como la comparación de semillas procedentes de distintos tipos de frutos, así como someter a las semillas a diferentes tratamientos como la inmersión en agua fría, en agua caliente, en ácido sulfúrico, estratificado, etc.

Pascual *et al*, (2003) estudiaron la influencia de tres factores (posición del fruto, etapa de maduración y el peso unitario del fruto) en la germinación de las semillas de alcaparra. Concluyeron que el porcentaje final de germinación mejoraba con frutos procedentes de posiciones media o apical de las ramas, y con frutos de tamaños medianos y grandes, sin detectar diferencias entre frutos con distintos grados de madurez. El número de días necesarios para alcanzar el 50% del porcentaje de germinación final y la velocidad media de germinación acumulada no resultaron afectadas por ninguno de los factores estudiados.

Posteriormente, Pascual *et al*, (2004) estudiaron la influencia de diferentes tratamientos para romper la dureza seminal (escarificación mecánica con papel de lija, escarificación mecánica con ultrasonidos, escarificación ácida, escarificación con agua caliente, escarificación enzimática y remojo) y la latencia fisiológica (aplicación de nitrato potásico al sustrato, aplicación de ácido giberélico al sustrato y remojo de las semillas en ácido giberélico antes de la siembra). La escarificación con ácido seguido de la adición de una solución de AG al sustrato de germinación fue el mejor método eficaz, eficiente y económico para asegurar una germinación de las semillas satisfactoria, alcanzándose porcentajes cercanos al 100%.

En el mismo grupo de investigación donde se ha realizado el presente trabajo, existen estudios previos sobre la propagación de la alcaparra mediante la siembra de frutos enteros (Pascual *et al*, 2006a), en los que se estudia la germinación de frutos enteros frente a la germinación de las semillas, diferenciando en ambos casos frutos abiertos y no abiertos. Obtuvieron que el porcentaje de germinación no resultaba afectado ni por el peso del fruto ni por su estado de madurez (abierto o no abierto). Sin embargo en el t_{50} si se observaban diferencias, obteniéndose valores del t_{50} inferiores (40 días) en los frutos sembrados enteros y no abiertos. En el mismo grupo de investigación se intentó repetir el experimento en 2008 y el resultado fue totalmente nulo.

García Molina (2006), en su trabajo final de carrera, estudió la mejora de la propagación sexual y asexual de la alcaparra, realizando entre otros experimentos, un ensayo de envejecimiento acelerado con solución saturada, en el que trabajó con semillas de 5 años diferentes (1999, 2001, 2003, 2004 y 2005), combinando dos temperaturas (41 y 45°C) y cuatro tiempos (24, 48, 72 y 96 horas). Tras el envejecimiento acelerado realizó una Prueba de Germinación Estándar (PGE) para evaluar los efectos de este ensayo. Los resultados obtenidos mostraron una germinación

muy elevada, dando a entender que la utilización de este método permitía una ruptura de la latencia de las semillas de alcaparra.

Pascual *et al*, (2009a) realizaron un estudio sobre los efectos del período de remojo y adición de ácido giberélico en la germinación de las semillas de alcaparra. Estudiaron dos lotes de semillas de los años 2005 y 2006, que se pusieron a remojo en agua corriente a temperatura ambiente del laboratorio durante distintos períodos de tiempo (24 horas, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días). Para estudiar los efectos de este tratamiento se realizaron dos PGE: con o sin adición de AG al sustrato. Se concluyó que un período de remojo como mínimo de 30 días mejoraba el porcentaje de germinación así como el número de días necesarios para alcanzar el 50% del porcentaje de germinación final (t_{50}). La adición de AG al sustrato tras el período de remojo mejoraba la germinación únicamente para las semillas que estuvieron a remojo durante 24 horas y 15 días. Concluyeron que el remojo durante 30 o 45 días resulta un método eficiente de mejora de la germinación de las semillas de alcaparra.

Pascual-Seva *et al*, (2009), estudiaron los efectos del envejecimiento acelerado en la germinación de dos lotes de semillas de alcaparra de dos años consecutivos (2006 y 2007). Las semillas fueron sometidas al ensayo de envejecimiento acelerado con una temperatura de 45°C y durante distintos tiempos (24, 48, 72 y 96 horas). Los efectos fueron evaluados mediante una PGE. Los resultados obtenidos mostraron que el envejecimiento acelerado mejoró la germinación en términos de máximo porcentaje de germinación, así como en términos de t_{50} , que disminuyó su valor, comparándose con la germinación de semillas no envejecidas. Los valores del máximo porcentaje de germinación (A) no resultaron afectados significativamente por el tiempo del envejecimiento acelerado, sin embargo el t_{50} disminuyó significativamente a medida que aumentó el tiempo del tratamiento. Por último constataron que la edad de las semillas no influía en los resultados de la PGE.

1.7.3.- La latencia de las semillas

La pobre germinación de las semillas de alcaparra es debida a la latencia de la semilla, probablemente impuesta por la cubierta de la semilla (latencia física; Sozzi y Chiesa, 1995), así como por latencia fisiológica (Rinaldelli, 2000; Pascual *et al*, 2004).

Derek (2013) describe la latencia o dormición como el fracaso temporal de las semillas para completar la germinación, incluso cuando las condiciones son favorables para tal fin. Este proceso permite la dispersión de las semillas en el espacio y en el tiempo.

La latencia es un bloqueo específico de la germinación y no una disminución de las funciones vitales de la semilla. La dormición de las semillas permite llevar a cabo algunas funciones como respiración, síntesis de nucleótidos y proteínas, regeneración de membranas, entre otras; aunque en una tasa menor de la necesaria para la germinación.

Para poder denominar a una semilla viable como “semilla latente” *sensu stricto* ha de ocurrir que el proceso de germinación falle bajo condiciones adecuadas de oxígeno, agua, etc., inmediatamente después de la dispersión desde la planta madre. Si una vez que la semilla ha madurado y se ha producido el término correcto no sería latencia. Por ejemplo las semillas que requieren procesos de imbibición de agua para germinar, hasta que no consiguen el proceso de imbibición de agua no se llevará a cabo la germinación, no se puede decir que están latentes, el término adecuado en tal caso sería quiescencia (Baskin y Baskin, 1989).

Las semillas que han sido extraídas de la planta madre en estado de latencia se dice que presentan “latencia primaria o innata”, que ha sido inducida como parte del programa de desarrollo y maduración de la semilla, y puede ser mantenida en las semillas maduras y en ambiente seco en condiciones adecuadas de almacenamiento o enterradas en el suelo. Mientras que a las semillas maduras que están en el suelo se le induce gradualmente una “latencia secundaria o inducida o quiescencia” si las condiciones para la germinación son desfavorables o si la germinación ha sido inhibida por otros motivos, como estrés osmótico (Derek, 2013).

En resumen la latencia innata es provocada por la inmadurez del embrión o por la presencia de inhibidores químicos en las cubiertas que lo envuelven, mientras que la secundaria es inducida por condiciones desfavorables tanto medioambientales como del suelo.

La dormición es un componente hereditario demostrado en muchas plantas y cultivos, incluso el grado y profundidad de la misma. Muchos genes están asociados con este proceso y obviamente su expresión está involucrada en el comienzo de la latencia en las semillas inmaduras. Además se sabe que muchos de estos genes están relacionados con la regulación hormonal del proceso.

Hay muchos tipos de latencia innata, que incluyen una inhibición fisiológica, física, mecánica o química de las envolturas que cubren al embrión y lo inhabilitan para la germinación por medio de restricciones metabólicas. Esta latencia puede ocurrir por causas endógenas, algunas características del embrión causantes de la parada del proceso, todas ellas como consecuencia del carácter evolutivo que han ido adquiriendo las especies con el fin de conseguir la supervivencia (Baskin y Baskin, 1989).

Parece que no hay un único mecanismo para mantener y romper el letargo en todas las semillas, existiendo actualmente dos hipótesis. La más extendida supone la existencia de un equilibrio entre sustancias estimuladoras (fundamentalmente giberelinas y citoquininas) e inhibidoras (ácido abscísico). La luz y las bajas temperaturas pueden inducir la síntesis de giberelinas o un cambio en el estado de las membranas celulares, que a su vez favorecería la acción y difusión de las giberelinas. La segunda hipótesis supone la activación de los fenómenos respiratorios del ciclo de fosfato de pentosa (Pascual *et al*, 2009b).

1.7.4.- Las giberelinas en la germinación de las semillas.

Las giberelinas (GAs) son una gran familia de compuestos que pueden regular la germinación de semillas, así como la movilización de reservas y el crecimiento de la planta. El ácido giberélico fue la primera giberelina en ser encontrada como un producto producido por un patógeno del arroz, conocido como *Gibberella fujikuroi* (*Fusarium moniliforme*, ascomiceto; según el orden de descubrimiento fueron denominadas GA_n). La GA₁ fue la primera giberelina de origen vegetal hallada y desde entonces han sido aisladas más de 125 giberelinas de origen vegetal, tanto de plantas superiores como inferiores, incluidas otras del reino de las algas y los musgos.

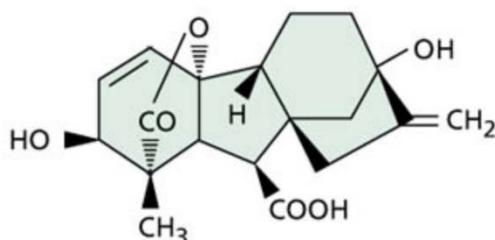


Figura 1. Estructura de la molécula de AG₃. Tomado de Ávalos y Pérez-Urria (2009).

La ruptura de la latencia está regida por señales ambientales, entre las que se incluyen, temperatura luminosidad, nitratos disponibles y otros pequeños componentes y además está controlada mediante señales hormonales, principalmente por las GAs y el ácido abscísico. El balance de estas dos hormonas parece ser el centro regulador de las características integradas en las múltiples interacciones con las señales ambientales. En general la aplicación de GAs a las semillas adelanta y aumenta la cantidad de germinación, mientras que el ácido abscísico haría el efecto opuesto (inhibe la síntesis de las hidrolasas y las enzimas que degradan la pared celular, además afecta a la elongación de la radícula). Pero tanto para la germinación como para la latencia es precisa la presencia de promotores e inhibidores a la vez en las proporciones adecuadas (Derek, 2013).

Pascual *et al*, (2004) realizaron un estudio en el que concluyeron que la adición de AG al sustrato y remojo de las semillas de alcaparra en éste mismo ácido antes de la siembra, mejoraba considerablemente la germinación alcanzándose porcentajes cercanos al 100%.

El AG actúa en el proceso de germinación promoviendo el crecimiento en el embrión de una semilla. Las GAs empiezan a acumularse rápidamente en los embriones después de 24 h de imbibición. Estas hormonas estimulan la síntesis de enzimas hidrolíticas que comienzan a degradar las reservas del endospermo dando lugar a azúcares y aminoácidos necesarios para la elongación del embrión (Raven *et al*, 2013).

Así se puede decir que las GAs tienen dos sitios diana, uno es el embrión, y otro las enzimas del endospermo. La acción sobre el primero influye en la germinación

directamente, mientras que la acción en el endospermo no desencadena la germinación en sí, sino que activa las rutas metabólicas necesarias para cumplir tal fin (Fuentes, 2013).

Además las GAs incrementan el crecimiento potencial del embrión (Ogawa *et al.*, 2003). Por tanto, las GAs hacen que un embrión con una radícula más fuerte penetre un endospermo debilitado, lo que se traduce una germinación más rápida y en una aceleración del crecimiento de la plántula. Del mismo modo, las GAs controlan aspectos importantes en el desarrollo de las plantas, actúan como estimulantes del crecimiento al originar plantas de mayor tamaño, aumentan la expansión foliar, la floración y el desarrollo de las semillas (Balaguera-López *et al.*, 2009).

Según Azcón-Bieto y Talón (2000), una de las funciones más importantes de las GAs es la promoción del crecimiento del tallo. Esto se debe a la inducción de la división celular en el meristemo subapical.

La influencia de la aplicación exógena de AG en la elongación celular del hipocótilo se ha estudiado en distintos mutantes de *Arabidopsis thaliana* L. Cowling *et al.*, (1999) comprobaron que el AG regula el crecimiento del hipocótilo por la alteración de la elongación celular de las células, demostrando que lo regula tanto en la luz como en la oscuridad, al influir en el ritmo y la longitud celular. Los resultados muestran una gran variabilidad en la longitud del hipocótilo, lográndose diferentes longitudes del hipocótilo en función de las dosis de AG aplicadas.

La elongación celular en raíces está basada en que los microtúbulos corticales de plantas se pueden reorientar de una configuración transversal (en relación con el eje axial de la célula) a una longitudinal. Las GAs inducen la reorientación de los microtúbulos de forma longitudinal a transversal, en un proceso en el cual algunos crecen mientras otros se contraen (Yuan *et al.*, 1994; Lloyd *et al.*, 1996).

Otras fuentes (Laboratorio de Biología Molecular Vegetal, 2008) indican que las GAs como aumentan la extensibilidad de la pared, activando la enzima XET (xiloglucano endotransglucosilasa), que causa reordenamientos moleculares en la matriz de la pared celular.

