

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



## *Estudio para la mejora de la propagación de la alcaparra mediante estaquillas*

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A: Josep Ibàñez Abel

TUTOR/A: D. Mariano Juan Ferrer

DIRECTOR/A: D. Bernardo Pascual España

**Curso Académico: 2014/2015**

VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2015



## Título del trabajo de final de grado

Estudio para la mejora de la propagación de la alcaparra mediante estaquillas.

### Resumen

*Capparis spinosa* (L.) es una planta subarborescente popularmente conocida por su uso en ámbitos como la medicina o la cosmética, pero sobre todo en la alimentación. De este modo, se pueden aprovechar diferentes partes de la planta en la cocina, como los botones florales (alcaparras), el fruto (alcaparrón) y los tallos, todas ellas encurtidas en salmuera.

Para poder ser utilizada comercialmente, se necesita que la planta se cultive a gran escala y su propagación puede darse de forma sexual o asexual. Los dos métodos de propagación resultan problemáticos y por ello están siendo objeto de investigación.

En este trabajo, se estudió la propagación asexual por estaquillas. El objetivo principal fue estudiar la influencia de diferentes factores para obtener rendimientos de propagación altos.

La elección de los nudos que conformaron la estaquilla fue fundamental para obtener los mejores resultados de prendimiento. En nuestros ensayos se comprobó que la yema que brota en los nudos es única y una vez ha dado lugar a una flor o brote mixto en la planta madre, el nudo se quedó sin ninguna yema latente que pudiera dar lugar a una estaquilla viable. Las primeras yemas del brote (que en la planta madre se quedaron latentes) y la yema terminal (cuando se encontró en crecimiento activo) dieron lugar a altos resultados de prendimiento indistintamente de su estado de lignificación (época).

El grosor de la estaquilla también influyó sobre los resultados, los mejores prendimientos se encontraron con estaquillas duras de más de 6 mm de diámetro y, más de 3 mm de diámetro cuando estas fueron suaves.

La aplicación de auxinas de síntesis (ácido Indolbutírico) dio lugar a resultados erráticos, debiéndose profundizar más en su estudio.

El tratamiento de las estaquillas a bajas temperaturas antes de su plantación mejoraron los resultados de prendimiento en todos los casos, adelantando la brotación y la cantidad de brotes.

**Palabras clave:** *Capparis spinosa* (L.), propagación, estaquilla, prendimiento, brotación, ácido indolbutírico.

## Resum

*Capparis spinosa* (L) és una planta subarborescència popularment coneguda pel seu ús en àmbits relacionats amb la medicina o la cosmètica, però sobretot en l'alimentació. D'aquesta manera, es poden aprofitar diferents parts de la planta per a la cuina, com els botons florals (tàperes), el fruit (alcaparró) i les tiges, totes adobades en salmorra.

Per a poder ser utilitzada comercialment es necessita que la planta es cultive a gran escala, bé de forma sexual o bé de forma asexual. Els dos mètodes de propagació presenten problemes i per això son objecte d'investigació.

En aquest treball, es va estudiar la propagació asexual per estaquetes. L'objectiu principal va ser estudiar l' influència de diferents factors per obtenir rendiments de propagació alts.

L'elecció dels nusos que van formar l'estaqueta va ser fonamental per obtenir els millors resultats de prendiment. En els nostres assajos es va comprovar que la llema que brota en els nusos és única i una vegada ha donat lloc a una flor o brot mixte a la planta mare, el nus es va quedar sense cap llema latent que pogués donar lloc a una estaqueta viable. Les primeres llemes del brot a la planta mare, (que es quedaren latents) i la llema terminal (quan es trobava en creixement actiu) donaren lloc a alts resultats de prendiment indistintament del seu estat de lignificació (època).

El grossor de l'estaqueta també va influir sobre els resultats, els millors prendiments es van trobar amb estagues dures de més de 6 mm de diàmetre i, més de 3 mm de diàmetre quan aquestes van ser suaus.

L'aplicació d'auxines com l'àcid indolbutíric va donar lloc a resultats erràtics, havent d'aprofundir més en el seu estudi.

Les estagues dures sotmeses a baixes temperatures avanç de la seua plantació van millorar els resultats de prendiment en tots els casos, avançant l'època de brotada i la quantitat de brots.

**Paraules clau:** *Capparis spinosa* (L.), propagació, estaqueta, prendiment, brotació, àcid indolbutíric

## Abstract

*Capparis spinosa* (L) is a shrub-like plant commonly known for its use in the areas of medicine and cosmetics, but especially in nutrition. In this aspect, many different parts of the plant can be used in the kitchen, such as the flower buds (“cappers”), the fruit (“alcaparrón”) and the stems, all of them pickled in brine.

In order to obtain all the parts, the plant must be cultivated on a large scale and its reproduction can be sexual or asexual. None of these two methods of propagation are effective and are therefore under investigation.

In this paper, the asexual propagation by cuttings has been studied. The main objective was to study the influence of different factors to obtain high yields of spread.

The choice of the knots that formed the cuttings was fundamental to obtain the best sprouting results. Our tests showed that the bud that springs up in the knots is unique, and that once it has given rise to a flower or mixed sprout in the mother plant, the knot remains without any latent buds that could produce a viable cutting. The first buds in the mother plant remained latent and the terminal (apical) bud, when in active growth, produced high sprouting results, regardless of their state of lignification (season).

The thickness of the cuttings also influenced the results, since the best ones were found to be with hard cuttings of more than 6 mm, and more than 3 mm when these were soft.

The application of synthesis auxins such as indole-butyric acid (IBA) ended up giving erratic results. Further study in this area is recommended.

The hard cuttings subjected to low temperatures before their planting improved the results of sprouting in all cases, bringing forward both the time and the amount of bud breaks.

**Key words:** *Capparis spinosa* L., propagation, cuttings, rooting, sprouting, indole-butyric acid.

**Alumno:** Josep Ibáñez Abel

**Tutor:** D. Mariano Juan Ferrer

**Director:** D. Bernardo Pascual España

## **Agradecimientos**

El presente trabajo de final de grado es el resultado de varios meses de esfuerzo, trabajo y dedicación de un grupo de personas. Sus correcciones, indicaciones, opiniones, etc han hecho posible que haya aprendido de su experiencia y de sus conocimientos. De este modo, quiero agradecerles que hayan formado parte de la etapa final de mi grado.

En primer lugar me gustaría agradecer a D. Mariano Juan Ferrer. Su constancia y la dedicación de gran parte de su tiempo han sido un factor clave en este trabajo. Sus conocimientos y su forma de trabajar han hecho que aprenda mucho, no solo sobre la temática del trabajo sino también, de la forma de trabajar y afrontar los nuevos retos que proporciona la investigación científica. La paciencia que ha tenido conmigo es digna de agradecer también ya que, debido a mi situación laboral, hemos tenido que trabajar en horarios un poco difíciles y D. Mariano ha hecho todo lo posible para facilitar las cosas. Finalmente me gustaría destacar su relación a nivel personal, que ha hecho que el desarrollo del trabajo fuera mucho más sencillo. Gracias por todo.

En segundo lugar, también me gustaría agradecer a D. Bernardo Pascual España. Sus amplios conocimientos, especialmente en el campo de la alcaparra, han hecho que el trabajo fuera mucho más completo. Sus opiniones y correcciones me han servido mucho para comprender mejor muchos aspectos. También me gustaría agradecer su trato a nivel personal, que ha condicionado la forma de trabajar, creando un ambiente de trabajo óptimo. Gracias por todo.

Finalmente me gustaría agradecer el apoyo de toda mi familia. Todos ellos han hecho posible que haya podido realizar este trabajo para finalizar mis estudios de grado. Mis padres, mis abuelas, mis tíos y mis primos, todos ellos han sido vitales a lo largo de toda mi vida y en mis estudios, dándome estabilidad, confianza y amor. No me quiero olvidar de agradecer a mis amigos y compañeros, que me han ayudado mucho. Gracias a todos.

En especial me gustaría agradecer y dedicar este trabajo a mi hermana, que es uno de los pilares fundamentales de mi vida y una de las personas que más quiero en el mundo.

Josep Ibáñez Abel.

## Índice

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1-10</b>
1.1. La alcaparra .....	1-5
1.1.1. Aspectos generales.....	1
1.1.2. Taxonomía y descripción botánica .....	1-3
1.1.3. Exigencias climáticas .....	3
1.1.4. Aprovechamiento e industrialización .....	4-5
1.1.5. Importancia económica .....	5
1.2. Propagación .....	6-9
1.2.1. Propagación sexual .....	6-7
1.2.2. Propagación asexual .....	7-9
1.3. Uso de fitorreguladores en la reproducción por estaquillas .....	9-10
<b>2. Objetivos</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Material y métodos</b> .....	<b>12-20</b>
3.1. Efecto de la posición de la estaquilla dentro de la rama sobre la brotación ....	14-16
3.2. Influencia del grosor de las estaquillas duras sobre la brotación y el prendimiento .....	16
3.3. Influencia del grado de lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento.	16-18
3.4. Efecto de la aplicación de ácido indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento y posterior prendimiento de las estaquillas.....	19
3.5. Efecto de las bajas temperaturas previas a la plantación de las estaquillas duras .....	19-20
<b>4. Resultados y discusión</b> .....	<b>21-35</b>
4.1. Efecto de la posición de la estaquilla dentro de la rama sobre el brotación ....	21-26
4.2. Influencia del grosor de las estaquillas duras sobre la brotación y el prendimiento .....	26-27
4.3. Influencia del grado de lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento.	28-29
4.4. Efecto de la aplicación de ácido indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento y posterior prendimiento de las estaquillas.....	30-33
4.5. Efecto de las bajas temperaturas previas a la plantación de las estaquillas duras .....	33-35
<b>5. Conclusiones</b> .....	<b>36</b>
<b>6. Bibliografía</b> .....	<b>37-40</b>

## Índice de fotografías, tablas y figuras

### Fotografías

<b>Fotografía 1.</b> <i>Capparis spinosa</i> (L.) con tallos rastreros y flores.....	2
<b>Fotografía 2.</b> Flor de <i>Capparis spinosa</i> (L.) con sus pétalos blancos y filamentos violáceos.....	2
<b>Fotografía 3.</b> Fruto de <i>Capparis spinosa</i> (L.).....	3
<b>Fotografía 4.</b> Alcaparra y alcaparrón encurtidos.....	5
<b>Fotografía 5.</b> Semillas de <i>Capparis spinosa</i> (L.).....	6
<b>Fotografía 6.</b> Vista aérea de los lugares de obtención del material vegetal.....	12
<b>Fotografía 7.</b> Vista de la parcela de la UPV.....	13
<b>Fotografía 8.</b> Vista del diseño del experimento.....	15
<b>Fotografía 9.</b> Detalle del cilindro de tela metálica empleado para la estimación del grado de enraizamiento.....	15
<b>Fotografía 10.</b> Aspecto de la plantación de estaquillas de madera suave.....	17
<b>Fotografía 11.</b> Aspecto de la plantación de estaquillas de madera semidura.....	18
<b>Fotografía 12.</b> Aspecto de las estaquillas de madera dura y la plantación posterior.....	18
<b>Fotografía 13.</b> Parte terminal de un brote.....	21
<b>Fotografía 14.</b> Plántula de alcaparra con el primer nudo por debajo de la superficie del sustrato y el primero por encima de la superficie del suelo brotados.....	26

### Tablas

<b>Tabla 1.</b> Información nutricional de 100 g de alcaparras.....	4
<b>Tabla 2.</b> Influencia de la lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento.....	28
<b>Tabla 3.</b> Efecto de la utilización de AIB en el prendimiento de las estaquillas.....	30

## Figuras

<b>Figura 1.</b> Evolución de la brotación de las estaquillas duras (%) en función de su posición dentro de la rama.....	23
<b>Figura 2.</b> Evolución de la brotación y el enraizamiento de estaquillas semiduras (%) en función de su posición dentro de la rama.....	24
<b>Figura 3.</b> Evolución de los brotes de las estaquillas duras (%) en función de su posición dentro de la estaquilla.....	25
<b>Figura 4.</b> Evolución del prendimiento de las estaquillas duras (%) en función de su diámetro.....	27
<b>Figura 5.</b> Longitud total (cm) de los brotes en función del diámetro (mm) de las estaquillas duras en el momento de la plantación.....	27
<b>Figura 6.</b> Prendimiento de las estaquillas suaves en función de su diámetro (A) y longitud (B).....	28
<b>Figura 7.</b> Prendimiento de las estaquillas basales semiduras en función de su diámetro.....	29
<b>Figura 8.</b> Prendimiento de las estaquillas apicales semiduras en función de su diámetro.....	29
<b>Figura 9.</b> Efecto de la utilización de AIB en el prendimiento de las estaquillas suaves, en función de su diámetro.....	31
<b>Figura 10.</b> Efecto de la aplicación de AIB en el prendimiento de las estaquillas semiduras apicales en función de su diámetro.....	31
<b>Figura 11.</b> Efecto de la aplicación de AIB en el prendimiento de las estaquillas semiduras basales en función de su diámetro.....	32
<b>Figura 12.</b> Efecto de la aplicación de AIB en el prendimiento de las estaquillas duras basales en función de su diámetro.....	33
<b>Figura 13.</b> Evolución de la brotación en estaquillas sometidas a distintas temperaturas antes de su plantación.....	34
<b>Figura 14.</b> Evolución de la aparición de los brotes por planta y la longitud total de los brotes.....	34
<b>Figura 15.</b> Porcentaje de brotes en función de su posición en la estaquilla (nudo) y del periodo de la aplicación de bajas temperaturas.....	35

# 1. Introducción

## 1.1 La alcaparra

### 1.1.1 Aspectos generales

*Capparis spinosa* (L.), comúnmente conocida como alcaparra, alcaparro o tapenera, es un arbusto originario de las regiones áridas de Asia. Fue introducido por los griegos a las islas del Mar Egeo y posteriormente se expandió por la zona del Mediterráneo, donde crece de forma espontánea al encontrarse en condiciones óptimas de suelo y clima.

El cultivo de la alcaparra tiene como objetivo principal el aprovechamiento de sus partes comestibles que, previamente preparadas, son utilizadas en la cocina.

Además de su uso en alimentación, la tapenera tiene otras aplicaciones relacionadas con el ámbito de la medicina y los cosméticos. Entre sus propiedades medicinales se encuentran efectos anti-reumáticos (ya que los extractos alcohólicos de los brotes de alcaparra son capaces de proteger los condrocitos de los efectos producidos por estimulación de la interleukina-1b, una sustancia que induce los procesos inflamatorios en las articulaciones), efectos protectores del sistema cardiovascular y otros efectos que están siendo investigados (como por ejemplo los efectos anti-diabéticos descubiertos en animales de laboratorio). (Camacho, 2012).

Por otro lado, el crecimiento de *Capparis spinosa* (L.) también tiene un alto valor ecológico y ambiental, ya que ayuda a fijar el suelo donde se encuentra y evita la erosión (Reche, 1967).

### 1.1.2 Taxonomía y descripción botánica

El género *Capparis* incluye más de 300 especies, siendo *spinosa* la más conocida debido a su relevancia nutricional y económica.

La clasificación taxonómica de la alcaparra es;

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

La planta es una magnoliopsida (dicotiledónea) perenne caducifolia, subarborescente, de unos 40-50 cm de altura. Su parte aérea está formada por tallos, de desarrollo rastrero, que pueden alcanzar hasta 3 metros de longitud.



Fotografía 1. *Capparis spinosa* (L.) con tallos rastreros y flores.

Las hojas son de forma redondeada o acorazonada. Presentan un pecíolo de una longitud que varía entre 3 y 10 mm de la base del cual parten dos apéndices transformados en espinas más o menos curvadas. Son de color verde, de consistencia crasa y poco gruesas. Las hojas poseen estomas en ambos lados, distribuidos uniformemente, que se mantienen abiertos continuamente durante el día en el período de crecimiento (Domínguez *et al*, 2013).

Las flores nacen en las axilas de las hojas. Son grandes (de 4 a 5 cm de diámetro) y están formadas por un cáliz con cuatro sépalos de color verdoso, una corola de cuatro pétalos blancos tirando a rosados y numerosos estambres con los filamentos alargados de un color violáceo, con sus anteras amarillas. Son hermafroditas, solitarias y muy vistosas o llamativas. (Costa y Rossi, 2005).



Fotografía 2. Flor de *Capparis spinosa* (L.) con sus, pétalos blancos y filamentos violáceos.

El fruto (alcaparrón) es una baya de forma ovalada más estrecha por la parte de la inserción que por la superior. Es carnoso en su interior y posee un color verdoso cuando no está en su madurez, que va virando hacia rojo mientras va alcanzándola. Posee muchas semillas. Tiene unas dimensiones de unos 3 cm de longitud y 1,5 cm de diámetro.

Las semillas son 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 y son poco permeables al agua.



Fotografía 3. Fruto de *Capparis spinosa* (L.).

La raíz es ramificada, gruesa, fuerte, fibrosa y resistente, lo que le permite adaptarse a climas áridos. Puede alcanzar gran profundidad, lo que le permite fijar el suelo (Reche, 1967). 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.

### 1.1.3 Exigencias climáticas

*Capparis spinosa* (L.) crece en la zona del litoral Mediterráneo, aunque no en todos los sitios proporciona frutos de igual calidad. Por ejemplo, los productos del sur de Francia y Argelia son de peor calidad, se conservan peor, tienen un sabor menos apetecible y tienen menos dureza que los producidos en España. Esto se debe a las diferentes condiciones ambientales como la temperatura y la humedad.

En cuanto al suelo, este arbusto se desarrolla en todos los terrenos, pero aprecia los silíceo-calizos y arcilloso-calizos (Reche, 1967).

Con respecto al clima, es poco exigente pero lo prefiere templado y suave. Se adapta bien a diferentes temperaturas, tolerando hasta 40 °C de máxima y -8 °C de mínima. Las condiciones óptimas varían en función de la época del año, creciendo mejor si durante la germinación la temperatura es moderada, durante el verano alta y durante en invierno suave (Melgarejo y Salazar, 2000).

Tolera la falta de humedad, ya que las raíces laterales cuentan con un elevado contenido de agua en sus tejidos que la planta puede utilizar en casos de sequía. No necesita riego aunque agradece el riego invernal, sobretodo en plantación. Sin embargo, en verano es sensible al exceso de humedad. En lugares de excesivas precipitaciones no se adapta bien, ya que con la humedad aparecen infecciones fúngicas (Domínguez *et al*, 2013).

En cuanto a sus exigencias lumínicas, se obtienen mejores rendimientos si los días son largos (más horas de iluminación). Por otro lado, el viento no presenta problemas para el crecimiento de la planta, ya que esta es rastrera.

#### 1.1.4 Aprovechamiento e industrialización

La alcaparra aporta productos vegetales de alto valor a la alimentación, llegando a formar parte de los platos más representativos de países como Francia o India.

De *Capparis spinosa* (L.) pueden consumirse:

- Los botones florales (alcaparras) son la parte de la planta más aprovechada en alimentación.

En la cocina se suelen utilizar preparadas en salmuera o vinagre, como aperitivo, aderezo de ensaladas, ingrediente de salsas (salsa tártara), platos de carne y muchos otros platos de cocina.

El componente principal de las alcaparras es el agua, seguido de las proteínas y los carbohidratos. El contenido en grasa es bajo y su aporte calórico también. En relación con los nutrientes, destaca en su contenido en sodio, y también presenta (aunque en cantidades menores) hierro, calcio y vitaminas (como por ejemplo vitamina A y vitamina C).

En la siguiente tabla, se presenta la composición nutricional de las alcaparras (Moreiras *et al*, 2013).

Tabla 1. Información nutricional de 100 g de alcaparras.

Energía (Kcal)	44
Agua (g)	88,6
HC (g)	4,9
Proteínas (g)	2,4
Lípidos (g)	0,9
Colesterol (mg/1000 kcal)	0
Fibra (g)	3,2
Sodio (mg)	2964
Hierro (mg)	1,67
Calcio (mg)	40

- El fruto (alcaparrón) se usa en la cocina de igual forma que las alcaparras, es decir, se suelen conservar en vinagre o salmuera y se usan como aperitivos o condimentos de ensaladas y otros platos.
- El tallo tierno también se usa en cocina preparado en salmuera o vinagre, como aperitivo o condimento.



Fotografía 4. Alcaparra y alcaparrón encurtidos. (Fuente: Panzas (2013)).

### 1.1.5 Importancia económica

#### •Mercado internacional

En los últimos años, la demanda de alcaparras en el mercado internacional ha aumentado mucho. Esto se debe a que el estilo de vida se basa cada vez más en una alimentación sana y saludable, en la que las alcaparras ocupan un lugar de preferencia.

El principal productor y exportador de alcaparra en el mundo es Marruecos con 4700 t/año. El segundo lugar lo ocupa Turquía, que ha incrementado sus exportaciones en los últimos años y sigue muy de cerca a Marruecos. Otros exportadores son Francia y Siria (UN-COMTRADE, 2010).

Por otro lado, entre los principales países importadores encontramos a España, que importa entre 300 y 400 t/año, EEUU, que importa  $2 \times 10^6$  kg/año e Italia que importa  $4 \times 10^6$  kg/año (MARM, 2010).

#### •Mercado nacional

Años atrás, este trabajo formaba parte de la economía local de muchas partes del litoral Mediterráneo en España, donde los agricultores recolectaban las partes comestibles y las vendían en función de su peso y tamaño.

En cambio, en la década de los 90 este trabajo desapareció de la economía local por varios motivos. En primer lugar, las condiciones laborales eran duras ya que la recolección de los productos se hacía en verano y era una tarea muy exigente. En segundo lugar, no se podía competir con los precios que imponía el mercado marroquí debido a su barata mano de obra. En tercer lugar, la aparición de otros cultivos más competitivos. Finalmente en cuarto lugar, la aparición de otros sectores más potentes, como el turismo.

Según el MARM (2010), la superficie de plantación regular cayó un 88,83 % entre 1999 y 2009, pasando de 4.487 hectáreas a tan sólo 501. Así, la cosecha también descendió en un 92,03 % en ese período (de 765 toneladas a 61 toneladas), mientras que su valor de mercado lo hizo en un 91,9 % (de 1,53 millones de euros a tan solo 123.000 euros en 2009).

## 1.2 Propagación

Con el auge de la economía de la alcaparra y su dificultad en la propagación, las técnicas de reproducción están siendo objeto de estudio por parte de muchos investigadores.

*Capparis spinosa* (L.) puede tanto reproducirse de manera sexual (semillas), propagarse asexualmente (estaquillado el más importante) y mediante el cultivo in vitro.

### 1.2.1 Reproducción sexual

La reproducción sexual se produce a través de semillas, las cuales tienen por función multiplicar la especie y asegurar su supervivencia en el tiempo. Con este tipo de reproducción la descendencia resultante presenta variabilidad genética (Jiménez y Matías, 2010).



Fotografía 5. Semillas de *Capparis spinosa* (L.).

Las semillas están compuestas por las siguientes partes:

- Embrión. Punto de fusión entre el óvulo y el núcleo espermático.
- Endospermo. Proporciona los nutrientes para el desarrollo y crecimiento.
- Testa. Formada por el tegumento, que representa los tejidos maternos.

Para que el embrión se transforme en una plántula es necesario que se produzca la germinación, que presenta los siguientes pasos (Suárez y Melgarejo, 2012):

- En primer lugar, la semilla debe de absorber agua.
- En segundo lugar, se activa el metabolismo y los procesos de respiración, síntesis de proteínas y movilización de las sustancias de reserva.
- En tercer lugar, se produce el crecimiento del embrión y rotura de la testa (a través de la cual se observa la salida de la plántula).

La germinación está afectada por factores internos (como la viabilidad, la latencia o la cantidad de reservas) y por factores externos (como el agua, la temperatura o la luz).

Para que se lleve a cabo la germinación, la semilla debe de cumplir como mínimo tres requisitos; que sea viable, que no esté latente y que las condiciones ambientales sean favorables (humedad, oxígeno y temperatura adecuada).

*Capparis spinosa* (L.) tiene una germinación epigea, propia de plantas que germinan en primavera-verano con temperaturas templadas.

Las semillas de la alcaparra presentan una germinación irregular. Esto es debido, en parte a la dureza de su testa (que no deja entrar al agua y provoca que la semilla se encuentre en estado latente) y en parte a una inhibición fisiológica del embrión (Pascual *et al*, 2009). Esta latencia es conocida como latencia innata.

Por otro lado, la semilla también puede estar en estado latente debido a condiciones ambientales desfavorables, lo que es conocido por latencia inducida. Este tipo de latencia, también provoca resultados pobres en la germinación.

Durante el reposo y la latencia, las semillas siguen llevando a cabo algunas de sus funciones como por ejemplo la respiración.

Actualmente existen dos hipótesis para romper el letargo en las semillas. La primera, postula la existencia de un equilibrio entre sustancias estimuladoras (ácido giberélico) y sustancias inhibitoras (ácido abscísico), que influye en la latencia de las semillas. La segunda, supone que la activación de los mecanismos de respiración del ciclo fosfato de pentosa también puede inhibir dicha latencia (Domínguez *et al*, 2013).

El aumento del porcentaje de germinación de las semillas de la tapenera está siendo objeto de estudio por investigadores de muchas universidades y centros de investigación, incluyendo el Departamento de Producción Vegetal de la Universitat Politècnica de València. Entre los experimentos realizados por los investigadores, se ha intentado romper la dureza seminal con escarificaciones mecánicas e inhibir la latencia fisiológica aplicando ácido giberélico (Pascual *et al*, 2004), también se estudió la influencia de la posición del fruto y su estado de maduración (Pascual *et al*, 2003), así como los efectos del envejecimiento acelerado en las semillas (Pascual-Seva *et al*, 2009).

### **1.2.2 Reproducción asexual**

En los vegetales se producen varios de tipos de reproducción asexual. Entre ellos se pueden diferenciar aquellos que se producen de forma natural (por bulbos, por rizomas, por tubérculos, por estolones, etc) y los que se dan de forma artificial (por acodo inducido, por estaquillado, por injerto y por cultivo *in vitro*) (Huanca, 2010).

Debido a los problemas de germinación que presentan las semillas de la alcaparra, la técnica de propagación por estaquillas parece una alternativa razonable para su utilización en el cultivo.

La propagación asexual de *Capparis spinosa* (L) puede llevarse a cabo por diferentes métodos pero sin duda, el más utilizado es el estaquillado. No obstante presenta una serie de problemas, por eso se está tratando de encontrar su origen habiéndose realizado diferentes estudios para intentar mejorar el enraizamiento y obtener valores de prendimiento superiores a los actuales.

Entre ellos, se encuentran el tratamiento de los esquejes con diferentes concentraciones de hormonas (auxinas) que influyen en el enraizamiento de las plantas (Suleiman *et al*, 2012) y la influencia de la estación anual en la que se realizan los esquejes, que puede ser determinante a la hora de enraizar (Pascual *et al*, 2007).

Mediante estas técnicas se obtienen individuos exactamente iguales a sus progenitores, es decir, clones (plantas que poseen exactamente la misma información genética y sin variabilidad). La ausencia de variabilidad es un factor muy importante, ya que habitualmente se desea mantener todas las características de la planta madre. Este tipo de técnicas de propagación son posibles gracias a la totipotencia de las células vegetales y a su desdiferenciación.

El proceso de estaquillado consiste en (Huanca, 2010):

- En primer lugar se obtiene el material vegetal de la planta madre. Es necesario que la planta madre esté sana, sea vigorosa y que crezca a la luz del día. En muchas especies, la posición en la rama influye a la hora de enraizar y brotar.

La parte de la planta que se utiliza generalmente para realizar los esquejes es el tallo. Este es el órgano que sostiene las hojas, flores y frutos. Se pueden diferenciar varios tipos de tallos. (i) Los que están compuestos por madera dura y son obtenidos en invierno cuando la planta está en reposo, es decir, después de que hayan caído las hojas (en especies caducifolias) y antes de que aparezcan los nuevos brotes. (ii) Los formados por madera semidura, obtenidos en verano y en otoño antes de entrar en reposo. (iii) Los que están formados por madera suave, obtenidos en primavera cuando la planta empieza a brotar.

- En segundo lugar, se colocan en un medio que sea favorable para poder desarrollarse. El medio de cultivo es un factor de vital importancia para la propagación por estaquillado, ya que no solo es importante que contenga los componentes óptimos para el cultivo sino también, que no contenga aquellos que lo perjudiquen. Entre las principales características a tener en cuenta encontramos el pH, la humectabilidad, la salinidad, el contenido de nutrientes, etc.

Existen varios medios de cultivo para el estaquillado de *Capparis spinosa* (L). Entre los más importantes podemos destacar:

- **Turba.** Es uno de los sustratos más exitosos gracias a sus características físicas, químicas y biológicas. Entre sus principales características destacan, una alta retención de agua, ausencia de patógenos y plagas (debido a su origen), bajo nivel de pH y nutrientes (lo que permite regular su cantidad en función de las características óptimas), y un precio competitivo (Schmilewski, 2009).
- **Fibra de coco.** Este tipo de sustrato proviene de las fibras del mesocarpo del coco. Dependiendo del origen, grado de envejecimiento y tratamiento empleado las características fisicoquímicas de este sustrato varían. En general

se caracteriza por tener una buena rehumectación y un precio un poco superior al de la turba.