1.8.- INFLUENCIA DE LA IRRADIACIÓN LÁSER HE-NE EN LA GERMINACIÓN

Se sabe que en algunas semillas las giberelinas exógenas sustituyen la acción de la luz y que la luz rojo oscura contrarresta la acción de la giberelinas.

Parece que el fitocromo promueve la síntesis de determinadas enzimas. Generalmente estos fenómenos tienen lugar únicamente cuando las semillas están intactas, es decir provista de las cubiertas. Si en semillas que necesitan luz para

germinar, se eliminan las cubiertas, los embriones aislados son capaces de germinar en la oscuridad. La relación entre la acción del fitocromo, localizado en el eje embrionario y las cubiertas seminales que provocan el letargo, no está clara todavía (Pascual *et al*, 2009b).

Se conoce que entre los métodos físicos para mejorar la efectividad de la germinación, el proceso de estimulación por medio de láser, ha mostrado efectos positivos en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de interés comercial (Costilla-Hermosillo *et al.*, 2010).

El uso de métodos físicos para el tratamiento de semillas es más rentable y beneficioso en comparación con otros métodos empleados, siendo la irradiación con láser de las semillas un método respetuoso con el medio ambiente para acelerar el proceso de germinación de la semilla (Jamil *et al.*, 2013)

El término láser es acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Un láser es un dispositivo que produce un haz de luz con ciertas propiedades que lo hacen diferente a cualquier otro tipo de iluminación convencional. La aplicación de láseres es común en casi todas las ramas de la ciencia y la tecnología. El láser desempeña un importante papel en diferentes campos de la sociedad, incluyendo la agricultura (Chen *et al*, 2006; Hernandez *et al*, 2010). Dicho procedimiento permite irradiar a una parte de la testa de la semilla, superando los factores físicos o fisiológicos que causan la supresión de la germinación, tales como la permeabilidad del agua y gas a los embriones de las semillas (Koper *et al*, 1999).

La irradiación de semillas con láseres de baja intensidad puede dar lugar a una reducción en el tiempo necesario para la germinación, un incremento en la biomasa de las plantas y en la producción de frutos, incremento en vigor de plántulas, incremento en la longitud de la raíz, etc., debido a que entre sus principales funciones están la activación de una rápida división celular y que a su vez da lugar a una tasa de crecimiento inicial y de desarrollo más rápida, y finalmente a un incremento en la productividad y calidad de la producción de plantas (Podleśny, 2002; Dinoev, 2006).

2.- OBJETIVOS

Los objetivos definidos para este trabajo de investigación son tres y vienen enumerados a continuación:

- Estudiar la influencia del período transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación.
- Estudiar la influencia de la radiación láser He-Ne sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de la radícula e hipocótilo.
- Analizar la viabilidad de la utilización de frutos enteros para la propagación sexual.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS.

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Fitotecnia General del Departamento de Producción Vegetal, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural en la Universitat Politècnica de València. El material vegetal procedía de las plantas situadas en una parcela del Campus de Vera, situada en el término municipal de Valencia, polígono 26, parcela 214.

El trabajo consta de tres experimentos, el primer experimento se inició en septiembre del año 2012, el segundo en octubre de 2012 y el tercero en enero de 2013.



Fotografía 7. Vista aérea de la parcela. (MAGRAMA, 2013).



Fotografía 8. Parcela de alcaparra

3.1.- Influencia del período transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación.

En este experimento se utilizaron semillas extraídas de frutos recolectados en cuatro períodos distintos. Los frutos abiertos, se recolectaron el mismo día o el día siguiente de la dehiscencia. En la tabla 1 se presentan las fechas de recolección de los frutos correspondientes a los distintos períodos de recolección y el número de días transcurridos desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación.

Tabla 1. Fechas de recolección y número de días transcurridos desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación para cada uno de los períodos de recolección.

Período de Recolección		Nº de días transcurridos desde la recolección hasta el inicio del ensayo
1	Segunda semana de agosto	45
2	Cuarta semana de agosto	30
3	Segunda semana de septiembre	15
4	Cuarta semana de septiembre	0

Las semillas fueron extraídas del fruto eliminándose los restos de pulpa adheridos a ellas mediante frotación y lavado utilizando muselina (una tela fina y transparente). Las semillas maduras se separaron por decantación, dada su distinta densidad. Las semillas inmaduras permanecían en la superficie mientras que las maduras se depositaban en el fondo, siendo estas últimas las únicas utilizadas en el experimento.

Para prevenir infecciones parasitarias, las semillas fueron desinfectadas en una solución de hipoclorito sódico al 25% durante 2 minutos, seguido de varios lavados con agua corriente. A continuación se dejaron secar a temperatura ambiente sobre papel de filtro durante 4 horas.

El ensayo de germinación se inició la cuarta semana de septiembre. Como sustrato de germinación se utilizó papel de filtro de grosor medio (73 g/m²) previamente esterilizado en autoclave, empleándose el método BP (*Between Paper*) (ISTA, 2007). Las semillas se colocaron entre dos capas de dicho papel en el interior de la placa Petri de 9 cm de diámetro. El papel se humedeció con una solución de ácido giberélico a la concentración de 500mg L⁻¹ (Giber 3. Salquisa Agrociencias. Ácido giberélico 1,6% p/v). Como control se utilizó agua destilada. En cada placa se sembraron 50 semillas, con 4 repeticiones (placas) para cada uno de los períodos de recolección, siguiendo las Reglas ISTA (ISTA, 2007). Las semillas se distribuyeron uniformemente por el papel, evitando el contacto entre ellas.



Fotografía 9. Vista de una placa Petri preparada para el ensayo de germinación.

Se colocaron en el interior de la cámara de germinación Climatronic, con control de temperatura, humedad y fotoperiodo. Se fijó la temperatura de la cámara en 30°C durante el día y 20°C durante la noche. Se estableció una humedad relativa del 85% y un fotoperiodo de 12 horas, siendo el periodo de oscuridad desde las 19 horas hasta las 7 horas. La iluminación, de 15000 luxes, la proporcionaban tubos fluorescentes blancos fríos.

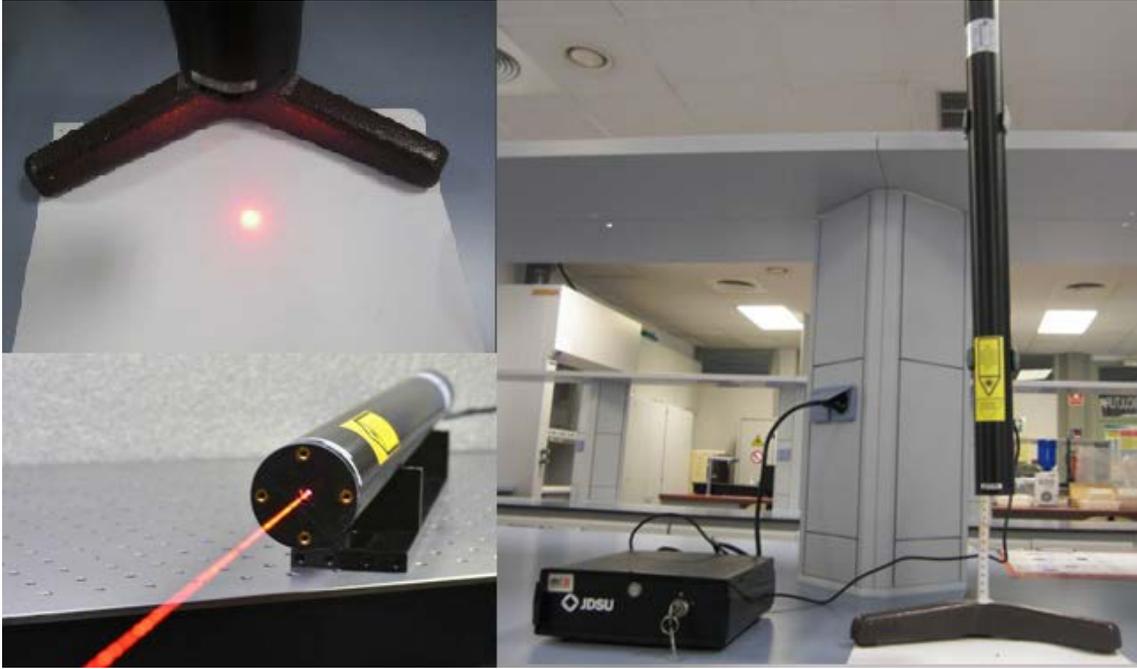
Los ensayos se consideraron satisfactorios cuando la diferencia entre los porcentajes de germinación máximo y mínimo de las repeticiones no sobrepasaba la tolerancia establecida por las Reglas Internacionales para ensayos de semillas (ISTA, 2007). Se realizó el seguimiento de la germinación durante 150 días, humedeciéndose el papel de filtro con agua destilada (tratamiento control), con ácido giberélico, realizando el registro del número de semillas germinadas con una frecuencia de tres veces por semana. Las semillas se consideraron germinadas cuando presentaba la radícula visible.

3.2.- Influencia de la radiación láser He-Ne sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de la radícula e hipocótilo.

El experimento se realizó con un lote de semillas almacenadas en condiciones de laboratorio y procedente de frutos recolectadas en la primera semana de agosto de 2012.

Las semillas fueron extraídas y tratadas de manera análoga al experimento anterior.

El ensayo se realizó en enero de 2013. Las semillas se dividieron en grupos y se irradiaron con un láser de He-Ne (1145 JDSU casa comercial) -con una potencia de emisión de 25 mW, 632.28 nm (banda roja del espectro) de longitud de onda, con un haz circular 0.7 cm de diámetro y con una densidad de potencia de 65 mW/cm².



Fotografía 10. Láser He-Ne, 1145 JDSU.

Los tratamientos de irradiación fueron aplicados durante 0 (control), 10, 30, 60 y 120 segundos. Tras la irradiación se realizó el ensayo de germinación tal y como se ha descrito en el ensayo anterior, con la aplicación tanto de agua destilada como de ácido giberélico para humedecer el sustrato. Cada una de las 4 repeticiones estaba formada por 50 semillas.

Posteriormente se procedió al estudio de la elongación de la radícula y del hipocótilo de las plántulas correspondientes a las semillas germinadas. Las semillas germinadas (de cada repetición y día de conteo del ensayo de germinación) se colocaron en una nueva placa Petri, manteniendo húmedo el sustrato con agua destilada o en su caso la solución de ácido giberélico. Transcurridos diez días (en promedio) se realizó un registro fotográfico de las plántulas presentes en cada placa Petri.



Fotografía 11. Elongación de radícula e hipocótilo en semillas germinadas.

Para el conteo del número de las plántulas que habían experimentado crecimiento, y el análisis del crecimiento de la radícula y del hipocótilo, se utilizó el programa digital para el tratamiento de imágenes *Image Tools for Windows Versión 3.0* (The University of Texas Health Science Center, San Antonio, Texas, USA).

3.3.- Utilización de frutos enteros para la propagación sexual

Este ensayo se llevó a cabo a partir de frutos maduros cosechados desde el 20 de septiembre hasta el 8 de octubre de 2012, inmediatamente antes o después de la dehiscencia. Los frutos abiertos se recolectaron el día de la dehiscencia o el día siguiente, mientras que los no abiertos, correspondían a los frutos situados dentro de las 3 siguientes posiciones al fruto con dehiscencia dentro de cada rama.

Se comparó la germinación obtenida a partir de los frutos enteros con la obtenida a partir de las semillas extraídas (tal como se ha explicado en los experimentos anteriores) de los frutos correspondientes. En primer lugar, para estimar el número de semillas contenidas en los frutos enteros, se estudió la relación entre el peso unitario de los frutos y el número de las semillas contenidas en los mismos (Pascual *et al*, 2006a).

Esta relación se estableció a partir de datos de 100 frutos, de peso unitario comprendido entre 7,22 mg y 11,725 mg.



Fotografía 12. Situación de los frutos de alcaparra en la planta.

A partir de los datos obtenidos, mediante regresión lineal entre el peso de los frutos y el número de las semillas, se estimó el número de semillas presentes en el interior de los frutos sembrados enteros, tanto abiertos como no abiertos.

Se estudió el efecto del tratamiento de frutos y semillas previo a la siembra con ácido giberélico a la concentración de 500mg L⁻¹ (Giber 3. Salquisa Agrociencias. Ácido giberélico 1,6% p/v).

Las macetas utilizadas tenían unas medidas de 6.5x6.5x6.5 cm (0.275 L). El sustrato empleado estaba compuesto por una mezcla comercial a base de turba rubia, turba negra y corteza de pino compostada de granulometría fina (Sustrato Vegetal Plantivibel; tabla 2). Para evitar posible problemas de plagas (fundamentalmente la *Bradysia* spp., mosca de los semilleros) o enfermedades, el sustrato se sometió previamente a un tratamiento de frío (a la temperatura de -20°C durante 24 horas). El sustrato se mantuvo húmedo con agua corriente según fuese necesario.