- En tercer lugar empiezan a formarse las raíces, mediante las cuales la nueva plántula podrá obtener agua y los nutrientes para sobrevivir. El proceso de formación de raíces es un proceso endógeno. Este proceso depende de varios factores (Huanca, 2010);
  - Reguladores del crecimiento. Las auxinas y citoquininas favorecen el enraizamiento y las giberelinas lo inhiben (Jordán y Casaretto, 2006).
  - Factores ambientales. Agua, luz, temperatura, etc.
  - Polaridad.

De este modo, sabiendo las condiciones que influyen en el enraizamiento se debe tratar de optimizarlas para que el cultivo pueda enraizar lo máximo ya que si no forma raíces, no obtendremos una nueva planta.

- Finalmente la plántula empezará a brotar y deberá de trasplantarse para que pueda crecer y transformarse en una planta adulta.

### 1.3 Uso de fitorreguladores en la reproducción por estaquillas

El crecimiento y la diferenciación de las células de una planta se coordinan a través de la respuesta a los estímulos ambientales, este proceso es posible gracias a las hormonas vegetales. Las hormonas vegetales son sustancias que se sintetizan en ciertas zonas de la planta y que se transportan a sus lugares de acción, donde se encargan que controlar el desarrollo vegetativo.

Las hormonas vegetales se pueden englobar dentro de cinco grupos;

- **Auxinas.** Este grupo de hormonas tiene como función principal controlar el crecimiento de la planta, es decir, la elongación.

Estas, están presentes en todas las partes de la planta aunque son más abundantes en las partes jóvenes y en los tejidos finos ya que en dichas partes hay más presencia de los enzimas que las sintetizan (Jordán y Casaretto, 2006). Entre los aspectos fisiológicos relacionados con estas hormonas, se encuentran la estimulación de la elongación, el crecimiento y maduración de frutos y la estimulación de la formación de raíces en la propagación mediante técnicas asexuales como el estaquillado, donde se usan auxinas como el ácido indolbutírico (IBA), el ácido indolacético (IAA) o el ácido naftalenacético (NAB).

Las estacas de muchas especies enraízan con cierta facilidad en los medios de cultivo pero sin embargo, hay otras especies que tienen una mayor dificultad para

enraizar y por eso es muy frecuente el uso de reguladores para facilitar el enraizamiento.

El método de aplicación de la hormona a las estaquillas suele ser de tres formas diferentes; bien por inmersión prolongada en una solución con la hormona, bien por inmersión rápida (5 segundos) en una solución concentrada de la hormona o bien tratando la base de la estaquilla con hormona en un portador inerte que mantiene la sustancia más tiempo en contacto con las estaca.

Es importante la concentración de la hormona que se aplica a la estaquilla variando la concentración óptima, en función de la especie vegetal. El uso de auxinas en estas técnicas favorece el crecimiento celular en las raíces adventicias de forma que se obtiene un enraizamiento mayor (Castrillón *et al*, 2006).

- **Giberelinas.** Es el grupo más numeroso de hormonas vegetales y se encuentran en casi todas las plantas en cantidades variables. Al igual que las auxinas, son sintetizadas en determinadas zonas de la planta y posteriormente son transportadas a su lugar de acción.

Entre los aspectos fisiológicos relacionados con las giberelinas, se citan la estimulación de la elongación de tallos y la estimulación de la germinación de semillas de muchas especies de plantas (Jordán y Casaretto, 2006).

- **Citoquininas.** Junto con las auxinas tienen un papel clave en la división celular de la planta, es decir, en el crecimiento. Se encuentran en todas las partes de la planta, pero especialmente en las zonas donde se produce división celular de forma activa como los meristemos y las semillas. Entre las diferentes citoquininas se encuentran la Zeatina y la Kinetina, siendo muy importantes en el cultivo *in vitro* (Lluna, 2006).
- **Ácido Abscísico.** Este fitorregulador es fundamental para los vegetales porque tiene la capacidad de inhibir fenómenos de crecimiento. Es vital para supervivencia de algunas plantas ya que en presencia de alteraciones (como estrés hídrico, frío, etc) es sintetizada y evita que la planta muera.

Un ejemplo de esta importancia en la supervivencia se encuentra en la respuesta que la planta emite al ser sometida a estrés hídrico, ya que se estimula la síntesis de la hormona provocando que se cierren los estomas. Se sintetizan en semillas, frutos, tallos y raíces, y son transportadas por el xilema y el floema (Lluna, 2006).

- **Etileno.** Este fitorregulador se encuentra en estado gaseoso en condiciones normales de presión y temperatura y se sintetiza en casi todos los órganos de los vegetales superiores. Su producción es estimulada por las auxinas y puede verse aumentada en situaciones de estrés. Es muy importante en la maduración de los frutos (Lluna, 2006).

## 2. Objetivos

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principales problemas que presenta el cultivo de la alcaparra es su propagación. El presente trabajo pretende dar soluciones a este problema estudiando su propagación vegetativa.

Entre los principales objetivos que se plantearon, están el estudio de:

- Cómo afecta a la propagación la posición de la estacilla dentro de la rama (basal y central).
- La influencia del grosor de las estaquillas en el momento de la plantación.
- La influencia del grado de lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento.
- El efecto de la aplicación de hormonas de enraizamiento (ácido Indolbutírico –AIB-) sobre el enraizamiento.
- El efecto de la conservación de las estaquillas a bajas temperaturas antes de la plantación.

### 3. Material y métodos

Los experimentos se realizaron en los invernaderos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural en la Universitat Politècnica de València (UPV) entre el mes de julio de 2014 y el mes de julio de 2015. Los invernaderos (con cubierta de vidrio) estaban provistos de ventilación cenital, de umbráculo de refrigeración por “Cooler system” (para mantener la temperatura por debajo de 28°C) y de calefacción por aerotermos, (para mantener la temperatura por encima de 18°C). Los invernaderos también disponían de bancadas con calefacción mediante tuberías de agua caliente que, junto con los demás mecanismos de regulación térmica, han mantenido la temperatura del sustrato alrededor de 22°C. Las temperaturas del sustrato y del ambiente, se han medido con termohidrógrafos TESTOR con medida electrónica y “data logger”.

Las plantas madre, de las cuales se tomaron los estaquillas, están localizadas en una parcela de la UPV (situada en el Campus de Vera, polígono 27, parcela 214, término municipal de Valencia) y también en los alrededores de las murallas de la ciudad de Ibiza (Illes Balears) (Fotografías 6 y 7).



Fotografía 6: Vista aérea de los lugares de obtención del material vegetal. Aledaños de las murallas de Ibiza (A) y parcela situada en la UPV (B). (Fuente; MARM (2011)).



Fotografía 7: Vista de la parcela de la UPV.

Para realizar los ensayos, se utilizaron como contenedores vasos transparentes (para facilitar la medición del grado de enraizamiento), de polietileno (PE) de 0,3 l de capacidad, 70 mm de diámetro superior, 45 mm de diámetro inferior y 100 mm de profundidad, para las estaquillas duras y semiduras. Los vasos utilizados para las estaquillas suaves tenían una capacidad de 0,1l, de 55 mm de diámetro superior, 40 mm de diámetro inferior y 60 mm de profundidad. Los contenedores fueron rotulados convenientemente y se les practicó un orificio de drenaje.

Los contenedores convenientemente preparados, se llenaron con un sustrato a base de turba (50%) y perlita (50 %), al demostrarse que fue una de las mejores combinaciones encontradas en experimentos previos (realizados en el Departamento). La turba (turba rubia 70 %, turba negra 30 %), es un sustrato comercial especial para esquejes y semillas que contiene turba rubia tamizada de alta calidad. Está recomendado para semillas de plantas ornamentales sensibles a las sales y, en especial, para estaquillas y esquejes difíciles de enraizar. Su pH oscila entre 4.8 y 5.8. La mezcla de turba y perlita se humedecía para facilitar el llenado de los contenedores y la plantación. Antes de la plantación, se midieron los diámetros y la longitud de las estaquillas. Finalmente, después de plantar las estaquillas se regaron por capilaridad con una frecuencia de una vez a la semana.

Con el fin de dar respuesta a los distintos objetivos planteados, se plantearon varios experimentos. Para cada uno de los ensayos llevados a cabo, se han analizado los resultados obtenidos mediante análisis de la varianza con el paquete estadístico STATGRAPHICS 5.1. La separación de medias se ha realizado con test LSD. Las diferencias se han considerado significativas para  $P \leq 0.05$ . Los conteos expresados como porcentajes se han transformando para que los datos se aproximen a una distribución normal. La transformación apropiada para este tipo de datos se obtiene mediante la determinación del ángulo cuyo seno es la raíz cuadrada del porcentaje (se expresa como  $\arcsen \sqrt{X}$ ).

### 3.1 Efecto de la posición de la estaquilla dentro de la rama sobre la brotación

Para realizar este estudio, se usó material vegetal procedente de Isla de Ibiza y de la parcela de la Escuela. El estudio se dividió en dos experimentos. En el primero la planta se encontraba en la fase final del periodo de reposo de su ciclo vital (mes de marzo), de modo que las estaquillas fueron duras (lignificadas). En el segundo la planta se encontraba en la fase de floración (julio), de modo que las estaquillas fueron semiduras (habían perdido su consistencia herbácea).

Las estaquillas fueron clasificadas en función de la posición que ocupaban en la rama de la planta madre, diferenciándose dos tipos de estaquillas (la parte terminal no pudo estudiarse porque en la época que se realizó el experimento estaba seca);

- Basales: estaquillas procedentes de los diez primeros centímetros de la rama de la planta madre.
- Centrales: estaquillas procedentes del tercio central de la rama de la planta madre.

En el primer experimento se usó material vegetal de *Capparis spinosa* (L.) que provino tanto de la Isla de Ibiza como de la parcela de la UPV. De este modo, para diferenciar entre las plantaciones se usó la siguiente nomenclatura:

- (A) Procedente de la Isla de Ibiza plantadas el día 9 de marzo de 2015.
- (B) Procedente de la isla de Ibiza plantadas el día 12 de marzo de 2015.
- (C) Procedente de Valencia plantadas el 9 de marzo de 2015.
- (D) Procedente de Valencia plantadas el 12 de marzo de 2015.
- (E) Procedente de Valencia plantadas el 26 de marzo de 2015.

Para el diseño experimental se realizaron 8 bandejas con capacidad para 28 contenedores cada una de ellas, para cada experimento. En total se plantaron 112 estaquillas (4 bandejas, que son un total de 16 repeticiones) procedentes de la zona basal y 112 (4 bandejas, que son 16 repeticiones también) procedentes de la zona central para cada uno de ellos (Fotografía 8).

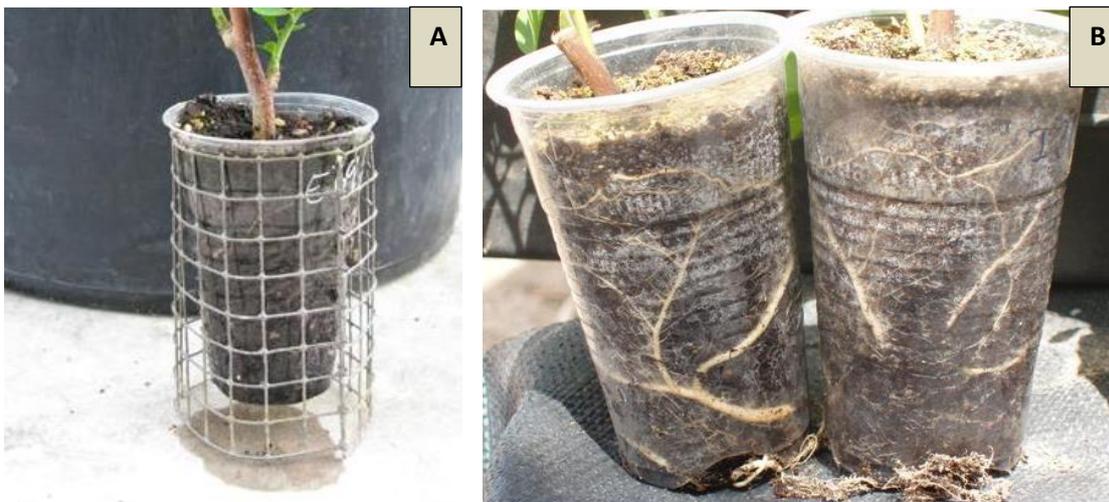
En el segundo experimento también se usó material vegetal de *Capparis spinosa* (L.) pero en este caso solo procedía de la parcela de la UPV. Se plantaron 112 estaquillas, 56 procedentes de la zona basal de la rama y 56 procedentes de la zona central (formando un total de cuatro bandejas, ya que cada bandeja tenía capacidad para 28 contenedores). A aquellas que procedían de la zona central, se les dejó media hoja en el último nudo de la estaquilla. La fecha de plantación fue el 22 de julio y posteriormente se realizaron medidas de brotación y enraizamiento.



Fotografía 8. Vista del diseño del experimento.

Una vez plantadas en el invernadero, se realizaron medidas periódicas con una frecuencia mensual. En estas se estudió la brotación y la posición del nudo en la que brotaban dentro de la estaquilla.

Para estimar el grado de enraizamiento se utilizó un cilindro, realizado con tela metálica cuadrada (con cuadrados de 1 cm de lado) y del mismo diámetro que los contenedores empleados. Se contaron los cuadros en los que había raíces, en la parte lateral, expresándose el grado de enraizamiento en porcentaje de cuadros ocupados por raíces respecto al total de cuadros existentes (Fotografía 9).



Fotografía 9. Detalle del cilindro de tela metálica empleado para la estimación del grado de enraizamiento. (A) Medidor de raíces. (B) Ejemplo de raíces.

La brotación se expresó en porcentaje. Todas las estaquillas que habían brotado fueron contabilizadas y se obtuvo el porcentaje, tanto de las que procedían de la zona basal como de las que lo hacían de la zona central.

En el caso de los brotes, se contó su número y se midió su longitud. Se anotó la posición del brote en relación a cada nudo de la planta. Para realizar esta medición se consideró que el nudo -1 era el que estaba por debajo de la superficie del sustrato en la maceta y el nudo 1 era el primer nudo por encima de la misma superficie. Sucesivamente se encuentra el segundo, tercero, cuarto y quinto por encima de la superficie. Una vez todos los brotes medidos, se calculó el porcentaje de brotes que habían en cada posición.

### **3.2 Influencia del grosor de las estaquillas duras sobre la brotación y el prendimiento**

Este experimento fue realizado en su totalidad con estaquillas duras plantadas en el mes de marzo. Al igual que en el experimento anterior, se usó material vegetal *Capparis spinosa* (L.) procedente de Ibiza y de la parcela de la UPV y se utilizó la misma nomenclatura para diferenciar entre las distintas plantaciones:

- (A) Procedente de la Isla de Ibiza plantadas el día 9 de marzo de 2015.
- (B) Procedente de Valencia plantadas el 9 de marzo de 2015.
- (C) Procedente de Valencia plantadas el 12 de marzo de 2015.
- (D) Procedente de Valencia plantadas el 26 de marzo de 2015.

En este caso solo se utilizaron estaquillas procedentes de la parte basal de la rama para realizar el experimento. Antes de su plantación se midieron los diámetros de las estaquillas, variando entre 4 y 9 mm. Se agruparon en lotes de, aproximadamente, 14 estaquillas para cada intervalo de 1 mm. Las estaquillas se distribuyeron al azar en 3 bandejas (12 repeticiones con 7 estaquillas por repetición).

Durante los 4 meses posteriores a su plantación se tomaron datos de prendimiento y longitud (vigor) de los brotes, procediendo como en el apartado anterior.

Se usó el termino prendimiento porque las estaquillas habían tanto brotado como enraizado. Para saber que habían enraizado se destruyeron las muestras al final del trabajo y se comprobó que, efectivamente, todas habían formado raíces.

### **3.3 Influencia del grado de lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento**

Este experimento estudió el comportamiento del prendimiento de los diferentes tipos de estaquillas en función de su grado de lignificación. La lignificación de la estaquilla depende del estado en el que se encuentra la planta, es decir, de la época del año y por ello se realizaron

plantaciones en tres épocas diferentes. El material vegetal que se usó para los tres ensayos fue de *Capparis spinosa* (L.), procedente de Valencia e Ibiza.

En primer lugar, se realizó una plantación de estaquillas suaves. Esta correspondió al mes de abril, periodo en el que la planta empieza su ciclo vegetativo y la consistencia de su brotación es la denominada madera herbácea.

En el diseño experimental se usaron 8 bandejas (32 repeticiones con 7 estaquillas por repetición), plantándose un total de 224 estaquillas. Previamente a su plantación se clasificaron en función de su diámetro y su longitud, para así poder estudiar la influencia de ambos en el prendimiento.



Fotografía 10. Aspecto de la plantación de estaquillas de madera suave.

En segundo lugar, se realizaron dos plantaciones de estaquillas semiduras. La primera correspondió al mes de julio, periodo en el que la planta se encuentra en floración y su grado de lignificación es medio (Fotografía 11). La segunda se realizó en noviembre, periodo en el que la planta estaba al final de su periodo productivo (presentando un grado parecido de lignificación).

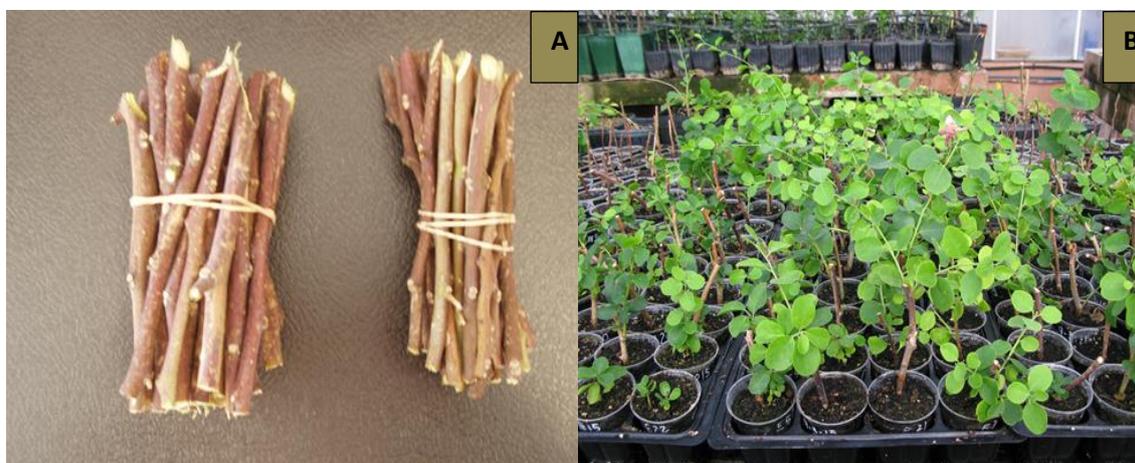
En la plantación del mes de verano se realizaron estaquillas de la parte apical y de la parte basal de la rama. Por otro lado, en la plantación de noviembre solo se realizaron las de la parte basal de la rama. Previamente a su plantación, fueron clasificadas en función de su diámetro para poder estudiar su influencia.

Para el diseño experimental de la plantación del mes de verano, se usaron 8 bandejas (32 repeticiones con 7 estaquillas por repetición), la mitad para la zona basal y la otra mitad para la zona apical. Para la plantación de noviembre se usaron 4 bandejas (16 repeticiones con 7 estaquillas por repetición) todas ellas para la zona basal.



Fotografía 11. Aspecto de la plantación de estaquillas de madera semidura.

Finalmente, la tercera plantación fue de estaquillas duras, es decir, esquejes obtenidos de la zona basal de la planta cuando se encontraba en reposo invernal. Estas se realizaron en el mes de marzo y su metodología de plantación fue exactamente igual a la del apartado 3.2. Para el diseño experimental, se realizaron tres plantaciones de 224 estaquillas cada una de material vegetal procedente de Valencia y dos plantaciones de 224 estaquillas cada una de material vegetal procedente de Ibiza.



Fotografía 12. Aspecto de las estaquillas de madera dura (A) y la plantación posterior (B).

Una vez realizadas las plantaciones se tomaron medidas del prendimiento de cada uno de los experimentos y se calculó el porcentaje. También se relacionó el diámetro y la longitud con el prendimiento de las estaquillas.

### **3.4 Efecto de la aplicación de ácido Indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento y posterior prendimiento de las estaquillas**

Este experimento fue realizado, al igual que el anterior, sobre estaquillas de los tres tipos en función de su grado de lignificación, de modo que también se realizaron plantaciones en distintas épocas del año. El material vegetal utilizado fue de *Capparis spinosa* (L.), que procedía de la parcela de Valencia.

La hormona que se utilizó fue el ácido indol-3-butírico (AIB), que es una auxina que estimula el crecimiento rizogénico de las plantas. Es muy usada en estaquillas que presentan problemas de enraizamiento.

El procedimiento de plantación fue exactamente igual que en el apartado 3.3 exceptuando la aplicación del AIB. También se clasificaron las estaquillas en función de su diámetro para estudiar su posible influencia cuando se aplicaban hormonas de enraizamiento.

Para estaquillas suaves se plantaron (marzo) un total de 224, la mitad de ellas sin ningún tipo de tratamiento (control) y la otra mitad con AIB. El método de aplicación del fitorregulador fue el remojo durante 20 segundos de los 2-3 cm de la parte basal de la estaquilla en una solución de AIB de 0,4 % de la marca comercial Fitosanitarios INABAR S.L.

Para estaquillas semiduras solo se plantó en el mes de julio. Se estaquillaron un total de 224 esquejes. La mitad de estos correspondieron a la parte basal, tratando con AIB a 56 estaquillas y dejando 56 más sin tratar (control). La otra mitad se correspondía a la zona apical, y del mismo modo, se trataron 56 estaquillas con AIB y se dejaron sin tratar otras 56. El método de aplicación del fitorregulador fue el mismo que para las estaquillas suaves.

Finalmente, para las estaquillas duras se realizaron dos plantaciones, ambas en el mes de marzo y con estaquillas de la zona basal. La primera de ellas fue realizada en la segunda semana del mes y se plantaron 112 estaquillas de la zona basal, 56 con AIB y 56 sin AIB. La segunda de las plantaciones se realizó la última semana del mismo mes y se estaquillaron el mismo número de esquejes que en la primera plantación tratando la mitad de ellos con AIB y la otra mitad no. El diseño experimental y el método de aplicación fueron los mismos que en los dos casos anteriores.

Una vez las plantaciones fueron realizadas, se tomaron medidas de brotación y prendimiento durante los meses posteriores.

### **3.5 Efecto de las bajas temperaturas previas a la plantación de las estaquillas duras**

El efecto de la aplicación de bajas temperaturas se estudió realizando dos experimentos. El material vegetal utilizado en ellos fue de la zona basal de *Capparis spinosa* (L.) y procedió de la isla de Ibiza y de la parcela del Departamento.

En el primer experimento se usaron estaquillas procedentes de Ibiza. Se establecieron dos grupos de estaquillas. Las primeras estuvieron durante 24 horas en el frigorífico del laboratorio del Departamento de Producción Vegetal a una temperatura de 4°C. El segundo grupo de estaquillas estuvo en el mismo frigorífico durante un tiempo mayor, 48 horas.

Para el diseño experimental se utilizaron 4 bandejas (16 repeticiones con 7 estaquillas por repetición). En total se plantaron 112 estaquillas.

En el segundo de los experimentos se utilizaron estaquillas de la misma especie que el primero pero procedentes de la parcela de la UPV, es decir, de Valencia. En este experimento también se establecieron dos grupos de estaquillas. El primero de ellos no fue sometido al efecto de las bajas temperaturas, es decir, se plantó el mismo día de la recolección de las estaquillas. El segundo de los grupos sí que fue sometido al efecto de la temperatura, manteniéndose (antes de plantarlo) durante 7 días en el frigorífico del laboratorio a una temperatura de 4°C.

Se estudió la brotación, el número de brotes por planta, longitud y la posición del brote dentro de la estaquilla (según la metodología explicada en el apartado 3.1.).

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Efecto de la posición de la estaquilla dentro de la rama sobre el brotación

Los niveles de brotación de todos los experimentos realizados con estaquillas duras procedentes de la zona central de la rama fueron nulos o prácticamente nulos. La explicación a estos resultados se encontró al observar que a partir de un determinado número de nudos contados desde la base de la rama (aproximadamente 20), en la mayoría de los casos aparecía una flor o un brote mixto y en contadas ocasiones alguna yema se quedaba latente (Fotografía 13). Los estudios histológicos (datos no presentados) de estos nudos, confirman que en cada nudo la yema es única y una vez ha brotado, hace imposible que los esquejes (tomados de la zona donde se encuentran estos nudos) puedan brotar. Solamente en los casos excepcionales, en los que algunas yemas se quedaron en latencia, brotaron dando lugar a estos bajos (prácticamente nulos) resultados de prendimiento. Esto confirmó que los esquejes tomados de ramas en los que la única yema de todos los nudos había brotado no podían dar lugar a una nueva planta, al no quedar yemas latentes ni aparecer yemas adventicias.



Fotografía 13. Parte terminal de un brote en el que se observa que todas las yemas han brotado en forma de flor solitaria excepto una de ellas, que lo ha hecho en forma de brote mixto.

La particularidad de que la yema es única en cada nudo en *Capparis spinosa* (L.), explica las diferencias encontradas por otros autores en experimentos similares (aunque el material vegetal fuera de otro género y especie vegetal). En ensayos, similares, realizados con *Milicia excelsa* Welw. por Lin *et al.* (1997) encontraron buenos resultados de prendimiento tanto en las estaquillas de la base de la planta madre como en las centrales. Al-Sagri y Alderson (1996) tomaron estaquillas de *Rosa centifolia* de tres partes diferentes del tallo (apical, media y basal) y las trataron con IBA 3500 ppm en solución 0.03 % de hidróxido potásico. Los mejores resultados de enraizamiento los encontraron en las estaquillas procedentes de la parte media y basal del tallo. Lebrun *et al* (1998) estudiaron la influencia del tipo de estaquilla y la época de enraizamiento en estaquillas de *Syzygium paniculatum* Gaerth, concluyendo que el grado de enraizamiento obtenido resulta marcadamente superior para esquejes de tipo basal y central.

Los mejores resultados, en cuanto a brotación de las estaquillas duras tomadas de la zona basal de la rama de *Capparis spinosa* (L.), se obtuvieron con las procedentes de las murallas de la ciudad de Ibiza. En la figura 1A, se observa que a las tres semanas habían brotado más del 50% de las estaquillas y a las siete semanas la brotación había alcanzado niveles superiores al 90 %, para llegar prácticamente al 100 % a las doce semanas. En otro experimento con material vegetal procedente de la Isla de Ibiza (Figura 1B), se tuvo que esperar a la séptima semana para alcanzar porcentajes de brotación superiores al 70 % y a la duodécima semana para llegar a al 85 %.

La evolución de la brotación del material vegetal de *Capparis spinosa* (L.) procedente de la parcela experimental de la ETSIAMN tuvo un comportamiento similar en todos los experimentos realizados, no obstante, los porcentajes de brotación fueron inferiores al material vegetal procedente de Ibiza. En las figuras C, D y E, se observa que a la tercera semana los niveles de brotación no habían alcanzado el 15 % y que se tuvo que esperar hasta la décimo tercera semana para alcanzar la brotación máxima.

En efecto, las yemas procedentes de la zona basal de la rama permanecieron en latencia y los esquejes obtenidos a partir de estas yemas estuvieron en condiciones de brotar. En todo caso, teniendo en cuenta que los ensayos se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones ambientales, es de suponer que las diferencias obtenidas se han debido a las características del material vegetal. En nuestro caso, la procedencia del material vegetal y/o estado fisiológico en el que se encontraba el material vegetal, fue decisiva para obtener buenos resultados de prendimiento. Las estaquillas procedentes de plantas madre silvestres (no cultivadas y procedentes de las murallas y zonas rocosas del ciudad de Ibiza), con menor ramificación y menor vigor, tuvieron mayores porcentajes de prendimiento. Los esquejes procedentes de plantas madre cultivadas (parcela UPV) con mayor ramificación y vigor, en donde las propias ramas se sombrearon unas a otras, los prendimientos fueron menores. En todo caso, estos trabajos mejoran los resultados obtenidos por Tansi (1999) cuando realizó experimentos con estaquillas de alcaparra obtenidas en tres épocas diferentes (marzo de 1997, junio de 1997 y primavera de 1998) y las sometió a diferentes tratamientos con IBA y AA a concentraciones de 1500-3000 mg/l durante 15 segundos. Las estaquillas plantadas en marzo y junio de 1997 no llegaron a enraizar, aunque brotaran. De las plantadas en primavera de 1998 y tratadas con IBA a 1500 ppm, enraizó una sola estaquilla. Los resultados de Tansi (1999), probablemente, se podrían explicar si se conociera con detalle la posición del material vegetal en las rama de las plantas madre.