Tabla 2. Características del sustrato.

Materia orgánica	89%
pH	5-6
Conductividad eléctrica	150 μ siemens
Nitrógeno	120 mg. L ⁻¹
Anhídrido fosfórico (P ₂ O ₅)	85 mg. L ⁻¹
Oxido de Potasio (K ₂ O)	650 mg. L ⁻¹

Para realizar el estudio de los tres factores, (fruto abierto o no abierto; utilización del fruto entero; utilización de ácido giberélico) –con 25 repeticiones de cada tratamiento- , se utilizaron un total de 200 frutos.

El ensayo se realizó en la misma cámara de germinación utilizada en los ensayos anteriores, con las mismas condiciones de temperatura, humedad, iluminación y fotoperiodo.



Fotografía 13. Bandeja con macetas en cámara de germinación.

El ensayo tuvo una duración de 280 días, realizando un registro del número de plántulas emergidas con una frecuencia de tres veces por semana.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el análisis estadístico se ha utilizado el programa STATGRAPHICS Centurion XVI. (StatPoint Technologies, Warrenton-Virginia, USA.). Las curvas de germinación se han ajustado a la función logística (Torres y Frutos, 1989), cuya validez para la germinación de las semillas de alcaparra había sido previamente demostrada (Pascual *et al*, 2004).

La función logística tiene la siguiente expresión:

$$G = A [1 + \exp(\beta - kt)]^{-1}$$

G = Germinación acumulada (%).

A = Máximo porcentaje de germinación.

t = Periodo de germinación (días).

β = Parámetro referente a la posición de la curva en relación con el eje del tiempo.

K = Parámetro de velocidad.

A partir de los resultados obtenidos, se calcularon los parámetros con significado biológico: el número de días necesarios para alcanzar el 50% del porcentaje de

germinación final ($t_{50} = \beta/k$, d), que coincide con el punto de inflexión de la curva sigmoidea, y la velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d⁻¹).

Los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos se han analizado mediante análisis de la varianza con separación de medias mediante el test LSD ($p < 0.05$). En todos los casos, previo a la realización del análisis de la varianza se ha comprobado que las series de datos siguen una distribución normal, y en el caso particular de aquellas que los datos se presentaban en porcentajes (G , A , porcentaje de elongación), se ha transformado mediante la expresión: $\text{arc sen } \sqrt{x}$.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Influencia del período transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación.

El ajuste de los datos obtenidos en este ensayo de germinación al modelo logístico, ha resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) en todos los casos (32), con coeficientes de determinación (R^2) comprendidos entre 99,21 y 90,36. Estos resultados confirman que el uso de la función logística es adecuado para el análisis de la germinación de las semillas de alcaparra tal y como se muestra en anteriores estudios sobre la alcaparra (Pascual *et al*, 2006a; Pascual *et al*, 2009).

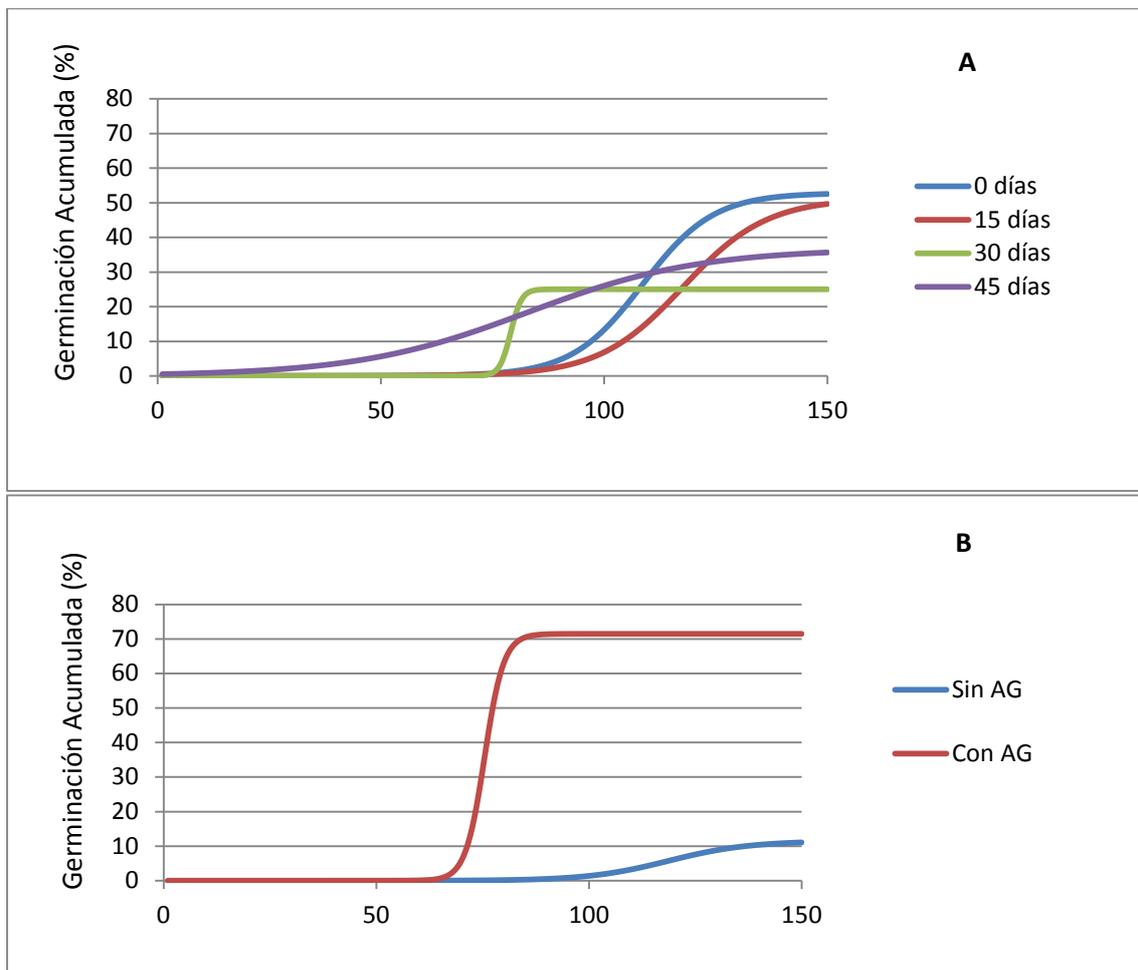


Figura 2. Modelo logístico ajustada a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para los diferentes períodos (número de días) transcurridos entre la recolección y el inicio del ensayo de germinación (A) y la aplicación de ácido giberélico (B).

La figura 2 presenta el modelo logístico ajustado a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para los diferentes períodos (número de días) transcurridos desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación (DDR; Fig. A) y la aplicación de AG (Fig. B). Se observa una clara diferencia entre las curvas

correspondientes a 0 y 15 días con respecto a las correspondientes a 30 y 45 días (Fig. A). Es de destacar el importante efecto del AG en la germinación (Fig. B).

Tabla 3. Influencia del período (número de días) días transcurrido desde la recolección hasta el inicio del ensayo de germinación (DDR) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en la germinación acumulada (G , %), máximo porcentaje de germinación (A , %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final ($t_{50} = \beta/k$, d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).

	G	A	t_{50}	$k/2$
DDR				
0	52,75 a	52,84 a	108,61 a	0,06
15	50,25 a	51,29 a	117,64 a	0,05
30	24,50 c	25,03 c	79,05 b	0,41
45	36,25 b	36,74 b	82,87 b	0,03
AG				
Sin AG	11,12 b	11,48 b	118,64 a	0,053
Con AG	70,75 a	71,47 a	75,45 b	0,222

Análisis de la Varianza

Parámetros (grados de libertad)	% Suma de cuadrados			
DDR (3)	10.22**	10.07**	22.76**	9.40 ^{n.s.}
AG (1)	70.15**	69.90**	39.21**	2.73 ^{n.s.}
DDR x AG (3)	19.06**	19.35**	15.58**	10.56 ^{n.s.}
Residual (24)	0.56	0.67	22.43	77.30
Desviación estándar ⁽⁺⁾	3.08	3.39	18.86	0.52

Letras distintas en una misma columna indican diferencias ($p \leq 0,05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. **: nivel de significación $p \leq 0,01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

Todos los parámetros, salvo la velocidad media relativa de germinación acumulada han sido afectados significativamente ($p \leq 0,01$) por los factores analizados así como por su interacción (tabla 3). El factor que más influencia ha tenido en la germinación acumulada (G) es el AG, suponiendo el 70% de la variabilidad de G ,

seguido de la interacción DDR x AG (19%) y de DDR (10%), mientras que el valor residual, que correspondería a la influencia de otros factores no contemplados en el análisis, ha supuesto únicamente el 0.56% de la variabilidad.

Al analizar la interacción DDR x AG (Fig. 3) se observa que el AG ha tenido un mayor efecto cuanto menor ha sido el DDR, y que en el tratamiento control (semillas sin aplicación de AG) las semillas con menor DDR (0 y 15 días) han tenido una menor G que las de mayor DDR (30 y 45 días). Ello podría explicarse porque en el proceso de almacenamiento hay un deterioro de las cubiertas de las semillas (Pascual *et al*, 2006b), que podría asimilarse al producido por la escarificación de las semillas, habiéndose demostrado el efecto de los distintos tipos de escarificación en la germinación de las semillas de alcaparra (Pascual *et al*, 2004). El deterioro de las cubiertas de las semillas conseguido con tratamientos de envejecimiento acelerado fue el responsable del aumento de germinación obtenido por Pascual-Seva *et al.*, (2009).

Hay que considerar que bajo la denominación de DDR se incluyen dos conceptos, la fecha de recolección, que en realidad se refiere a la fecha de maduración de los frutos, y el período transcurrido entre la recolección y el inicio del ensayo de germinación, que aparentemente influyen de manera opuesta en la germinación. En cuanto a la fecha de la recolección, hay que considerar que ésta tiene una influencia significativa en la germinación posterior de las semillas de alcaparra, de manera que al retrasar la recolección disminuye la germinación (Pascual *et al*, 2006b), que es lo que ha sucedido en este experimento sin la aplicación de AG.

Por otra parte, con aplicación de AG se ha obtenido un mayor porcentaje de germinación cuando el ensayo de germinación se ha realizado inmediatamente después de la recolección con relación a un mayor periodo de tiempo, de acuerdo con los resultados obtenidos por Mascarós (2010). Es de destacar que las semillas de 30 DDR con aplicación de AG, que presentaron un valor de G muy bajo, sufrieron un fuerte ataque de hongos, debido probablemente a que la desinfección de las semillas no se realizara correctamente. Cabe preguntarse por el efecto que se obtendría si se consideraran la fecha de recolección y el DDR como factores independientes, lo que será estudiado en próximos experimentos.

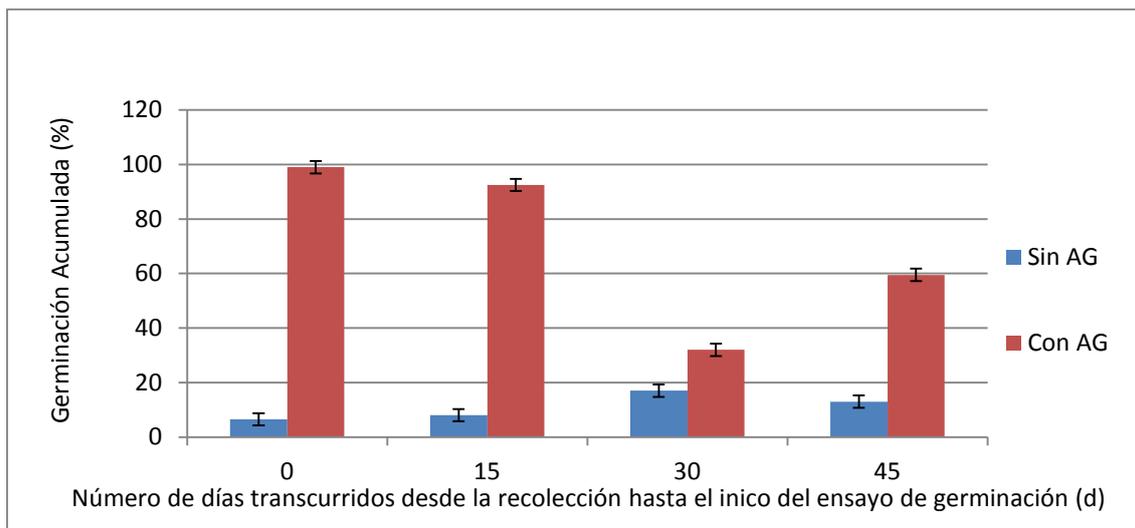


Figura 3. Interacción entre los factores “Días Después de la Recolección” y “Ácido Giberélico, (AG)” para el parámetro % de germinación acumulada (*G*). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

En cuanto al máximo porcentaje de germinación (*A*), se observa una influencia de los factores estudiados de manera análoga a lo ocurrido en el porcentaje de germinación acumulada (*G*). A la vista de los resultados, en ambos parámetros se observa que el 100% de la germinación sólo se alcanza cuando el ensayo de germinación se inicia inmediatamente después de la recolección, siempre y cuando se realice aplicación exógena de AG, disminuyendo la germinación con el retraso del inicio del ensayo. No sería aconsejable retrasar más de 15 días el ensayo de germinación.