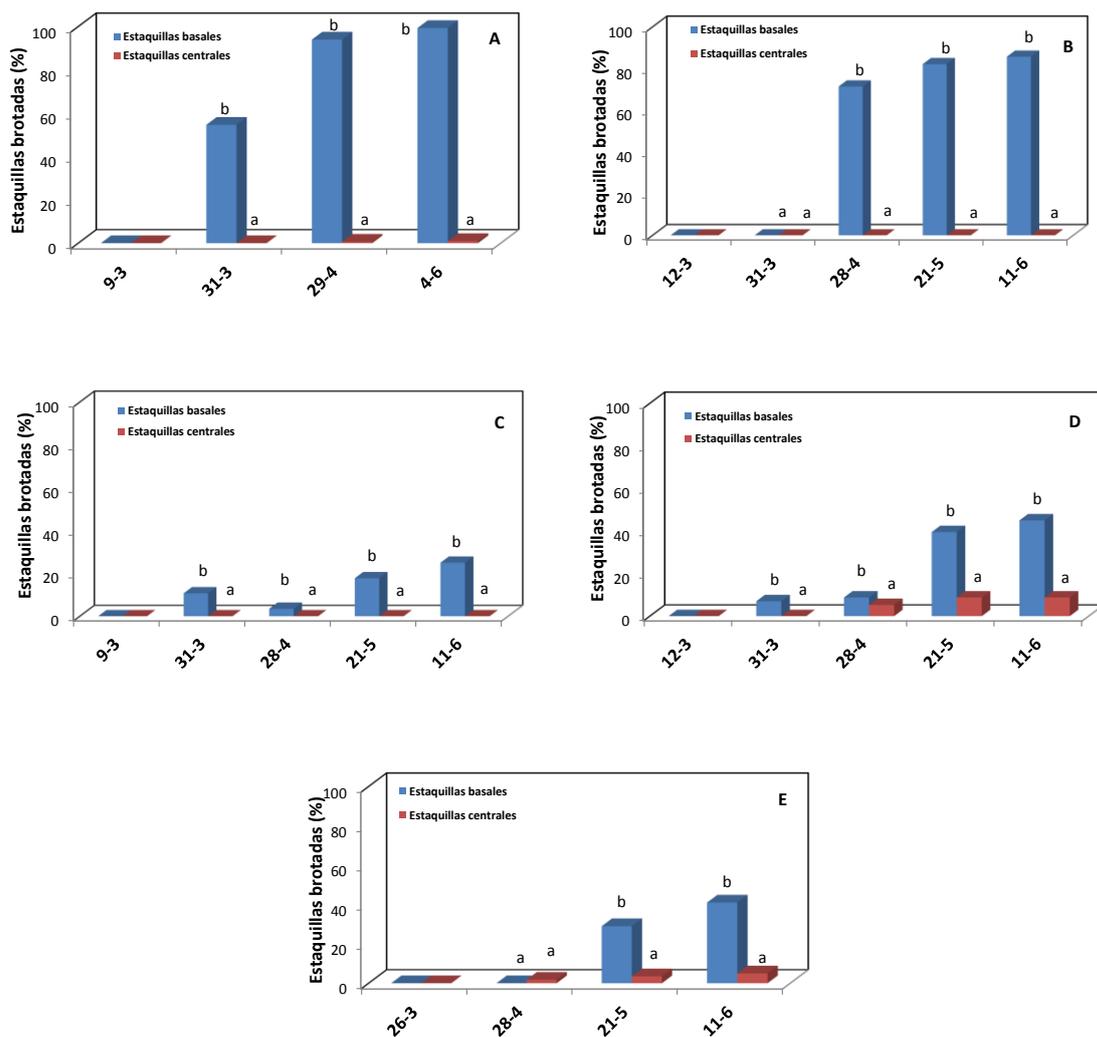


Figura 1. Evolución de la brotación de las estaquillas duras (%) en función de su posición dentro de la rama. (A y B) Material vegetal procedente de la Isla de Ibiza. (C, D y E) Material vegetal procedente de Valencia. La primera de las fechas corresponde al momento de la plantación. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Por otro lado, cuando el material vegetal procede de estaquillas semiduras su comportamiento es diferente. La totalidad de las estaquillas centrales, en las que se deja la mitad de la hoja del último nudo, tienen la capacidad de enraizar. En nuestro caso, el 55,3 % perdieron la hoja y no enraizaron. Sin embargo, la brotación fue prácticamente nula (Figura 2). En todo caso (como ocurrió con las estaquillas duras) aquellas que su yema ya había dado lugar a una flor o brote mixto no pudieron brotar y las pocas estaquillas que presentaron yemas latentes, dieron lugar a una nueva planta. La capacidad de enraizamiento de las estaquillas centrales de madera semidura va ligada a la permanencia de hojas o parte de la hoja. Las estaquillas procedentes de maderas duras, al tratarse de una especie caducifolia, han perdido todas sus hojas en el momento de la plantación. De acuerdo con Hartman *et al* (1990) las hojas, seguramente, fueron generadoras de sustancias hormonales que controlan la aparición de raíces y/o carbohidratos responsables del crecimiento de dichas raíces.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Imbernón (2000), al no encontrar diferencias entre la sección basal y la central en cuanto a enraizamiento. Zarza (2003) constata el buen enraizamiento en la primera quincena de julio en la sección apical y moderado en la sección central, mientras que en noviembre obtuvo porcentajes de brotación y enraizamiento notables en la sección basal (entre 51 y 66 %), similares a los obtenidos por Ben Salem *et al.* (2001) (con valores de enraizamiento comprendidos entre el 50 y 70 % en esquejes plantados entre julio y octubre). La gran variabilidad, en cuanto a prendimiento, encontrada entre los diferentes autores en las estaquillas centrales y apicales puede ser explicada con nuestros resultados (por la falta de yemas latentes en los esquejes). Sospedra (2005) determinó que, en los estaquillados de alcaparra realizados en épocas estivales, el grado de enraizamiento alcanzado fue elevado pero el nivel de brotación se consideró testimonial.

La gran variabilidad (en cuanto a prendimiento de los esqueje) atribuida al diferente estado fisiológico de las ramas según Kenny (1995), se debería (según los resultados de este apartado del TFG) al tipo de yemas presente en cada tipo de estaquilla en el momento de la plantación.

El comportamiento, en cuanto a brotación, de las estaquillas semiduras procedentes de la zona basal (Figura 2) tuvo un comportamiento similar a las estaquillas basales duras (Figura 1).

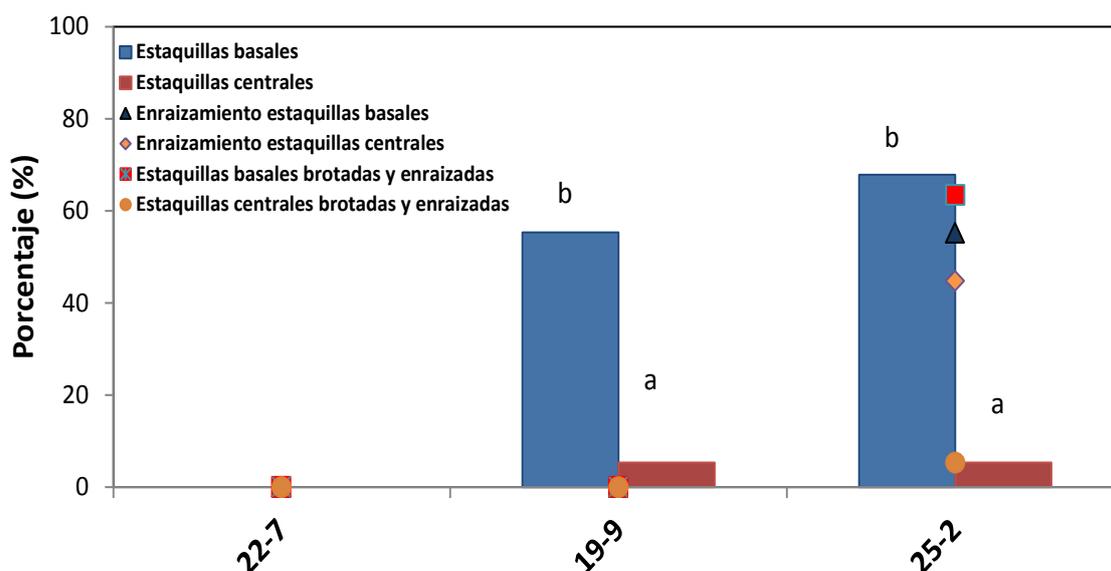


Figura 2. Evolución de la brotación y enraizamiento (%) de estaquillas semiduras en función de su posición dentro de la rama. La primera de las fechas corresponde al momento de la plantación. Entre el nivel de enraizamiento de las estaquillas basales y centrales no se encontraron diferencias significativas, sin embargo las diferencias estadísticas fueron claras entre el número de plántulas provenientes de estaquillas basales y centrales. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Al considerar los nudos, la capacidad de brotación de la estaquilla fue mayor en los primeros. En efecto, el primer nudo por debajo de la superficie del suelo tuvo una mayor capacidad de brotación en 3 de los 5 experimentos. En todos los casos, a partir del tercer nudo la brotación disminuyó por debajo del 20 % (Figura 3). La parte superior de las estaquillas comenzó a deshidratarse, llegando a secarse gran parte de la superficie por encima del suelo. Cuanto más tiempo tardaron en brotar las estaquillas, mayor longitud de la estaquillas se deshidrató y menor fue el rango del nudo brotado. En los casos en los que se secó toda la parte de la estaquilla por encima del suelo, brotó el primer nudo por debajo de la superficie del suelo (Fotografía 14).

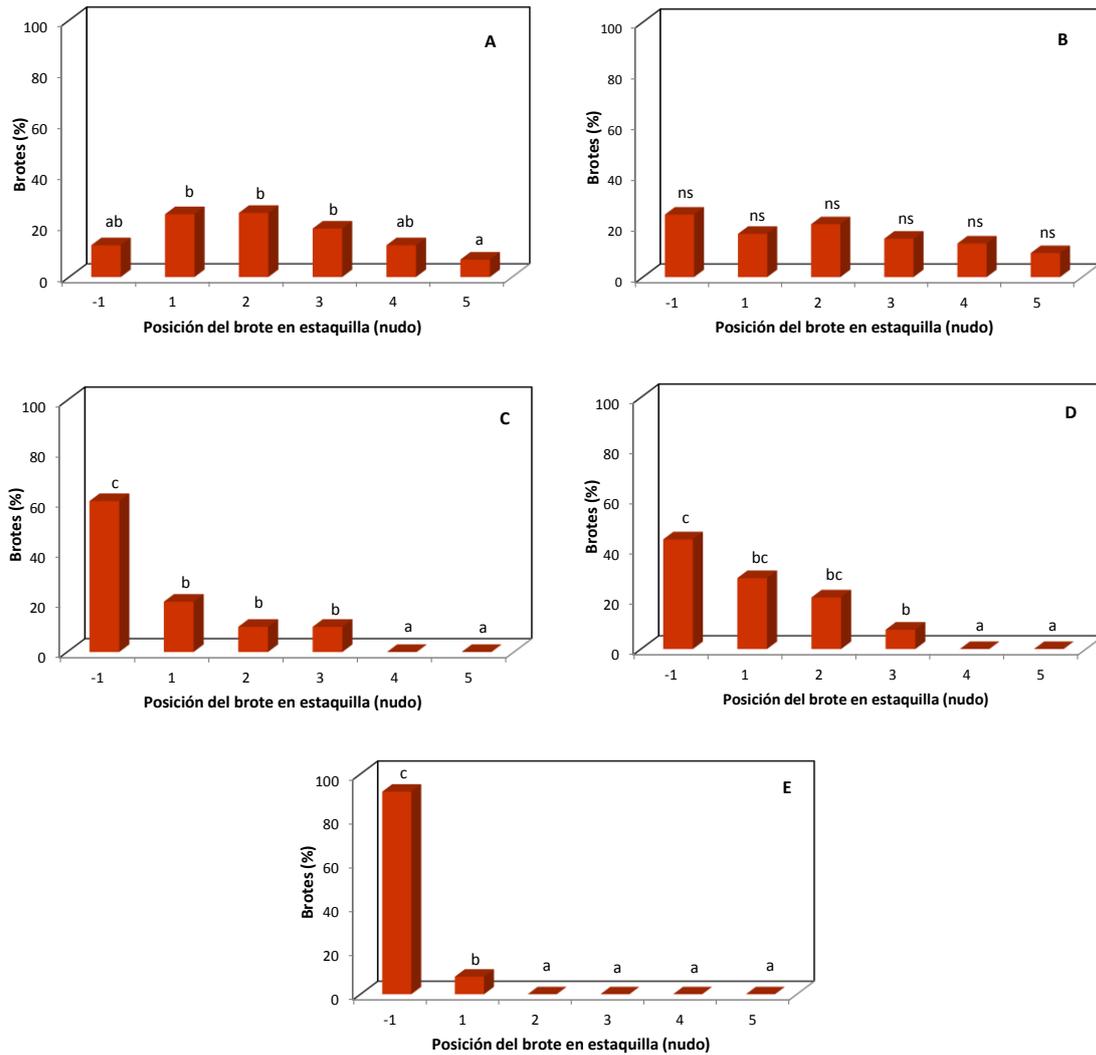


Figura 3. Evolución de los brotes de las estaquillas duras (%) en función de su posición dentro de la estaquilla. (A y B) Material vegetal procedente de la Isla de Ibiza. (C, D y E) Material vegetal procedente de Valencia. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P < 0.05$ .



Fotografía 14. Plántula de alcaparra. En esta se observa el primer nudo por debajo de la superficie del sustrato y el primero por encima de la superficie del suelo brotados.

#### **4.2. Influencia del grosor de las estaquillas duras sobre la brotación y el prendimiento**

El diámetro de las estaquillas duras influyó sobre su prendimiento. Las estaquillas cuyos diámetros no alcanzaban los 4 mm no prendieron. A medida que aumentaba el diámetro, entre 4 y 6 mm, se obtuvieron mejores resultados de prendimiento. Los mejores resultados se encontraron en estaquillas con diámetros superiores a 6 mm, con prendimientos entre el 50 % y el 100 % (Figura 4). El mayor porcentaje de reservas (presentes en las estaquillas de mayor grosor) y la mayor cantidad de agua acumulada, hicieron que las estaquillas se deshidrataran más lentamente y tuvieran más tiempo para brotar. Una vez empezaron a brotar, ésta fue más vigorosa en los esquejes de mayor tamaño.

A partir de un mínimo, los esquejes de diámetros pequeños enraízan (en algunos casos) mejor que los grandes. López *et al* (2004), empleando brotes terminales de 1 o 2 mm de diámetro y esquejes leñosos de 7,5 a 15 mm de diámetro, de tomillo rojo, contrastó que la rizogénesis se vio notablemente influida por la parte de la planta empleada, siendo el porcentaje de enraizamiento de brotes apicales muy superior al de los esquejes leñosos.

Nuestros ensayos demuestran que no es necesario que las estaquillas alcancen los 15 mm de diámetro, que recomienda Barbera (1984), para obtener buenos resultados de enraizamiento. En lo que sí coinciden es en que tienen que ser de la base aunque, como hemos explicado en el apartado anterior, no por una razón de diámetro sino porque en la base permanecen las yemas latentes.

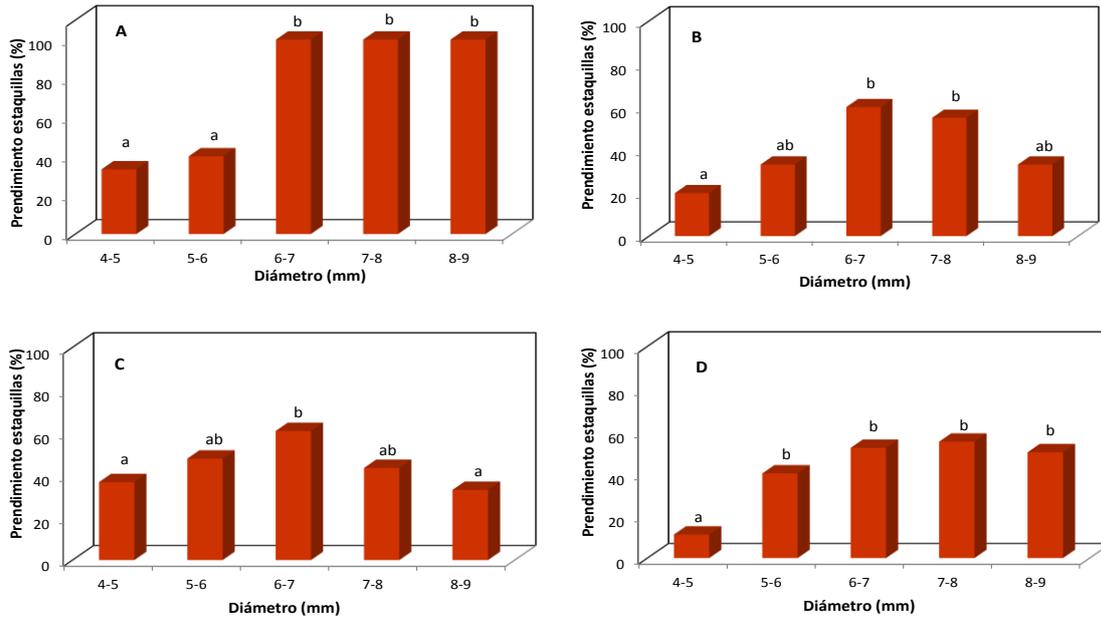


Figura 4. Evolución del prendimiento de las estaquillas duras (%) en función de su diámetro. (A) Material vegetal procedente de la Isla de Ibiza. (B, C y D) Material vegetal procedente de Valencia. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

El grosor de las estaquillas influyó sobre la longitud total de los brotes, de manera que cuanto mayor era el diámetro, mayor fue la longitud total de los brotes. En las estaquillas, cuyos diámetros estaban comprendidos entre 4 y 5 mm, los brotes alcanzaron más de 2 cm. Sin embargo, en la mayoría de los casos, a partir de los 7 u 8 mm alcanzaron más de 5 cm de longitud total (Figura 5).

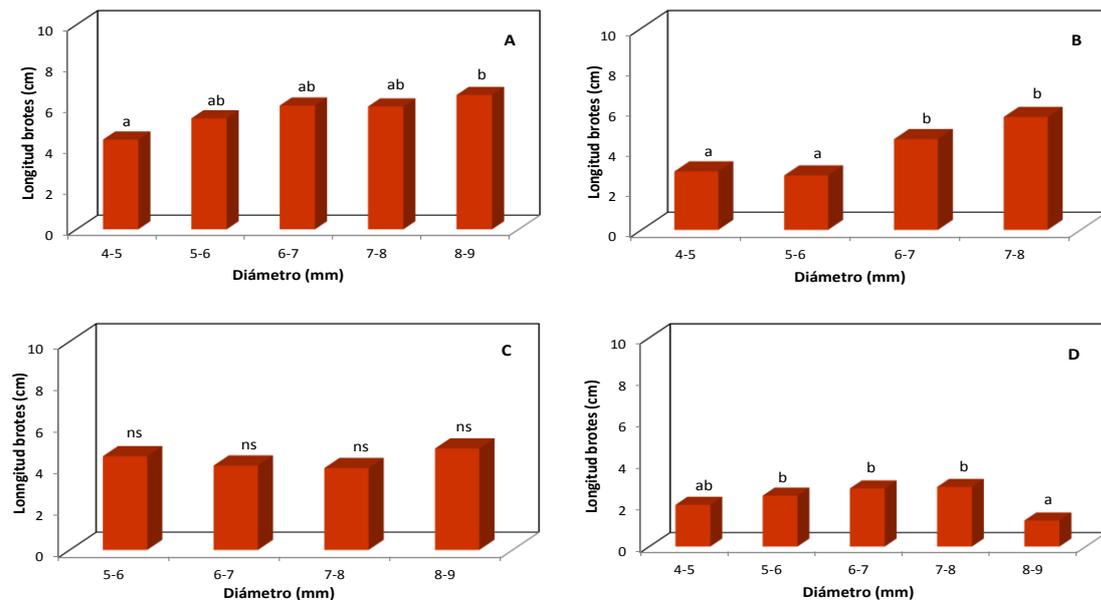


Figura 5. Longitud total (cm) de los brotes en función del diámetro (mm) de las estaquillas duras en el momento de la plantación. Medición realizada tres meses después de la fecha de plantación. (A) Material vegetal procedente de la isla de Ibiza. (B, C y D) Material vegetal procedente de Valencia. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

### 4.3. Influencia del grado de lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento

La época de plantación de las estaquillas no fue decisiva sobre el prendimiento. Las estaquillas suaves, obtenidas de brotes tiernos en el mes de abril, presentaron valores de prendimiento superiores al 50 % (Tabla 2). Los mejores resultados de prendimiento se obtuvieron cuando las estaquillas tenían un diámetro superior a 3 mm y/o una longitud superior a 6 cm. Para las estaquillas con diámetros inferiores a 2 mm, el porcentaje de prendimiento no superó el 30 %, y para estaquillas con longitudes inferiores a 2 cm, bajó a menos del 15 % (Figura 6).

Estos resultados contrastan claramente con los obtenidos por Pilone (1990); Imbernon, 2000; Ben Salem *et al.*, 2001; Zarza (2003), en los que la época del estaquillado sí que fue influyente estadísticamente. Por ejemplo, Salem (2001) obtuvo porcentajes de prendimiento del 90% con estaquillados durante el mes de mayo, aunque no llegó a determinar el porcentaje de brotación.

Tabla 2. Influencia de la lignificación de las estaquillas sobre el prendimiento (estaquillas enraizadas y brotadas a la vez). (A y B) Material vegetal procedente de Ibiza. (C,D,E,F,G y H) Material vegetal procedente de Valencia.

Grado de lignificación	Plantación	Procedencia	Prendimiento (%)
Suave	Abril	Valencia (F)	53,0
Semidura	Julio	Valencia (G)	67,8
	Noviembre	Valencia (H)	78,3
Dura	Marzo	Ibiza (A)	99,3
	Marzo	Ibiza (B)	85,7
	Marzo	Valencia (C)	45
	Marzo	Valencia (D)	25,0
	Marzo	Valencia (E)	41,0

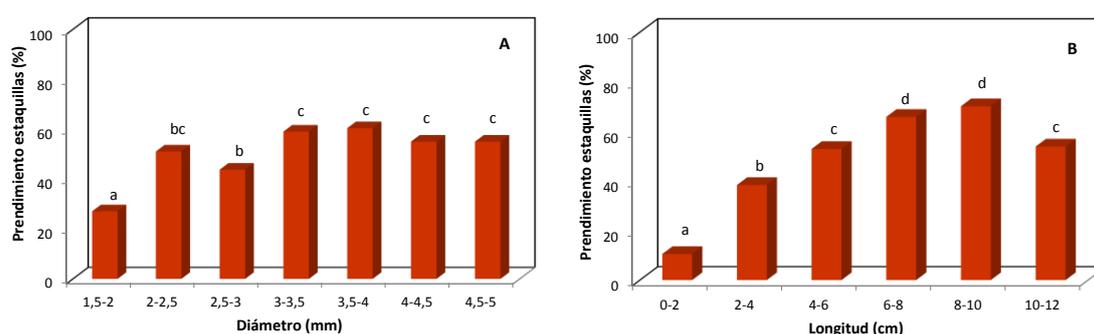


Figura 6. Prendimiento de las estaquillas suaves en función de su diámetro (A) y longitud (B). Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Los resultados de prendimiento en estaquillas semiduras presentaron un comportamiento similar a las estaquillas suaves (Figura 6) y estaquillas duras (Figura 4). Las estaquillas semiduras con diámetros superiores a 6 mm alcanzaron prendimientos superiores al 80%, y en algunos casos llegaron al 100%. Cuando las estaquillas semiduras tenían diámetros inferiores a 5 mm los resultados de prendimiento no superaron el 40 % (Figura 7).

La época de plantación no fue decisiva para el éxito del prendimiento de estaquillas semiduras. En efecto, en nuestros experimentos, los resultados obtenidos fueron similares tanto en la plantación de julio como en la de noviembre, tardando en brotar tiempos similares y obteniendo porcentajes de prendimiento similares también. En la plantación de julio, la alcaparra estaba en plena floración y los brotes tenían una consistencia semidura, al igual que en la plantación de noviembre que estaba al final del periodo productivo (Figura 7).

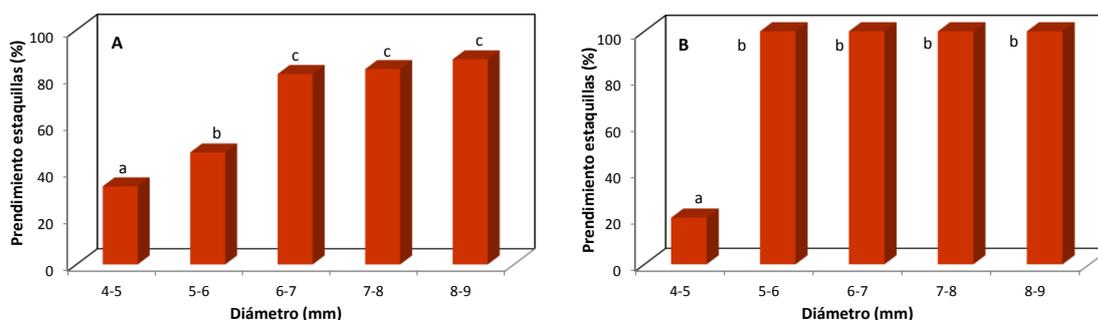


Figura 7. Prendimiento de las estaquillas basales semiduras en función de su diámetro. (A) plantación realizada en el mes de julio y (B) plantación realizada en el mes de noviembre. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Las estaquillas apicales semiduras tuvieron un comportamiento distinto a las estaquillas suaves, a pesar de que su consistencia es parecida (Figura 6 y 8). En general, las estaquillas apicales semiduras presentaron buenos resultados de prendimiento, indistintamente del diámetro en el momento de la plantación. Para todos los diámetros estudiados, el prendimiento superó el 65 %. Los mejores resultados se alcanzaron para diámetros de 2 mm (100 %) y fueron descendiendo a medida que aumentaba el diámetro de la estaquilla.

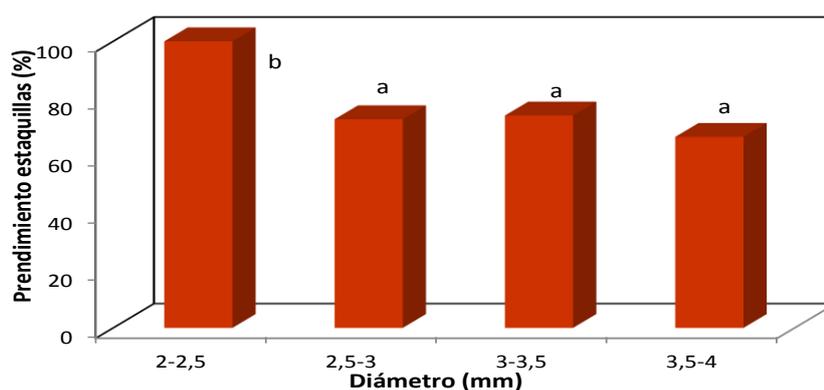


Figura 8. Prendimiento de las estaquillas apicales semiduras en función de su diámetro. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Las estaquillas duras plantadas en el mes de marzo, momento antes de la brotación, dieron lugar a resultados dispares en cuanto a prendimiento, oscilando entre el 25 % y el 100 % (Tabla 2).

#### 4.4. Efecto de la aplicación de ácido Indolbutírico (AIB) sobre el enraizamiento y posterior prendimiento de las estaquillas

La aplicación de AIB no mejoró los resultados de prendimiento de las estaquillas de alcaparra, indistintamente del grado de lignificación de las mismas (Tabla 3). Los resultados encontrados coinciden con los de Moreno (2000) (que estudió el efecto del IBA a 50 ppm en estaquillas de alcaparras, sumergiéndolas durante 12 horas antes de la plantación) y con los de Imbernon (2000), donde no hubo diferencias en el prendimiento entre las estaquillas control y las tratadas, aunque esta última autora sí encontrara diferencias en cuanto a su enraizamiento. Sin embargo, el efecto de la aplicación de AIB en *Capparis spinosa* (L.) fue diferente al encontrado por otros autores en otros cultivos. Los estudios llevados a cabo por Dhillon y Shaarma (1992) en los que se compararon varias concentraciones y tiempos de inmersión en el enraizamiento de estaquillas de granado. Sumergieron parte de las estaquillas en AIB a 50, 100 y 200 ppm durante 24 horas y en 500, 1000 y 2000 ppm durante 1 minuto encontrando que el mejor enraizamiento fue para 100 ppm seguido de 50 ppm. Similares resultados encontraron Xu *et al* (2004) en estaquillas de *Securinega suffruticosa*, tratadas con AIB con concentraciones de 50, 100 y 200 ppm.

Tabla 3. Efecto de la utilización de AIB en el prendimiento de las estaquillas.