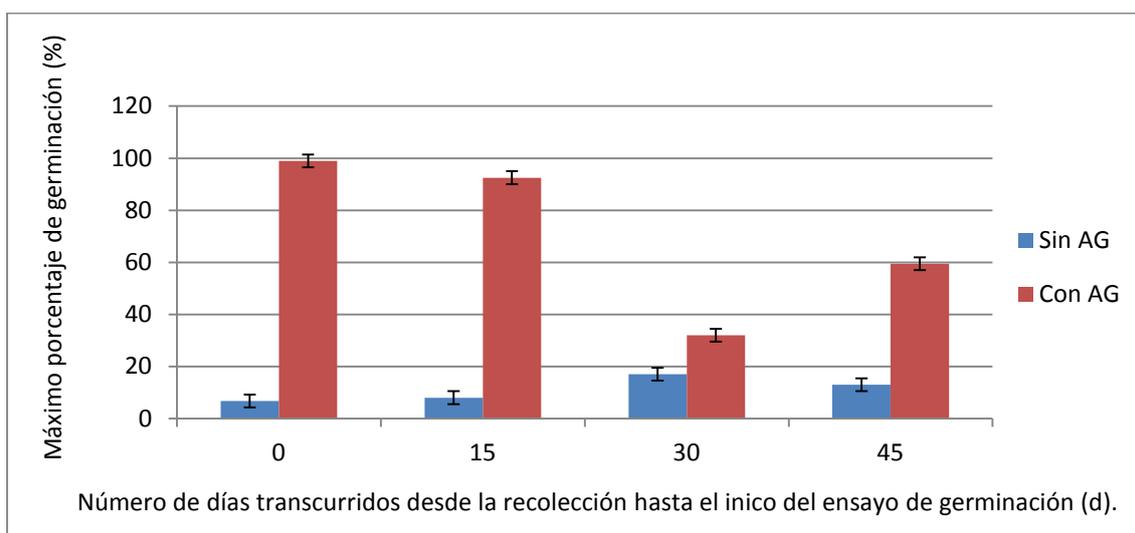


Figura 4. Interacción entre los factores “Días Después de la Recolección” y “Ácido Giberélico, (AG)” para el parámetro % de germinación potencial (*A*). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

Los dos factores analizados y su interacción han influido ($p \leq 0.01$) sobre el t_{50} , suponiendo AG, DDR y su interacción el 39%, 23% y 16%, de la variabilidad, respectivamente. La aplicación de AG ha reducido el t_{50} (en promedio de 119 a 75 días) mientras que las semillas correspondientes a 30 y 45 DDR han presentado un menor t_{50} (en torno a 80 días) que las correspondientes a 0 y 15 DDR (>100). Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios anteriores en los que el t_{50} fue de aproximadamente 80 días (Pascual *et al*, 2004; Pascual *et al*, 2009b).

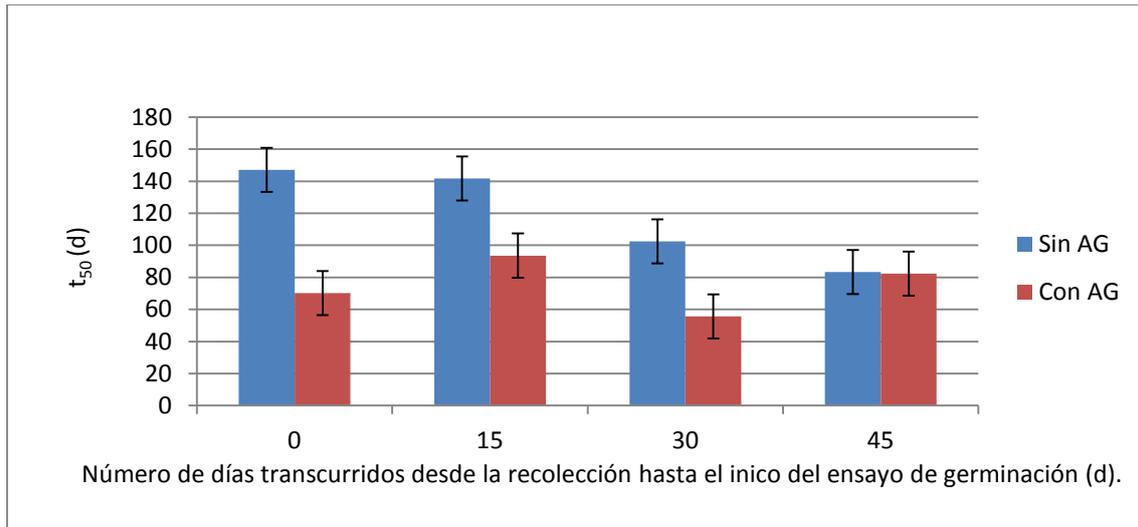


Figura 5. Interacción entre los factores “Días Después de la Recolección” y “Ácido Giberélico, (AG)” para el parámetro número de días para alcanzar el 50% de la germinación final (t_{50} , d). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

En la figura 5 puede observarse que los mayores t_{50} han correspondido a los ensayos de germinación iniciados hasta 15 DDR, sin la aplicación de AG, que son las semillas que han presentado una menor germinación acumulada. Con la aplicación de AG, el t_{50} se ha reducido para los diferentes DDR, excepto para 45 días, en el que no han existido diferencias estadísticamente significativas al aplicar el AG. En estudios anteriores ya ha sido comprobado que con la adición de AG se reduce el número de días necesarios hasta alcanzar el 50% de la germinación (Pascual *et al*, 2009b).

Para el parámetro $k/2$ como puede observarse en la tabla xx no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para ninguno de los factores estudiados (DDR y AG) ni tampoco para la interacción entre ambos.

4.2.- Influencia de la radiación láser He-Ne sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de la radícula e hipocótilo.

El ajuste de los datos obtenidos en este ensayo de germinación al modelo logístico, ha resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) en todos los casos (40), con coeficientes de determinación (R^2) comprendidos entre 99,9797 y 89,30.

En la figura 6 se muestra el modelo logístico ajustado a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para las diferentes dosis de irradiación láser y la aplicación de AG.

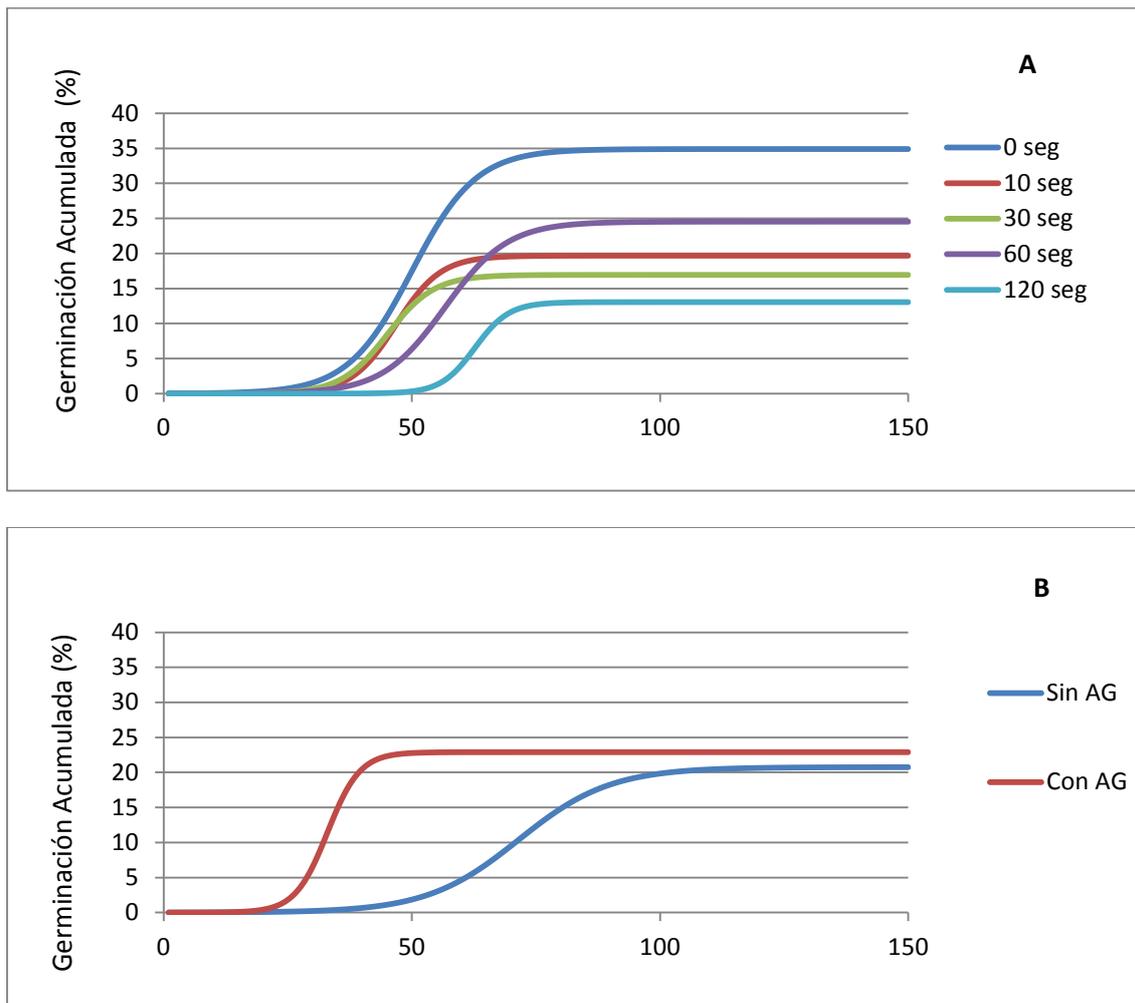


Figura 6. Modelo logístico ajustado a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para las diferentes dosis de irradiación láser (A) y la aplicación de ácido giberélico (B).

Tabla 4. Influencia de las diferentes dosis de irradiación láser (Láser, s) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en la germinación acumulada (G , %), máximo porcentaje de germinación (A , %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final (t_{50}) (β/k , d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).

	G	A	t_{50}	$k/2$
LÁSER				
0	34,37 a	34,90 a	49,99	0,08
10	19,68 b	19,68 bc	46,82	0,11
30	18,12 b	16,94 c	45,10	0,11
60	24,68 b	24,54 b	56,65	0,08
120	21,33 b	17,05 c	62,71	0,15
AG				
Sin AG	21,84	20,75	71,50 a	0,05 a
Con AG	25,44	22,89	33,00 b	0,15 b

Análisis de la Varianza

Parámetros (grados de libertad).	% Suma de cuadrados			
Láser (4)	45.14**	58.49**	5.19 n.s.	7.87 n.s.
AG (1)	4.36 n.s.	1.18 n.s.	44.84**	31.38**
Láser x AG (4)	3.89 n.s.	0.65 n.s.	4.66 n.s.	0.27 n.s.
Residual (30)	46.61	39.67	45.30	60.48
Desviación estándar ⁽⁺⁾	6.79	7.16	22.34	0.08

Letras distintas en una misma columna indican diferencias ($p \leq 0,05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. **: nivel de significación $p \leq 0,01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

El porcentaje de germinación, tanto G como A ha sido afectado por la duración del tratamiento con el láser, mientras que t_{50} y $k/2$ se han visto afectados por la adición de AG suponiendo el 45% de la variabilidad de G y el 58% de A .

Se observa como el tratamiento con láser no sólo no mejora la (G y A) sino que incluso la reduce ($p \leq 0,05$), no existiendo diferencias ($p \leq 0,05$) entre la duración del tratamiento. En anteriores estudios sobre el comportamiento de la germinación de las

semillas estimuladas previamente mediante irradiación láser He-Ne (Costilla-Hermosillo *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2011; Jamil *et al.*, 2013, Chen *et al.*, 2005a; 2005b; Cepero *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2002; Ritambhara, y Girjesh, 2013) la aplicación de este tratamiento se tradujo en una mejora del porcentaje de germinación, a diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Perveen *et al.* (2010) encontraron que radiación láser afecta a los parámetros termodinámicos de semillas que tienen influencia en los cambios significativos en la germinación de las semillas y la actividad de enzimas. El período inicial de la germinación, es decir, imbibición, se caracteriza por el marcado incremento de la respiración, lo que se vincula con la absorción intensiva de agua (Lewak 1998).

Podleśny *et al.* (2012) observó esta influencia del láser al inicio del proceso de germinación porque el peso de las semillas irradiadas aumentó más rápido que el de las no irradiadas. Esto significa que las semillas irradiadas absorbieron más agua. De acuerdo con Zhan *et al.* (2011) la actividad enzimática a diferentes longitudes de onda de irradiación láser se mejoran significativamente dentro de cierto rango de longitud de onda, pero más allá de ese límite se retarda, siendo esta una posible causa de los resultados que se muestran en la tabla 4.

La obtención de los distintos resultados también podría estar debido a la capacidad que tienen las especies de responder a un mismo tratamiento de forma diferente, ya sea por su constitución fisiológica o sus propios mecanismos de germinación y crecimiento (Casate *et al.*, 1995).

En este sentido, la irradiación con láser de He-Ne no siempre tiene un efecto positivo sobre las semillas, sino que también puede inhibir la germinación, y la emergencia de las plántulas (Muszyński y Gładyszewska, 2008). En el estudio realizado por Prooeba-Biaczyk *et al.*, (2013) no se encontró ninguna mejora significativa de la capacidad de germinación de las semillas de remolacha tratadas mediante irradiación láser respecto a las semillas control. La investigación realizada por Costilla-Hermosillo *et al.* (2010) resultó en un mayor porcentaje de germinación en las semillas de *Stenocactus multicosatus* irradiadas durante 150 segundos respecto al control, pero los cuatro restantes tiempos de tratamientos ensayados dieron como resultado porcentajes de germinación inferiores al obtenido por las semillas que habían recibido el tratamiento control.

Ritambhara, y Girjesh, (2013) han estudiado el efecto del tratamiento láser He-Ne con la longitud de onda de 632,8 nm sobre semillas de almorta (*Lathyrus sativus* var. Pusa-24) observando que el porcentaje de germinación de las semillas tratadas respecto al control solo mejoraba para un tratamiento (0.5 min) de los tres aplicados (0.5min, 1min y 1.5 min) pero esta mejora no ha resultado significativa ($p \leq 0.05$) respecto a los resultados del tratamiento control.

Álvarez *et al*, (2011) concluyeron que el efecto de la luz láser no provocó cambios significativos ($p \leq 0.05$) en la germinación de las semillas del cultivar híbrido de tomate (*Solanum lycopersicum*), HA3019 (de la firma israelí HAZERA). En dicho estudio se observó un ligero decrecimiento del porcentaje de germinación de las semillas a partir de los 30 segundos de irradiación, señalando que podría ser más intenso (significativo) si se incrementara el tiempo de irradiación. Álvarez *et al*, (2011) también indica que dichos resultados se corresponden con otros autores que han señalado que al tratar semillas de hortalizas con alto poder germinativo reaccionan de forma débil al tratamiento con métodos físicos estimulantes (como el láser de baja potencia) y que la estimulación se logra cuando las semillas presentan problemas de latencia o están sometidas a condiciones estresantes que retrasan o inhiben su germinación. Ante esta última apreciación, en el experimento llevado a cabo con las semillas de alcaparra, que presentan problemas de latencia, cabía esperar una mejora en el porcentaje de germinación, que a la vista de los resultados, no ha tenido lugar.

Es más, se observa que a medida que se aumenta el tiempo de exposición hasta los 30 s, se produce un descenso de dicho porcentaje (18%); a los 60 s de exposición se ha obtenido el máximo porcentaje para las semillas tratadas (aunque no ha superado al obtenido por las semillas control, 25%), produciéndose de nuevo un descenso en el tratamiento de 120 s (21%). Este repunte de G en las semillas irradiadas durante 60 s provoca el desacuerdo con la teoría de *Homersis* propuesta por Calabrese y Baldwin (2003): un fenómeno de relación dosis-respuesta caracterizada por la estimulación de bajas dosis y la inhibición a altas dosis.

En la publicación de Muszyński y Gladyszewska, (2008) se presenta que el efecto de la mejora del porcentaje de germinación desencadenado por la irradiación láser He-Ne en semillas de rábano (*Raphanus sativus* cv. Pola), únicamente pudo constatarse en un determinado índice de germinación (porcentaje de germinación final) y solo se obtuvieron resultados estadísticamente significativos ($p \leq 0.01$) en dicho porcentaje a una determinada temperatura de germinación (20°C). Los autores concluyeron que esta estimulación no afectó a las propiedades relacionadas con el tiempo en el proceso de germinación. Este mismo resultado se aprecia en la tabla 4, donde los parámetros t_{50} y $k/2$ solo han sido afectados ($p \leq 0.01$) por el factor “AG” y no por el factor “láser”. Las semillas tratadas con AG muestran para estos dos parámetros un mejor comportamiento, siendo el factor AG responsable del 45% de la variabilidad de t_{50} y del 32% de la variabilidad de $k/2$.

La interacción de los factores “láser” x “AG”, para ninguno de los parámetros estudiados, ha resultado significativa ($p \leq 0.05$).

Existen distintas investigaciones en las que se estudia el crecimiento de la raíz, del hipocótilo o de ambos, en semillas previamente tratadas mediante irradiación láser (Proeoba-Biaczyk *et al*, 2013; Álvarez *et al*, 2011). Los resultados del crecimiento en

longitud de la raíz e hipocótilo de las semillas germinadas obtenidos en el presente experimento se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Influencia del tiempo de aplicación del tratamiento de irradiación láser (Láser) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en el porcentaje de semillas elongadas, longitud media y longitud máxima alcanzada por la raíz e hipocótilo.

	% Semillas elongadas	Longitud Media (mm)	Longitud Máxima (mm)
LÁSER			
0	65,95	8,00	24,12 a
10	52,96	7,94	13,62 b
30	65,32	7,27	12,12 b
60	56,88	7,72	17,87 ab
120	59,11	9,39	17,18 ab
AG			
Sin AG	72,73 a	8,27	19,28
Con AG	47,36 b	7,87	14,68

Análisis de la Varianza			
Parámetros (grados de libertad)	% Suma de cuadrados		
Láser (4)	5.36 n.s.	4.43 n.s.	16.92 n.s.
AG (1)	34.86**	0.35 n.s.	5.16 n.s.
Láser x AG (4)	10.84 n.s.	10.35 n.s.	9.49 n.s.
RESIDUAL (39)	48.93	84.86	68.42
Desviación estándar (+)	17.35	3.59	9.67

Letras distintas en una misma columna indican diferencias ($p \leq 0,05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. **: nivel de significación $p \leq 0,01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

Más de la mitad de las semillas que han germinado (registro realizado en la primera parte del experimento), han tenido crecimiento posterior (% de semillas elongadas), tanto en las semillas control como las tratadas. El tratamiento de irradiación láser no ha afectado significativamente ($p \leq 0,05$) al porcentaje de semillas elongadas, contribuyendo este factor en un 5% de la variabilidad de la variable. En cambio el AG sí que ha influido significativamente ($p \leq 0,01$) en el porcentaje de semillas elongadas, disminuyendo su valor (del 73% al 48%) con la aplicación de AG.

Este comportamiento de las giberelinas ya ha sido descrito en anteriores investigaciones. La aplicación de Promalina (citoquinina + giberelina) a semillas de *Echinacea angustifolia* provocó una disminución de la elongación radicular respecto al control Ortiz (2001), aunque se ha de tener en cuenta la influencia de la aplicación conjunta de citoquinina, que presumiblemente interfiere en dicho resultado.

Inada y Shimmen (2000) concluyeron que la aplicación exógena de AG en semillas de lenteja de agua (*Lemna minor*) no promovió la elongación radicular, sino que corroboró la desorganización de los microtúbulos corticales (ver apartado 1.7.3.- Las giberelinas en la germinación de las semillas) y posteriormente la inhibió; concluyendo que sólo los contenidos endógenos de AG controlaron el crecimiento de raíces por regulación en la elongación celular.

Balaguera-López *et al.* (2009) estudiaron, entre otros atributos morfológicos, la longitud de la raíz de las plántulas procedentes de semillas de tomate embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (AG). Evaluaron las concentraciones de giberelinas, y concluyeron que éstas inhiben en cierto grado el crecimiento radicular, y que la respuesta en el crecimiento se debe a bajas concentraciones giberelinas junto con un mayor tiempo de imbibición.

Aunque en nuestro experimento no haya resultado positivo, en determinadas investigaciones la irradiación con luz láser se ha demostrado positiva incrementando ($p \leq 0,05$) la longitud de la raíz y del hipocótilo (Prooeba-Biaczyk *et al.*, 2013; Podleśny *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2011). Prooeba-Biaczyk *et al.* (2013) ha observado distintos incrementos de longitud de la raíz, hipocótilo y cotiledones, en semillas de remolacha azucarera irradiadas con láser He-Ne. Los mejores resultados se han obtenido con los tratamientos con menor potencia.

Podleśny *et al.* (2012) obtuvieron un aumento significativo en la longitud de la raíz e hipocótilo de las semillas de haba y de altramuces sobre las que se habían aplicado diferentes dosis de irradiación láser. Los valores de aumento de la longitud de las raíces de las plántulas que crecieron a partir de semillas irradiadas (valores promedio de los resultados de las distintas dosis de irradiación) respecto de las no irradiadas fueron de un 27,4 y 24,3% para las semillas de altramuces y de habas, respectivamente. En cuanto al aumento de la longitud del hipocótilo de las plántulas procedentes de semillas irradiadas fue de: 10,6 y 11,4 mm para las habas y los altramuces, respectivamente. Así, la estimulación pre-siembra con láser tuvo influencia positiva en el crecimiento y desarrollo de plantas de semillero, que tenía ya hipocótilo y raíces en comparación con las plantas desarrolladas a partir de semillas no irradiadas.

Álvarez *et al.* (2011) obtuvieron incrementos significativos ($p \leq 0,05$) en la longitud de la raíz de las semillas de tomate irradiadas, con la presencia de un pico de estimulación que correspondió con el tratamiento con 20 s de exposición de las semillas a la radiación láser He-Ne. Las dosis de 5 y 10 s también mostraron una estimulación significativa ($p \leq 0,05$) de este indicador con relación al control; los tiempos de

exposición superiores a 20 s no provocaron cambios significativos en la longitud de la raíz.

Costilla-Hermosillo *et al.* (2010) también estudia la longitud alcanzada por la raíz de las semillas de *Stenocactus multcostatus* tratadas previamente mediante irradiación láser He-Ne; aunque no analizan estadísticamente los resultados parece no existir diferencias entre la longitud de la raíz de las semillas control respecto a la longitud de la raíz de las semillas tratadas, al igual que ocurre en el presente experimento.

No se observa que la irradiación de las semillas de alcaparra con láser mejore en los parámetros estudiados respecto del control. No obstante convendría seguir estudiando otros parámetros biológicos susceptibles de ser modificados por el tratamiento láser, tal y como el rendimiento promedio por planta (Álvarez *et al.*, 2011; Delibaltova, e Ivanova, 2006; Podleśny, 2007,) o la altura de las plantas (Cepero *et al.*, 2012) incluso cambios morfogénéticos en la siguiente generación consecuencia de la inducción de mutaciones (Ritambhara, y Girjesh, 2013) para poder determinar la influencia en el cultivo de la alcaparra de la irradiación con el láser He-Ne. En los parámetros estudiados no se observa una mejora respecto al control causada por la aplicación de este tratamiento.

4.3.- Utilización de frutos enteros para la propagación sexual

Con el fin de poder estimar la cantidad de semillas viables presentes en los frutos plantados enteros, se ha determinado la relación entre los valores de peso y número de semillas por fruto, obteniéndose una relación lineal, que se muestra en la figura 7.

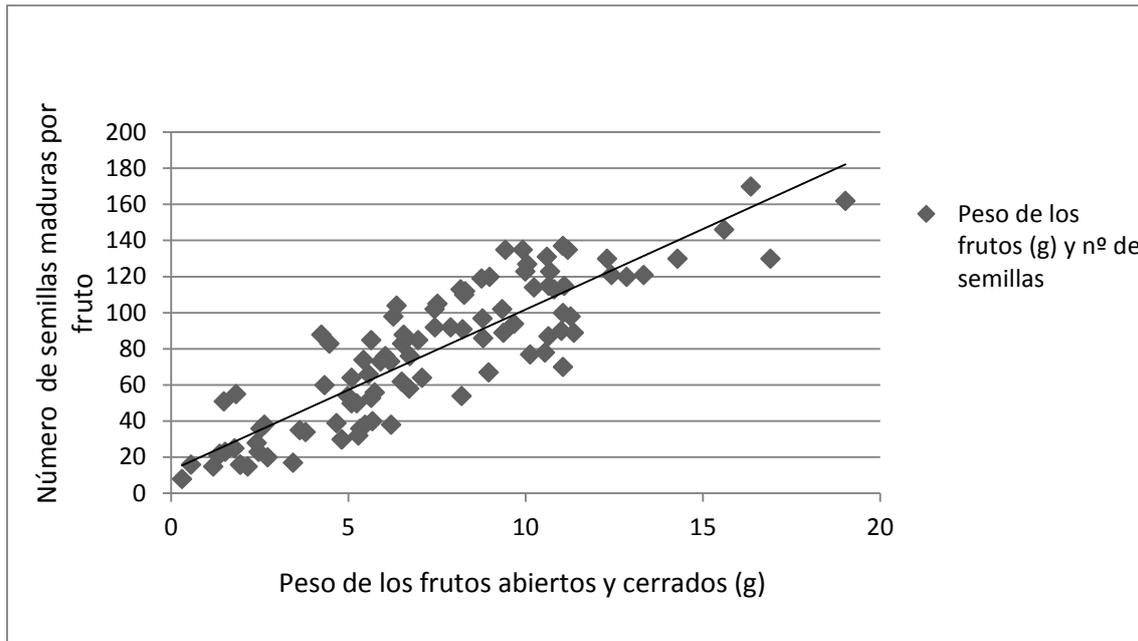


Figura 7. Regresión lineal entre el número de semillas maduras por fruto en función del peso del fruto de alcaparra.