Grado de lignificación	Plantación	Parte de la rama	Prendimiento (%)		
			Control	AIB	Significación
Suave	Abril	Basal	46,42	51,78	n.s.
Semidura	Julio	Apical	78,57	71,42	n.s.
	Julio	Basal	71,42	64,28	n. s
Dura	Marzo	Basal	43	47	n.s
	Marzo	Basal	50	32	n.s

n.s.: no significativo

El grosor de las estaquillas suaves influyó sobre el porcentaje de prendimiento. Los mejores resultados se alcanzaron con estaquillas a partir de 4 mm de diámetro. La inmersión de la parte basal de las estaquillas en una solución de AIB tuvo un efecto positivo en las estaquillas procedentes de los brotes más tiernos, cuyos diámetros eran inferiores a 2 mm. En estaquillas procedentes de los brotes más desarrollados, tuvo un efecto negativo. En efecto, las estaquillas procedentes de brotes de más de 4 mm de diámetro la aplicación de AIB tuvo un efecto negativo sobre el prendimiento de las estaquillas (Figura 9).

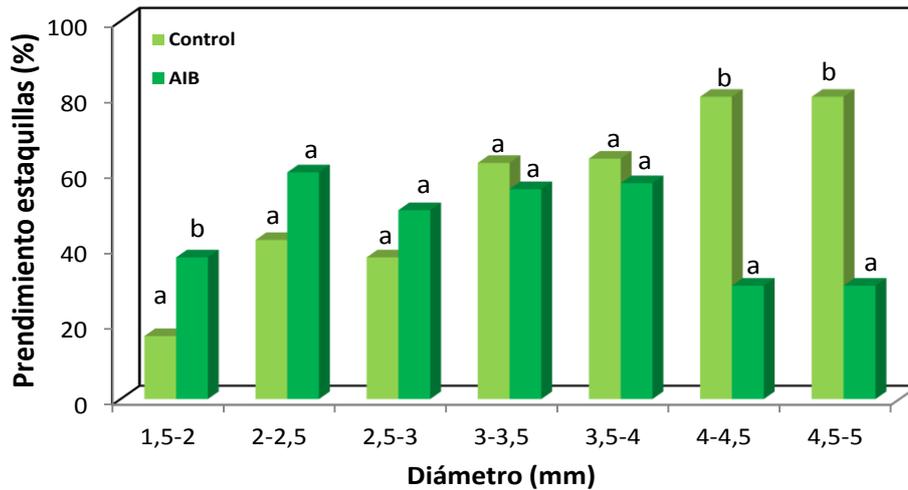


Figura 9. Efecto de la utilización de AIB en el prendimiento de las estaquillas suaves, en función de su diámetro. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Las estaquillas semiduras apicales tuvieron un comportamiento distinto a las estaquillas suaves, a pesar de que su consistencia era parecida (Figuras 9 y 10). Los mejores resultados se alcanzaron para diámetros de 2,5 mm (92,3 %) y fueron descendiendo a medida que aumentaba el diámetro de la estaquilla (Figura 10).

La aplicación de AIB en el momento del estaquillado tuvo un efecto positivo sobre el prendimiento cuando el diámetro de las estaquillas superó los 3 mm en el momento del tratamiento (100 %). Para estaquillas muy tiernas (2,5 mm) la aplicación de AIB tuvo un efecto negativo (53,3 %) (Figura 10).

Los mejores resultados se obtuvieron con las estaquillas de menor grosor en el control o con las de mayor grosor en el caso de la aplicación de AIB (Figura 10).

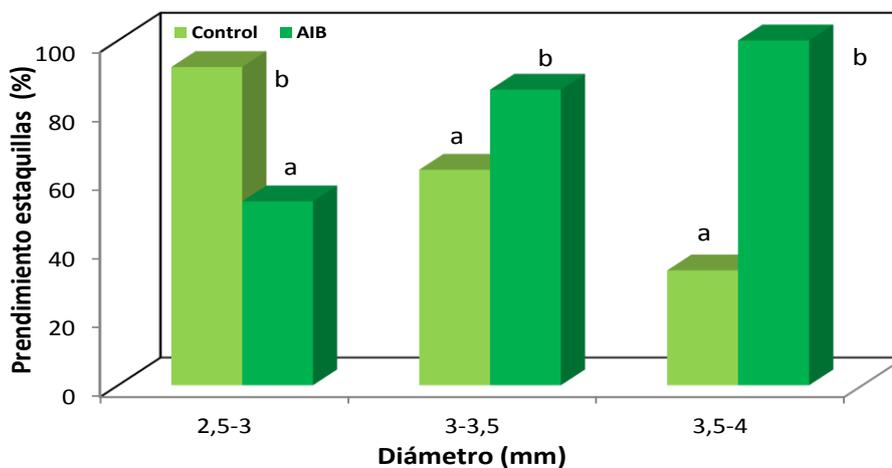


Figura 10. Efecto de la aplicación de AIB en el prendimiento de las estaquillas semiduras apicales en función de su diámetro. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Las estaquillas semiduras basales tuvieron un comportamiento distinto a las estaquillas semiduras apicales (Figura 10 y 11). Los mejores resultados se alcanzaron para diámetros entre 6 y 7 mm (87,5 %) y para diámetros inferiores a 5 mm el porcentaje de prendimiento no llegó al 35 % (Figura 11).

La aplicación de AIB en el momento del estaquillado, en estaquillas basales semiduras, tuvo un efecto positivo sobre el prendimiento cuando el diámetro de las estaquillas superó los 7 mm en el momento del tratamiento (100 %). Para estaquillas con diámetros inferiores la aplicación de AIB tuvo un efecto negativo llegando a alcanzar valores del 0 % (Figura 11).

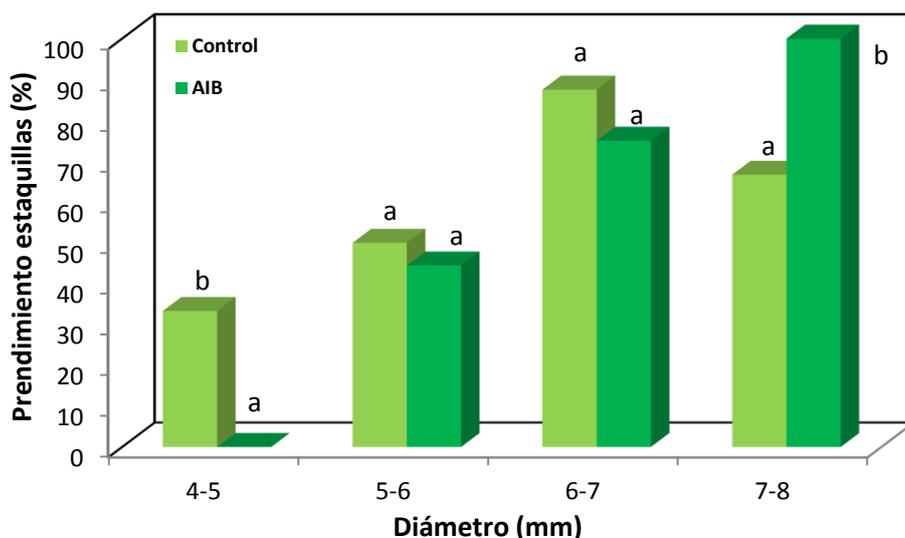


Figura 11. Efecto de la aplicación de AIB en el prendimiento de las estaquillas semiduras basales en función de su diámetro. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$

Las estaquillas duras basales (Figura 12) tuvieron un comportamiento similar a las estaquillas semiduras basales (Figura 11). Los mejores resultados se alcanzaron para diámetros entre 6 y 8 mm (entre 50 % y 80 %) y para diámetros inferiores a 4 mm el porcentaje de prendimiento fue prácticamente nulo. Cuando el grosor de las estaquillas superó los 7 u 8 mm su prendimiento disminuyó (Figura 12).

La aplicación de AIB, en el momento del estaquillado, tuvo un efecto diferente para las dos plantaciones de estaquillas duras. Tuvo un efecto negativo para la plantación realizada en la última semana del mes de marzo, ya que el grupo control obtuvo mejores resultados de prendimiento (en la mayoría de los casos). Por otro lado, en la plantación realizada la primera semana de marzo, el efecto fue el contrario, ya que en la mayoría de los casos las estaquillas tratadas con AIB presentaron mejores resultados de prendimiento (Figura 12).

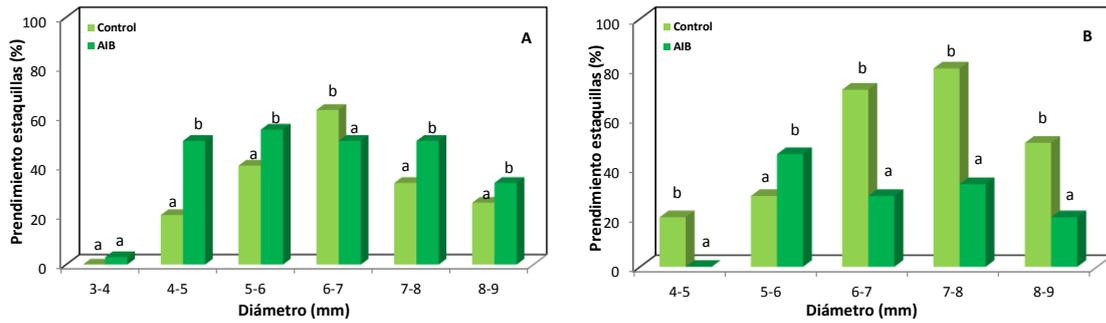


Figura 12. Efecto de la aplicación de AIB en el prendimiento de las estaquillas duras basales en función de su diámetro. (A) Fecha de plantación 12 de marzo. (B) Fecha de plantación 26 de marzo. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$

La poca consistencia mostrada por los resultados según Loach (1988) pueden ser debida a que la aplicaciones pueden resultar ser imprecisas, ya que la cantidad de hormona que pueden absorber depende de su estado, de la  $T^a$ , tiempo de aplicación, etc. Por otra parte, las auxinas aplicadas actúan conjuntamente con una cantidad indeterminada de reservas de AIA, cuyo nivel variará con el tipo de esqueje y por como se haya visto afectada la planta por las condiciones ambientales (además de las posibles interacciones de las auxinas con otras hormonas endógenas, cuya concentración también puede variar). Además, las auxinas tienen un efecto inhibitor de las yemas laterales (Hartman *et al*, 2002), que puede ser diferente en función del grado de desarrollo de las mismas. En general una ratio elevada concentración de auxina/baja concentración de citoquinina favorece la formación de raíces, y una ratio baja concentración de auxina/elevada concentración de citoquinina favorece la formación de yemas adventicias (Hartman *et al*, 2002).

#### 4.5. Efecto de las bajas temperaturas previas a la plantación de las estaquillas duras

El tratamiento de las estaquillas a bajas temperaturas mejoró los resultados de prendimiento. En el primer experimento, cuando las estaquillas se mantuvieron durante 24 horas a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$  el prendimiento fue superior al 85 % y cuando se mantuvieron durante 48 horas a la misma temperatura el prendimiento mejoró hasta casi el 100 % (Figura 13 A).

Las estaquillas que se mantuvieron durante más tiempo a bajas temperaturas empezaron a brotar antes. Cuando las estaquillas se mantuvieron a  $4^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas a las 3 semanas ya habían alcanzado prendimientos superiores al 50 %, mientras que las sometidas a  $4^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas no habían empezado a brotar.

Debido al éxito que se observó en el primer experimento, se decidió realizar el segundo. En éste, la permanencia de las estaquillas a una temperatura de 4°C durante 7 días antes de su plantación hizo que se alcanzaran prendimientos cercanos al 40 %. Sin embargo, cuando las estaquillas se mantuvieron a una temperatura de 22°C durante el mismo tiempo, el porcentaje de prendimiento fue nulo (Figura 13 B).

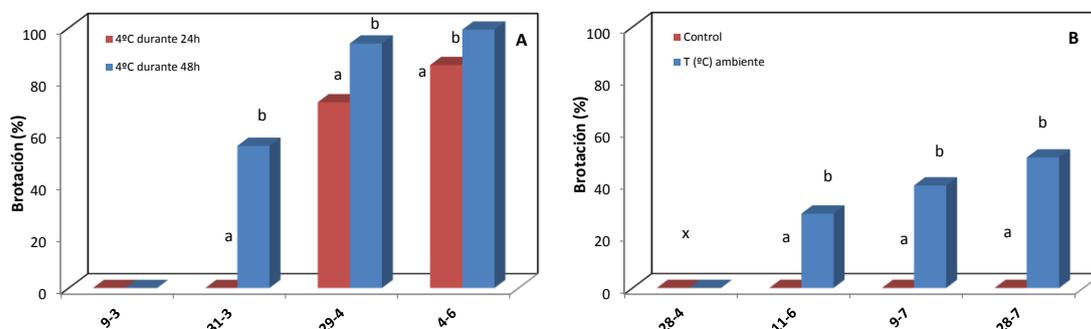


Figura 13. Evolución de la brotación en estaquillas sometidas a distintas temperaturas antes de su plantación. (A) 4°C y 22°C durante 7 días. (B) 4°C durante 24 y 48 horas. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Cuando las estaquillas se sometieron el doble de tiempo a bajas temperaturas (48 horas) el número de brotes por planta fue superior, alcanzándose diferencias significativas a las 6 semanas. Transcurridas 12 semanas las diferencias se redujeron debido a que se secaron algunos brotes de la zona superior de las estaquillas. Del mismo modo, la longitud total de los brotes fue superior en las estaquillas que se sometieron más tiempo a bajas temperaturas (Figura 14).

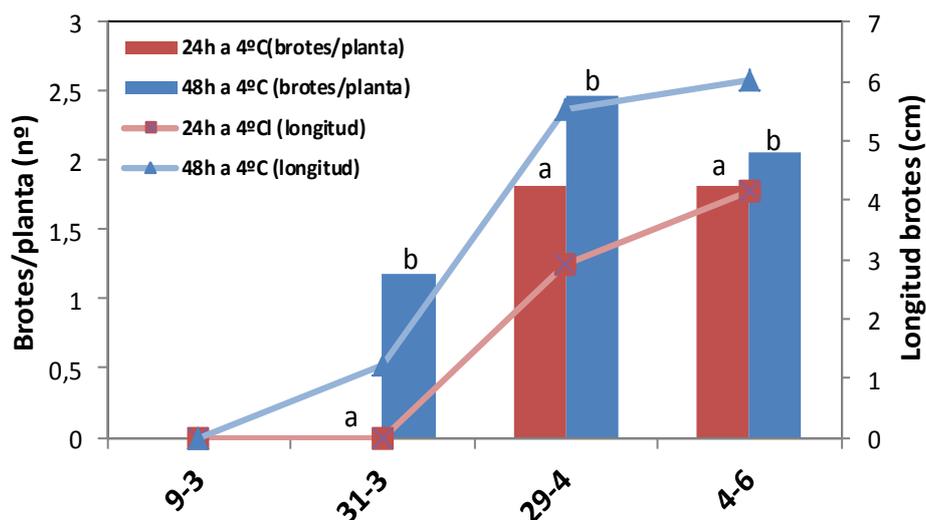


Figura 14. Evolución de la aparición de los brotes por planta y la longitud total de los brotes. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Las estaquillas que se mantuvieron durante menos tiempo a bajas temperaturas, brotaron en mayor proporción (24,5 % frente a 12,4 %) en el primer nudo por debajo de tierra (Figura 15). En cambio, en las estaquillas que fueron sometidas durante más tiempo a bajas temperaturas la brotación del primer nudo fue mayor (24,5 % frente a 17 %).