Ecuación:

$$y = 8.36143x + 15.9146 \quad (r = 0,86; \quad p \leq 0.01)$$

Siendo:

x : peso del fruto.

y : número de semillas maduras por fruto.

La regresión lineal obtenida en este estudio es coincidente con la obtenida en anteriores publicaciones (Pascual, *et al.* 2006a). Una vez estimado el número de semillas existente en cada fruto, se realizó el seguimiento de la emergencia de plántulas en la maceta, calculamos el porcentaje de germinación acumulada (G); en este caso no como germinación de las semillas, sino como número de plántulas emergidas sobre la superficie del sustrato. Con los datos obtenidos se ajustó el modelo logístico. El ajuste de los datos obtenidos en este ensayo de germinación, ha resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0,05$) en todos los casos (200), con coeficientes de determinación (R^2) comprendidos entre 91,78 y 99,90.

De todos los datos registrados de porcentaje de plántulas emergidas, han existido 10 repeticiones dentro del grupo de 25 repeticiones de frutos cerrados enteros con tratamiento de AG, que no cumplen la hipótesis de normalidad ($G=0$), por lo que estas 10 repeticiones han sido eliminadas también de los restantes grupos para poder realizar un análisis estadístico de la varianza con datos balanceados.

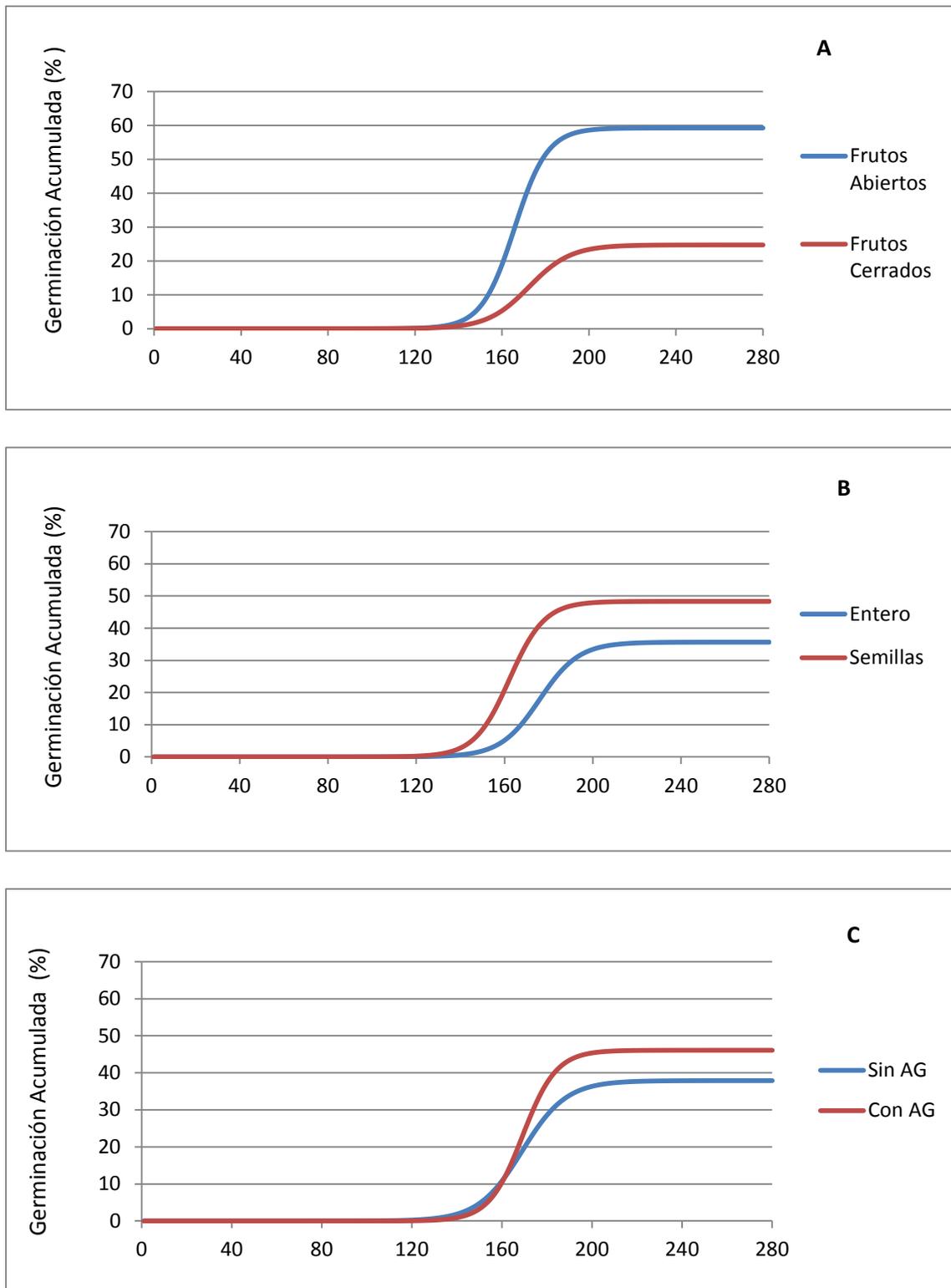


Figura 8. Modelo logístico ajustado a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios para los diferentes estados del fruto (A), las formas de siembra (B) y la aplicación de ácido giberélico (C).

Tabla 6. Influencia del estado del fruto (abierto o cerrado), la forma de siembra (entero o por semillas) y del tratamiento con ácido giberélico (AG) en el porcentaje de germinación acumulada (G , %), germinación final (A , %), tiempo hasta alcanzar el 50% de la germinación final (β/k , d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).

	G	A	t_{50}	$k/2$
FRUTO				
Abierto	59,10 a	59,26 a	165,73	0,07
Cerrado	23,63 b	24,73 b	172,46	0,05
SIEMBRA				
Entero	34,79 b	35,65 b	175,91 a	0,06
Semillas	47,95 a	48,33 a	162,27 b	0,06
AG				
Sin AG	37,52 b	37,89 b	169,00	0,05
Con AG	45,22 a	46,09 a	169,19	0,07

Análisis de la Varianza

Parámetros (grados de libertad).	% Suma de cuadrados			
Fruto (1)	49.62**	46.13**	2.26 ^{n.s.}	1.48 ^{n.s.}
Siembra (1)	6.83**	6.22**	9.31**	0.38 ^{n.s.}
AG (1)	2.34**	2.60**	0.00 ^{n.s.}	1.92 ^{n.s.}
INTERACCIONES				
Fruto x Siembra (1)	5.28**	5.01**	2.020	5.98**
Fruto x AG (1)	0.03 ^{n.s.}	0.10 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}	1.76 ^{n.s.}
Siembra x AG (1)	0.72 ^{n.s.}	0.52 ^{n.s.}	0.08 ^{n.s.}	0.30 ^{n.s.}
Fruto x Siembra x AG (1)	0.81 ^{n.s.}	0.92 ^{n.s.}	4.80*	0.49 ^{n.s.}
Residual (112)	34.58	38.68	81.29	87.76
Desviación estándar ⁽⁺⁾	15.32	16.35	20.85	0.06

Letras distintas en una misma columna indican diferencias ($p \leq 0,05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. **: nivel de significación $p \leq 0,01$; *: nivel de significación $p \leq 0,05$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

En la tabla 6 se presenta la influencia del estado del fruto (abierto o cerrado), de la forma de siembra (entero o por semillas) y de la aplicación o no de AG en la germinación acumulada (G , %), máximo porcentaje de germinación (A , %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final (t_{50} , d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}). Se observa que para los porcentajes de germinación obtenidos (G y A) fueron afectados ($p \leq 0.01$) por los tres factores objeto de estudio y por la interacción fruto x siembra. También se observa este resultado para el factor “Siembra” en la tercera variable estudiada (t_{50} , d).

A la vista de los resultados, el mejor porcentaje de germinación se ha obtenido para los frutos abiertos ($G = 59.10\%$), siendo el factor “fruto” responsable un 50% de la variabilidad de G . El mayor porcentaje de germinación en frutos abiertos puede deberse a que una vez que el fruto llega a ese estado las semillas contenidas en el fruto han llegado a su estado óptimo de madurez, presentado mejor aptitud para la germinación que las procedentes de frutos cerrados (Mascarós, 2010).

El factor “siembra”, aunque también tiene una importancia significativa ($p \leq 0.01$), obteniendo el mejor porcentaje de germinación en las sembradas por semillas (48%), su relevancia en la variabilidad de este parámetro únicamente es de un 6.83%.

Lo mismo ocurre con el factor “AG” que también tiene una importancia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$), siendo más alto el porcentaje de germinación en las macetas con órganos de propagación previamente tratados con AG ($G=45\%$) su influencia en la variable tan sólo es de un 2.34%.

La interacción entre el factor “fruto” y el factor “siembra” para esta variable resulta significativa ($p \leq 0.01$), (figura 9), alcanzando el mismo porcentaje de germinación acumulada en los frutos abiertos bien sean sembrados enteros ($G=57,46\%$) o por semillas ($G=60,50\%$), pero con diferencias entre los frutos cerrados sembrados por semillas ($G=36\%$) que enteros, siendo esta última combinación la que presenta el porcentaje de germinación acumulada más bajo (11%).

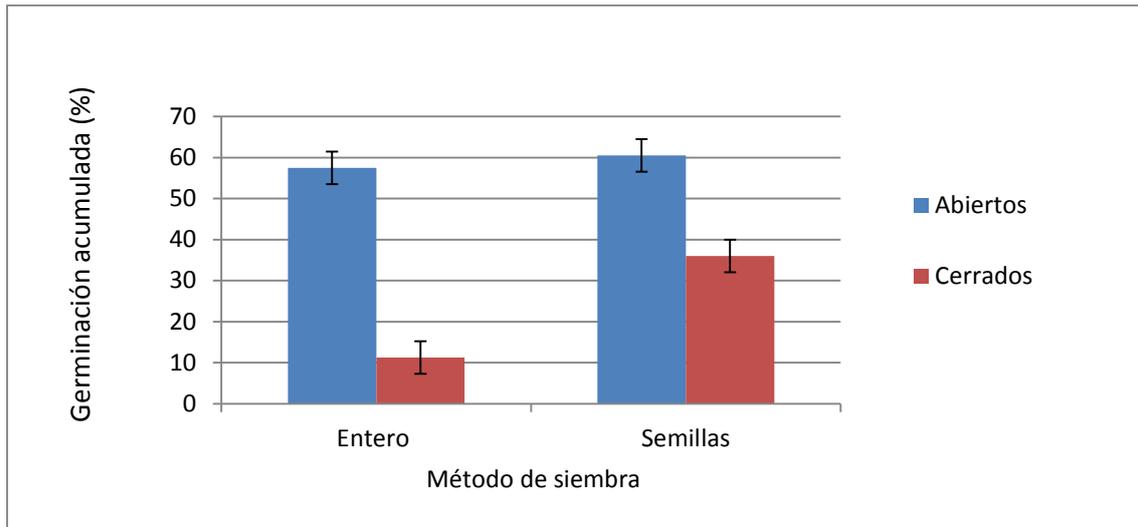


Figura 9. Interacción entre los factores “Método de siembra”, y “Estado del fruto” para el parámetro % de germinación acumulada (G). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

En la figura 9 se puede observar como el factor germinación acumulada (%) en el caso de frutos abiertos (maduros) es la misma independientemente de la forma de siembra, bien sea por fruto entero o por semillas. En el caso de tratarse de frutos cerrados, si existe una notable diferencia entre ambos métodos de siembra, alcanzando un porcentaje de germinación acumulada muy inferior los frutos enteros respecto a los frutos cerrados sembrados por semillas. Este resultado difiere de lo obtenido en anteriores investigaciones (Pascual *et al*, 2006a), dado que en este estudio se obtenían porcentajes de G similares para frutos independientemente de la etapa de maduración del fruto.

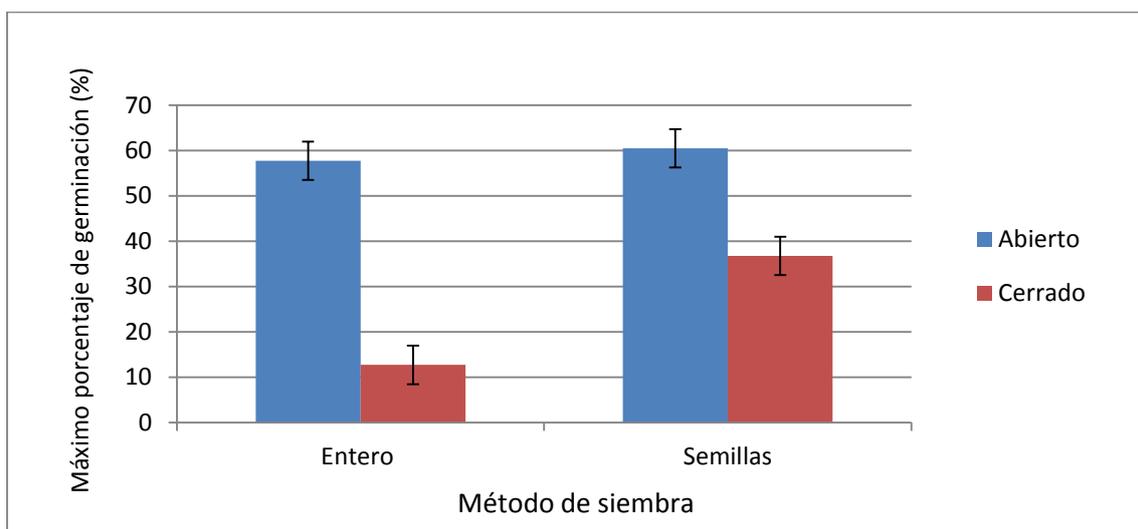


Figura 10. Interacción entre los factores “Método de siembra” y “Estado del fruto” para el parámetro máximo porcentaje de germinación (A). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

Como se señala anteriormente, para la variable estudiada germinación acumulada (G ; %), todos los factores estudiados (fruto, siembra y AG) tienen una influencia similar que para la variable máximo porcentaje de germinación (A) incluso la interacción entre el factor fruto y el factor siembra para este parámetro también resulta estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$), figura 9.

Dentro del parámetro número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final (t_{50} , d), el único factor que presenta diferencias significativas ($p \leq 0.01$) es “siembra”, siendo 14 días más rápido cuando las siembra se realiza por semillas.

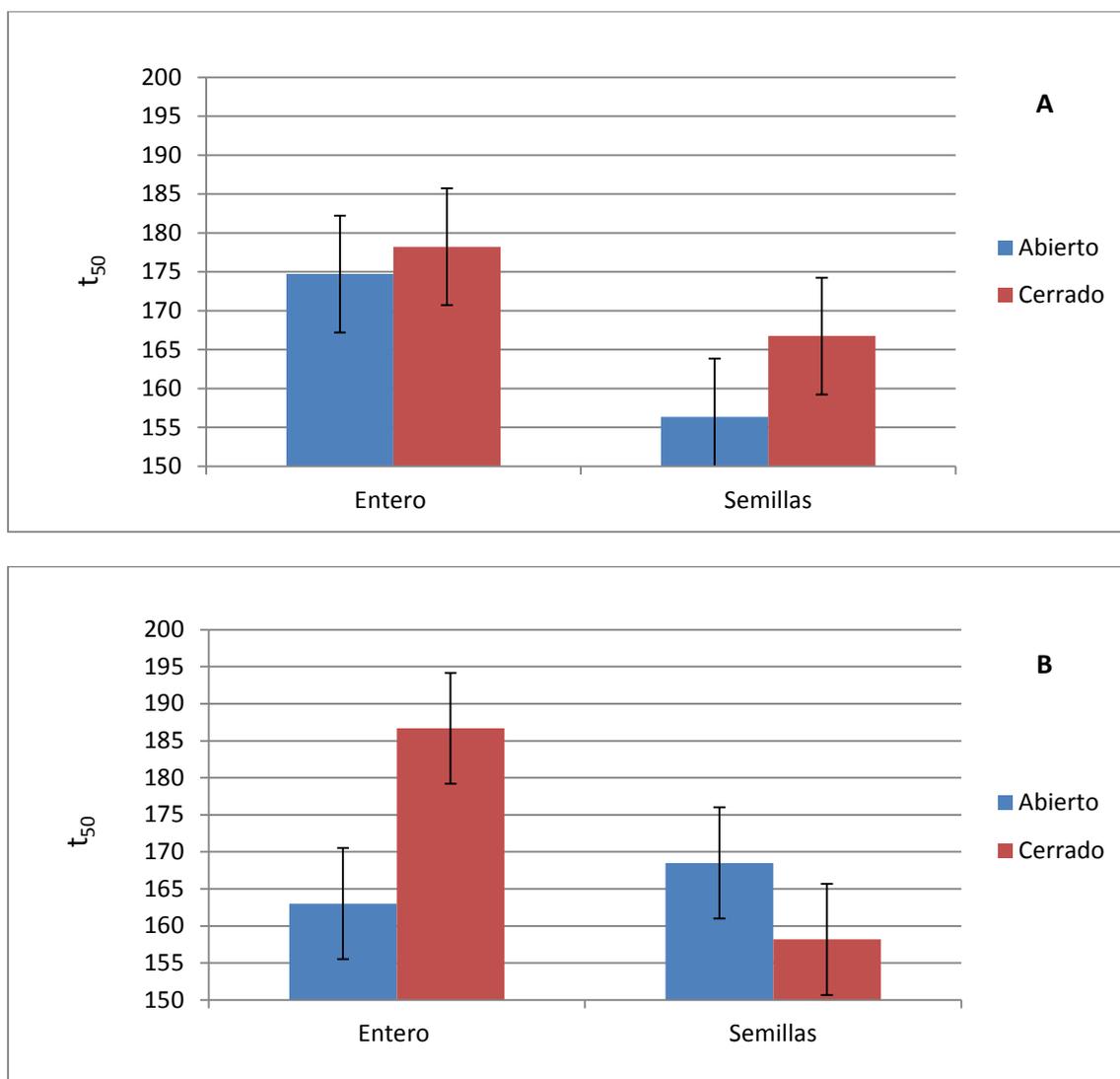


Figura 11. Interacción triple entre los factores “Método de siembra”, “Estado del fruto” y “AG” (sin AG: A; con AG: B) para el parámetro número de días necesarios para alcanzar el 50% del porcentaje de germinación final (t_{50} , d). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

En la investigación realizada por Pascual *et al.*, (2006a), dentro de esta variable se encontraron diferencias significativas solo en frutos enteros, con valores más bajos para los frutos cerrados, señalando que la presencia del pericarpio no inhibe la

germinación, sino que reduce el tiempo para alcanzar el 50% de porcentaje final de emergencia, probablemente mediante la prevención del secado de las semillas de los frutos enteros cerrados.

Dentro del factor t_{50} , se produce una interacción entre los tres factores de estudio (fruto, siembra y AG). Cuando las semillas son sembradas directamente, tanto con AG como sin AG no se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final en frutos abiertos y cerrados. En cambio, con frutos enteros, se ha observado que la aplicación de AG reduce el número de días significativamente ($p \leq 0.05$) cuando el fruto está abierto, respecto a los frutos cerrados, debido probablemente al hecho de que sus semillas no han llegado a tener contacto con el AG.

En cuanto a los resultados obtenidos dentro de la velocidad media relativa de germinación ($k/2, d^{-1}$), sólo se han encontrado diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en la interacción “fruto x siembra” (figura 12). La mayor velocidad se alcanza en los frutos abiertos sembrados por semillas, probablemente porque las semillas una vez germinadas, para emerger por encima del sustrato no han de vencer la oposición que ejerce la cubierta del fruto y estas semillas procedentes de frutos que han abierto tienen posiblemente una mayor acumulación de reservas (Pascual *et al*, 2006a y Mascarós, 2010).

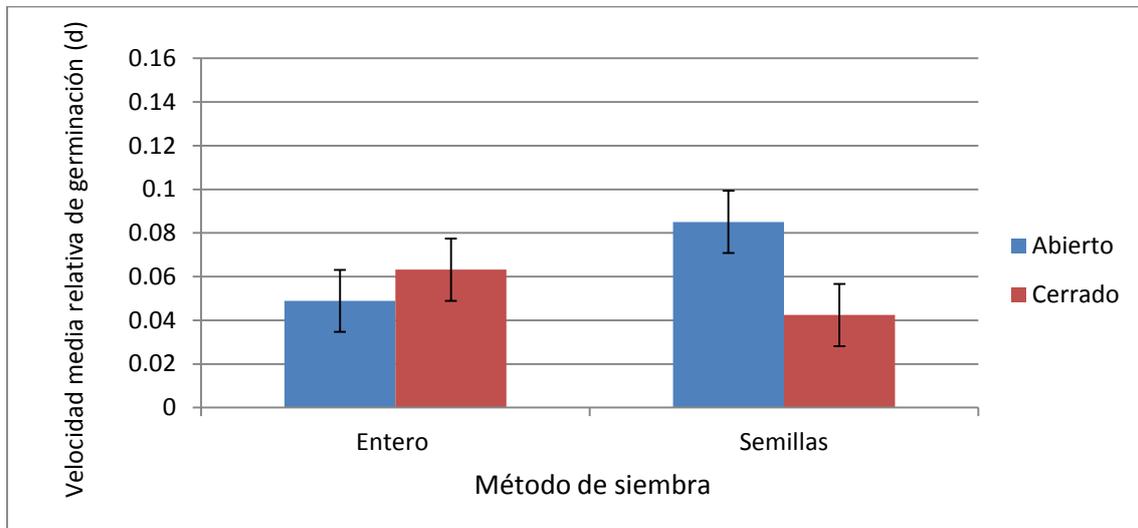


Figura 12. Interacción entre los factores “Método de siembra”, y “Estado del fruto” para el parámetro velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2, d^{-1}$). Las barras verticales indican el valor del test LSD ($p \leq 0.05$).

5.- CONCLUSIONES

- Se confirma que la aplicación de ácido giberélico mejora la germinación (G , A , t_{50} y $k/2$) en todos los experimentos realizados.
- Sin la aplicación ácido giberélico, cuanto más tiempo transcurre entre la recolección y el inicio del ensayo de germinación, se obtiene un mayor porcentaje de germinación.
- La aplicación de irradiación láser no resulta positiva, obteniéndose en todos los tratamientos aplicados menor porcentaje de germinación que en el tratamiento control.
- Las semillas humedecidas con ácido giberélico presentan menor porcentaje de semillas elongadas que las humedecidas con agua. La duración del tratamiento de irradiación láser recibido no ha afectado a la elongación.
- La dehiscencia del fruto no afecta a la relación entre el peso de los fruto y el nº de semillas maduras contenidas en los mismos.
- El porcentaje de germinación de los frutos cerrados plantados enteros es muy bajo, por lo que se desaconseja su uso.
- Con la dehiscencia del fruto se incrementa el porcentaje de germinación de las semillas contenidas en su interior, con respecto al fruto cerrado.
- El porcentaje de germinación de las semillas extraídas de los frutos es mayor si los frutos están abiertos.
- Con el fruto abierto entero se obtienen porcentajes de germinación similares a los obtenidos con las semillas procedentes de fruto abierto.

6.- REFERENCIAS

Alkire, B. (2003). Capers. Purdue University, Center for New Crops and Planta Products; Lafayette, Indiana <<<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/cropfactsheets/caper.html>>> . Accedido el 15 de Julio de 2013.

Álvarez, A., Ramírez, R., Chávez, L., Camejo, Y., Licea, L., Porras, E., García, B. (2011). Efecto del tratamiento de semillas con láser de baja potencia, sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *ITEA vol.* 107(4): 290-299.

Ávalos, A., Pérez-Urria, E. (2009). *Metabolismo secundario de plantas*. Reduca (Biología). Serie fisiología vegetal 2(3): 119-145.

Azcón-Bieto, J., M. Talón. (2000). *Fisiología y bioquímica vegetal*. McGraw Hill/Interamericana, Barcelona.

Balaguera-López, H. E., Deaquiz, Y. A., Álvarez-Herrera, J. G. (2009). Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA3). *Agronomía Colombiana*, 27(1): 57-64.

Baskin, C. C., Baskin, J.M. (1989). *Seeds. Ecology, Biology, and Evolution of Dormancy and Germination*. Ed.: Academic Press. United Kingdom.

Caboni, P., Sarais, G., Aissani, N., Tocco, G., Sasanelli, N., Liori, B., Angioni, A. (2012). Nematicidal activity of 2-thiophenecarboxaldehyde and methylisothiocyanate from caper (*Capparis spinosa*) against *Meloidogyne incognita*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(30): 7345-7351.

Calabrese, E. J., Baldwin, L. A. (2003). Hormesis: the dose-response revolution. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 43(1): 175-197.

Casate, R., Souza, A. de, Jiménez, H., García, B. (1995). Efecto del contenido de agua de las semillas sobre la respuesta al tratamiento con radiación láser. En: Resúmenes. V Taller “*Las radiaciones y los isótopos en la agricultura*” y II Taller “*Las técnicas físicas en la agricultura*”. INIFAT-GIATNA. La Habana, Cuba. p. 8.

Cepero, L., Mesa, A. R., García, M., Suárez, J. (2012). Efecto de la radiación laser en semillas de *Albizia Lebbeck*. I. Fase de vivero. *Pastos y Forrajes*, 25(3): 181-187.