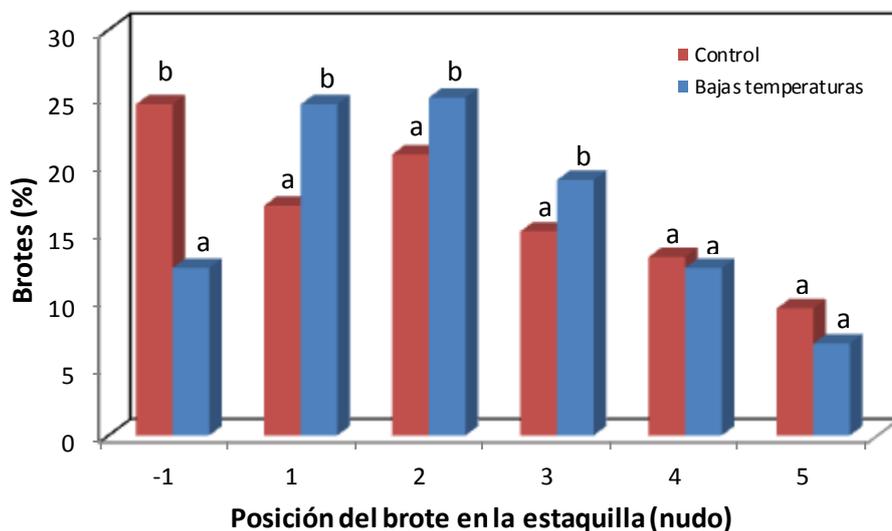


Figura 15. Porcentaje de brotes en función de su posición en la estaquilla (nudo) y el periodo de la aplicación de bajas temperaturas (4°C). Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas,  $P \leq 0.05$ .

Los resultados obtenidos están en la línea de los ensayos realizados por Dokoozlian y Williams (1995) con estaquillas de vid, recogidas en otoño antes de que bajaran las temperaturas. En efecto, las estaquillas sometidas durante 800 horas a una temperatura de 3°C brotaron antes que las que no se habían sometido a bajas temperaturas y, además, la brotación fue mucho más intensa. A idénticos resultados llegaron Laube *et al.* (2014) cuando sometieron estaquillas de 36 especies leñosas, en una cámara de cultivo, a bajas temperaturas. Estos autores encontraron que la falta de frío no sólo dio lugar a un retraso considerable en la brotación, sino que también provocó cambios sustanciales en el orden cronológico de brotación de las distintas especies estudiadas. Kliewer y Soleimani (1972) al introducir en cámaras de cultivo macetas de vid ‘Thompson Seedless’ y ‘Carignane’ durante 77 horas a 2°C, observaron que éstas brotaron antes y más intensamente.

Hausman *et al* (2000) estudiaron los cambios endógenos sufridos por estaquillas de chopo de tres meses sometidas durante dos semanas a una temperatura de 10°C. Encontraron que las estaquillas tuvieron tendencia a disminuir peso, a la vez que aumentaron las cadenas de polipéptidos de alto peso molecular, contenido en sacarosa y lignina.

## 5. Conclusiones

- La propagación vegetativa de *Capparis spinosa* (L.) con estaquillas duras (lignificadas) o semiduras (poco lignificadas) presenta un comportamiento similar y solo es viable con estaquillas tomadas en la posición basal de la rama o apical, si existe una yema activa. Cuando se realiza el estaquillado en la época más próxima a su brotación (marzo en las condiciones climáticas de Valencia), pueden alcanzarse prendimientos prácticamente el 100 %.
- Los nudos de las ramas de *Capparis spinosa* (L.) solamente poseen una única yema y ésta puede dar lugar a una única flor o a un brote mixto (hojas y flores) por nudo.
- Al comienzo de la brotación, las yemas de los primeros nudos de las ramas de *Capparis spinosa* (L.) permanecen latentes. A partir de un número determinado de nudos contados a partir de la base de las ramas, la totalidad de sus yemas dan lugar a una flor o a un brote mixto y, solamente en contadas excepciones se quedan latentes.
- La estaquillas tomadas a partir de un determinado número de nudos contados a partir de la base, como han consumido la única yema existente, no pueden brotar y hacen inviable su propagación vegetativa por estaquilla. Únicamente las yemas de las estaquillas, que de forma excepcional no han brotado en el momento del estaquillado hacen posible el prendimiento de las estaquillas.
- En las estaquillas duras apicales, la única yema presente es la terminal y está acaba secándose durante el invierno en la mayoría de los casos.
- En las estaquillas semiduras procedentes de la zona central de la rama pueden enraizar, pero no pueden brotar porque sus yemas ya han dado lugar a flores o brotes y no queda ninguna yema latente.
- El diámetro de las estaquillas influye en el porcentaje de prendimiento, tanto en las estaquillas duras como en las estaquillas suaves.
- La aplicación de Ácido indolbutírico, en general, da lugar a resultados erráticos. Sin embargo, su aplicación a estaquillas de menos de 3 mm de diámetro procedentes de brotes suaves tiene un efecto positivo para su enraizamiento.
- El tratamiento de las estaquillas con bajas temperaturas antes de su plantación mejora los resultados de prendimiento, adelantando la época de brotación, así como la cantidad y la longitud de los brotes.
- En el futuro convendría estudiar la composición en sacarosa, lignina y hormonas, en los distintos tipos de estaquillas y contrastar estos contenidos con el enraizamiento y brotación de los mismos.

## 6. Referencias

- AL-SAQRI F. y ALDERSON P.G. 1996. Effects of IBA, cuttings tipe and rooting media on rooting of *Rosa centifolia*. *Journal Horticulturae Science* 71 (5): 729-737.
- BARBERA G. y DI LORENZO R. 1984. The caper cultura in Italy. *Acta Horticulturae* 144: 167-171.
- BEN SALEM A.; ZEMNI H. y GHORBEL, A. 2001. Propagation caper (*Capparis spinosa* L.) by herbaceous cutting and in vitro culture. *Agricultura Mediterranea* 131: 42-48.
- BURGOS A.; CENOZ P. y PRAUSE J. 2009. Efecto de la aplicación de auxinas sobre el proceso de enraizamiento de estacas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Departamento de producción vegetal, Universidad Nacional del Nordeste.
- CAMACHO HUERTA M.Z. 2012. Caracterización estructural de metabolitos secundarios de *Capparis ovaliolia*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CAMACHO GARCIA A.; SPIEGELBERG SEOANE P.; RABADE RODRIGUEZ M. y LOPEZ PEREZ J. 2010. Anuario de Estadística de 2010. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Catálogo General de Publicaciones Oficiales. NIPO: 770-09-265-1.
- CASTRILLON J.; CARVAJAL E.; LIGARRETO G. y MAGNITSKIY S. 2008. El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) en diferentes sustratos. *Agronomía Colombiana* 26(1).
- COSTA R. y ROSSI M. 2005. "Alcaparras". Universidad del Cema.
- DHILLON W. y SARMA K.K. 1992. Effect of indolebutyric acid (IBA) on rooting of cutting in pomegranate. *Journal Research*. 29 (39. 350-354).
- DOKOOZLIAN N. K. y WILLIAMS, L. E. 1995. Chilling exposure and hydrogen cyanamide interact in breaking dormancy of grape buds. *HortScience* 30 (6): 1224-1247.
- DOMINGUEZ PIZARRO N. 2013. Estudio para la mejora de la propagación sexual de la alcaparra (*Capparis spinosa* L.). Universitat Politècnica de València.
- Hartman H.D.; Kester, D.E. and Davies, F.T. 1990. *Plant propagation. Principles and practices*, 5th ed. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ .
- Hartman H.D.; Kester D.E. and Davies, F.T. 2002. *Hartmann and Kester's. Plant Propagation. Principles and practices*. 7th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- HAUSMAN J.F.; EVERSS D.; THIELLEMENT H. y JOUVE L. 2000. Compared responses of poplar cuttings and In vitro raised shoots to short-term chilling treatments. *Plant Cell Reports* 19 (10) 954-960.
- HUANCA APAZA L. 2010. Métodos de reproducción asexual en plantas y su aplicación. Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.

- IMBERNÓN A. 2000. Mejora de las técnicas de propagación sexual y vegetativa de la alcaparra (*Capparis spinosa* L.). Trabajo fin de carrera, Universidad Politècnica de València.
- JIMENEZ SIERRA C. y MATIAS PALAFOX L. 2010. La sexualidad en las plantas. Revista Digital Universitaria. Volumen 11 Número 8 • ISSN: 1067-6079.
- JORDAN M. y CASARETTO J. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Fisiología Vegetal. Universidad de La Serena, Chile.
- KENNY L. 1995. Compte rendu de la journée d'étude sur le câprier et le cactus. In: *Le câprier (Capparis spinosa L.)*. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II: 12-28.
- KLIEWER W. M. y SOLEIMANI A. 1972. Effect of chilling on budbreak in 'Thompson seedless' and 'Carignane' grapevines. American Journal of Enology and Viticulture 23: 31-34.
- LEBRUN A.; TOUSSAINT A.N. y ROGGEMANS J. 1998. Description of *Syzygium paniculatum* Gaertn and its propagation by stem cuttings. *Scientia Horticulturae*, 75: 103-111.
- LIN Y.; WAGNER M. R. y COBBINAH J. R. 1997. Effect of bottom heat, IBA dipping Duration, and wounding on rooting of stem cuttings of *Milicia excels*. *Horticulture Technology* 7: 68-70.
- LLUNA DUVAL R. 2006. Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo. *Industria Hortícola*.
- LOACH K. J. 1983. Hormone applications and adventitious root formation in cuttings. A critical review. *Acta Horticulture* 227: 126-133.
- LÓPEZ F.J. y JORDÁN M<sup>a</sup> J. 2005. Reproducción vegetativa de tomillo rojo (*Thymus zygis* Subsp. *Gracilis*) mediante el empleo de fitohormonas. *Agrícola vergel* (276): 615-618.
- LAUBE J.; SPARKS T.H.; ESTRELLA N.; HÖFLER J.; ANKERST D. P. y MENZEL, A. 2014. Chilling outweighs photoperiod in preventing precocious spring development. *Global Change Biology* 20: 170-182.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino). 2011. SIGPAC 5.6.1. Madrid, España, Junio 2011.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino). 2010. Anuario de estadística 2010. Madrid, España, Junio 2014.
- MELGAREJO P. y SALAZAR D. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el nopal, Mundi-Prensa, Madrid.
- MOREIRAS O.; CARBAJAS A.; CABRERA L. y CUADRAD C. 2013. Tabla de composición de alimentos. Editorial Pirámide (16<sup>º</sup> ed. revisada y ampliada).
- MORENO A. 2000. Propagación vegetativa de la alcaparra (*Capparis spinosa*, L.). Trabajo final de carrera, Universitat Politècnica de València.
- PANZAS L. 2013. Conservas, embutidos y encurtidos. Blog de cocina. [www.blogspotcocina.es](http://www.blogspotcocina.es)

- PASCUAL B.; SAN BAUSTISTA A.; FERREROS N.; LOPEZ-GALARZA S. y 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 B.; SAN BAUSTISTA A.; IMBERNON A.; LOPEZ -GALARZA S.; ALARGADA 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.; PASCUAL-SEVA N.; GARCÍA-MOLINA R.; LOPEZ-GALARZA S y MAROTO J.V. 2007. Estudio del enraizamiento de estaquillas de madera suave en alcaparra (*Capparis spinosa*, L.). Departamento de Produccion Vegetal, Universitat Politècnica de València.
- PASCUAL B.; SAN BAUTISTA A.; PASCUAL-SEVA N.; GARCIA MOLINA R.; LOPEZ-GALARZA S. y MARORO J. V. 2009. Effects of soaking period and gibberellic acid addition on caper seed germination. *Seed Science and Technology*, 37(1): 33-41.
- PASCUAL-SEVA N.; SAN BAUTISTA A.; LOPEZ-GALARZA S.; MAROTO J. V. y 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.
- PILONE N. 1990. Variazione del potenziale rizogeno naturale nel capper. *L'Informatore Agrario* 46 (13): 69-70.
- RECHE MARMOL J. 1967. Cultivo de la alcaparra o tapenera. Ministerio de agricultura.
- SALEM B.; ZEMNI, H. y GHORBEL, A. 2001. Propagation of Caper (*Capparis spinosa* L.) by herbaceous cuttings and in vitro culture. *Agricultura Mediterranea* Vol. 131. 42-48.
- SCHMILEWSKI G. 2009. SUSTRATOS DE CULTIVO. Composición y tipo de empleo determinan su calidad. Germany.
- SOSPEDRA CARDONA, S. 2005. Estudio de la propagación vegetativa de la alcaparra. Trabajo Final de Carrera, Universitat Politècnica de València.
- SUAREZ D. y MELGAREJO L. 2012. Biología y germinación de semillas. Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal, Departamento de biología, Universidad Nacional de Colombia.
- SULEIMAN KHALIL M.; RAMACHANDRA BHAT N.; SHEENA J. y RACHEL TOMAS R. 2012. Effect of Rooting Hormones (IBA and NAA) on Rooting of Semi Hardwood Cuttings of *Capparis spinosa*. *Journal of Agriculture and Biodiversity Research*. ISSN 2277-0836; Volume 1, Issue 7, pp. 135-139
- TANSI S., 1999. Propagation methods for Caper (*Capparis spinosa*, L) seeds. *Agriulture Mediterranea*, 23: 45-49.
- UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (UN-COMTRADE) 2010. Commodity Trade Statistics Database.

XU X.Y.; MENG X.D.; GOU X. M.; WANG Y.X.; YIN W.L. y WANG HF. 2004. Hardwood cutting of four wild shrubs. *Journal of Northeast Forestry University* 32 (6): 60-63.

ZARZA R. 2003. Estudio para la mejora de la propagación de la alcaparra (*Capparis spinosa* L.). Trabajo fin carrera, Universidad Politècnica de València.