Chen, D., Lu, Q., Zhao, Y. (2006). Laser-induced site-selective silver seeding on polyimide for electroless copper plating. *Applied Surface Science*, 253:1573-1580.

Chen, Y.P., Liu Y.J., Wang X.L., Ren Z.Y., Yue M. (2005a). Effect of microwave and He-Ne laser on enzyme activity and biophoton emission of *Isatis indigotica* Fort. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47(7): 849-855.

Chen, Y.P., Yue M., Wang X.L. (2005b). Influence of He-Ne laser irradiation on seeds thermodynamic parameters and seedlings growth of *Isatis Indigotica*. *Plant Science*, 168(3): 601-606.

Costilla-Hermosillo, M. G., Ortiz-Morales, M., Loza-Cornejo, S. (2010). Influencia de irradiación laser He-Ne sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de *Stenocactus multicosatus* (Cactaceae). VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. *Ecología, Manejo y Conservación*: 454-466.

Delibaltova, V., Ivanova, R. (2006). Impact of the pre sowing irradiation of seeds by He-Ne laser on the dynamics of development of cotton varieties. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 7: 909-917.

Derek, J., Bradford, K., Hilhorst, H. W. M., Nonogaki H. (2013). *Seeds. Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Ed.: Springer, London. United Kingdom.

Duman, E., Özcan, M. M. (2013). Mineral contents of seed and seed oils of Capparis species growing wild in Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, DOI 10.1007/s10661-013-3369-y

Dursun, E., Dursun, I. (2005). Some physical properties of caper seed. *Biosystems Engineering*, 92(2): 237-245.

Fuentes Bullejos, C. (2013). Influencia del inhibidor tetcyclasis y del ácido giberélico en la germinación de *Capsella bursa-pastoris* (Zurrón del pastor). ETSIA-UPV.

Gan, L., Zhang, C., Yin, Y., Lin, Z., Huang, Y., Xiang, J., Li, M. (2013). Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, *Capparis spinosa*, to drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(2): 156-161.

García Marí, F. (2002). *Las Plagas agrícolas*. MV Phytoma-España, Valencia.

García Molina, R. (2006). Mejora de la propagación sexual y asexual de la alcaparra (*Capparis spinosa* L.). Trabajo Final de Carrera. ETSIA-UPV.

Han, R., Wang, X.L., Yue, M., (2002). Influence of He-Ne laser irradiation on the excision repair of cyclobutyl pyrimidine dimers in the wheat DNA. *Chinese Science Bulletin*, 47(10): 818-821.

Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F. T., Geneve, R.L. (2002). *Hartmann and Kester's Plant propagation*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.

- Hernandez, A. C., Dominguez, P. A., Cruz, O. A., Ivanov, R., Carballo, C. A., Zepeda, B. R. (2010). Laser in agriculture. *International Agrophysis*, 24: 407-422.
- Inada, S., Shimmen, T. (2000). Regulation of elongation growth by gibberellin in root segments of *Lemna minor*. *Plant Cell Physiology*, 41(8): 932-939.
- Inocencio, C. (2001). Caracterización de *Capparis* subgenero *Capparis*. Ph.D. tesis doctoral. Universidad de Murcia. Murcia.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2007). International Rules for Seed Testing. Glattbrugg/Zúrich, Switzerland.
- Jamil, Y., Perveen, R., Ashraf, M., Ali, Q., Iqbal, M., Ahmad, M. R. (2013). He-Ne laser-induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy, enzyme activities and physiological attributes of wheat during germination and early growth. *Laser Physics Letters*, 10(4): 045606.
- Koper, R., Kornas-Czuczuar, B., Prociak, T., Podleśny, J. (1999). Effect of pre-sowing laser biostimulation of white lupine seeds on mechanical properties of crop yield. *Inzynieria Rolnicza*, 2:21-28.
- Kulisic-Bilusic, T., Schmöller, I., Schnäbele, K., Siracusa, L., Ruberto, G. (2012). The anticarcinogenic potential of essential oil and aqueous infusion from caper (*Capparis spinosa* L.). *Food Chemistry*, 132(1): 261-267.
- Laboratorio de Biología Molecular Vegetal Facultad de Ciencias de Montevideo - Uruguay (2008). Hormonas vegetales: reguladores del crecimiento y reguladores del crecimiento y desarrollo. << http://bmv.fcien.edu.uy/clases/hormonas_2008.pdf>>. Accedido el 20 de junio de 2013.
- Lewak S (1998). Germination of seeds. In: Kopcewicz J, Lewak S (eds) Principles of plant physiology. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 458-470.
- Lloyd, C.W., P.J. Shaw, R.M. Warn y M. Yuan. (1996). Gibberellic-acid induced reorientation of cortical microtubules in living plant cells. *Journal of Microscopy*, 181: 140-144.
- Luna, F., Pérez, M. (1985). *La tapenera o alcaparra. Cultivo y aprovechamiento*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Mallor, C. (2010). Las alcaparras autóctonas de Ballobar (Huesca): Producción y evaluación de su calidad. CITA (Centro de Investigación y Tecnología Agraria de Aragón). Zaragoza.

- Maroto Borrego, J. V. 2002. *Horticultura herbácea especial*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Mascarós, S. (2010). Experimentos para la mejora de la propagación sexual de la alcaparra (*Capparis spinosa*, L.). ETSIA-UPV.
- Massa, J., Luna, F. (1985). *Cuidados de cultivo a la tapenera*. Servicio de Extensión Agraria de Murcia. Hoja divulgadora núm. 3/85. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Matthäus, B., Özcan, M. (2002). Glucosinolate composition of young shoots and flower buds of Capers (*Capparis* species) growing wild in Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 7323-7325.
- Melgarejo, P., Salazar, D. 2000. *Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas* (Volumen I: El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el nopal). Mundi-Prensa, Madrid.
- MAGRAMA, 2013. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas. <<http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac/>>. Accedido el 29 de junio de 2013.
- Muszyński S, Gładyszewska B. (2008). Representation of He–Ne laser irradiation effect on radish seeds with selected germination indices. *International Agrophysics*, 22:151–157.
- Nizar, T., E.G. Taissir, N. Nizar, K. Abdelhamid, T. Saida. (2011). Protein, lipid, aliphatic and triterpenic alcohol content of caper seeds “*Capparis spinosa*”. *Journal of American Oil Chemists Society*, 88:265-270.
- Ogawa, M., A. Hanada, Y. Yamauchi, A. Kuwahara, Y. Kamiya y S. Yamaguchi. (2003). Gibberellin biosynthesis and response during Arabidopsis seed germination. *Plant Cell* 15: 1591-1604.
- Ortiz, C.M. 2001. Germinación de semillas y elongación radicular de echinacea (*Echinacea angustifolia* DC.) tratadas con compuestos químicos y reguladores del crecimiento. Tesis. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, (INIA), Chile.
- Özcan, M., Akgül, A. (1998). Influence of species, harvest date and size on composition of capers (*Capparis* spp.) flower buds. *Food/Nahrung*, 42(02), 102-105.
- Pascual, B; San Bautista A., Pascual-Seva, N. (2009a). *Propagación Vegetal*. UPV-583. Valencia.
- Pascual, B., San Bautista, A., Pascual Seva, N., Garcia Molina, R., López-Galarza, S., Maroto, J. V. (2009b). Effects of soaking period and gibberellic acid addition on caper seed germination. *Seed Science and Technology*, 37(1): 33-41.

- Pascual, B., San Bautista, A., López-Galarza, S., Alagarda, J., Maroto, J. V. (2006a). Intact fruit of caper (*Capparis spinosa*) is an improved seed propagation method. In *IV International Symposium on Seed, Transplant and Stand Establishment of Horticultural Crops; Translating Seed and Seedling*, 782: 107-114.
- Pascual, B., San Bautista, A., López-Galarza, S., Alagarda, J., Maroto, J. V. (2006b). Germination behaviour after storage of caper seeds. *Seed Science and Technology*, 34(1), 151-159.
- Pascual, B., San Bautista, A., Imbernón, A., López-Galarza, S., Alagarda, J. y Maroto, J.V. (2004). Seed treatments for improved germination of caper (*Capparis spinosa* L.). *Seed Science and Technology*, 32: 637–642.
- Pascual, B., San Bautista, A., Ferreros, N., López-Galarza, S. and Maroto, J.V. (2003). Analysis of germination of caper seeds as influenced by the position of fruit on the mother plant, fruit maturation stage and fruit weight. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78: 73–78.
- Pascual-Seva, N., San Bautista, A., López-Galarza, S., Maroto, J. V., Pascual, B. (2009). Effect of Accelerated Ageing on Germination in Caper (*Capparis spinosa* L.) Seeds. In *V International Symposium on Seed, Transplant and Stand Establishment of Horticultural Crops*, 898: 69-74.
- Perveen, R., Ali, Q., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., Jamil, Y., Raza Ahmad, M. (2010). Effects of different doses of low power continuous wave He–Ne laser radiation on some seed thermodynamic and germination parameters, and potential enzymes involved in seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Photochemistry and photobiology*, 86(5): 1050-1055.
- Podleśny, J. (2007). The effect of seed irradiation with laser and plant desiccation on yielding and quality features of white lupine seeds. *Acta Agrophysica*, 9(3): 733-745.
- Podleśny, J., Stochmal, A., Podleśna, A., Misiak, L. E. (2012). Effect of laser light treatment on some biochemical and physiological processes in seeds and seedlings of white lupine and faba bean. *Plant Growth Regulation*, 67(3): 227-233.
- Prooeba-Białczyk, U., Szajsner, H., Grzyoe, E., Demczuk, A., Sacala, E., Bąk, K. (2013). Effect of seed stimulation on germination and sugar beet yield. *International Agrophysics*, 27(2): 195-201.
- Raven, P. H., Eichhorn, S. E., Evert, R. F. (2013). *Bilogía de las plantas*. Vol. 2. Ed: Reverté.
- Rahmani, R., Mahmoodi, M., Karimi, M., Hoseini, F., Heydari, R., Salehi, M., Yousefi, A. (2013). The Effect of *Capparis spinosa* Fruit Hydroalcoholic Extract on Blood Sugar and Lipids in Diabetic and normal Rats. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 15(11): 34-38.

- Rinaldelli, E. (2000). Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Capparis spinosa* L. as related to exposure time, temperature, and gibberellic acid. *Advances in horticultural science*, 14(4): 182-188.
- Ritambhara, S., Girjesh, K. (2013). Biostimulating effect of laser beam on the cytomorphological aspects of *Lathyrus sativus* L. *Annals of Plant Sciences*, 2(5): 141-148.
- Rivera, D., F. Alcaraz, C. Inocencio, C. Obdn, E. Carreño. (1999). Estudio taxonómico de cultivo Secta *Capparis*. *Capparis en el Mediterráneo occidental*. Páginas 451-455 en S. Andrews, A. C. Leslie, y C. Alexander, eds., *Taxonomía de cultivo plantas*. Real Jardín Botánico de Kew, England. United Kingdom.
- Rivera, D., Inocencio, C., Obón, C., Alcaraz, F. (2003). Review of food and medicinal uses of *Capparis* L. subgenus *Capparis* (*Capparidaceae*). *Economic Botany*, 57(4): 515-534.
- Rodrigo, M., Lázaro, M.J., Alvarruiz, A., Giner, V. (1992). Composition of capers (*Capparis spinosa*): influence of cultivar, size and harvest date. *Journal of Food Science*, 57: 1152-1154.
- Sozzi, G. O., Chiesa, A. (1995). Improvement of caper (*Capparis spinosa* L.) seed germination by breaking seed coat-induced dormancy. *Scientia Horticulturae*, 62(4): 255-261.
- Tlili, N., Elfalleh, W., Saadaoui, E., Khaldi, A., Triki, S., & Nasri, N. (2011). The caper (*Capparis* L.): Ethnopharmacology, phytochemical and pharmacological properties. *Fitoterapia*, 82(2): 93-101.
- Torres, M., Frutos, G. (1989). Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. *Environmental and Experimental Botany*, 29: 400-415.
- Trombetta, D., Occhiuto, F., Perri, D., Puglia, C., Santagati, N. A., Pasquale, A. D. y Bonina, F. (2005). Antiallergic and antihistaminic effect of two extracts of *Capparis spinosa* L. flowering buds. *Phytotherapy Research*, 19(1): 29-33.
- Yuan, M., P.J. Shaw, R.M. Warn, C.W. Lloyd. 1994. Dynamic reorientation of cortical microtubules, from transverse to longitudinal, in living plant cells. *Proceedings of the National Academy Sciences*, 91: 6050-6053.
- Zhang, H., Zhang, L., Tidemand-Lichtenberg, P., Buchhave, P., Xu, X., Li, Y. (2011). Effect of laser and LED on enzymatic production of ceramide. *Photochemistry and photobiology*, 87(1): 131-136.
- Zhou, H.F., C. Xie, R. Jian, J. Kang, Y. Li, C.L. Zhuang, F. Yang, L.L. Zhang, L. Lai, T. Wu, X. Wu. 2011. Biflavonoids from caper (*Capparis spinosa* L.) fruits and their effects in inhibiting NF-kappa B activation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59:360-365.