



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES**

TITULACIÓN DE INGENIERO AGRÓNOMO

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL PARTENOCÁRPICO DE DIFERENTES
VARIETADES DE CALABACÍN (*Cucurbita pepo* L.), Y SU RELACIÓN
CON LA PRODUCCIÓN DE ETILENO.**

ALUMNO:

Encarnación Aguado Donaire

DIRECTORES:

Dr. D. Manuel Jamilena Quesada

Dra. Dña. Susana Manzano Medina

ALMERÍA, JUNIO DE 2014



ÍNDICE

ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
1. INTERÉS Y OBJETIVOS.....	1
1.1. Importancia del cultivo de calabacín.....	2
1.1.1. Situación mundial.....	2
1.1.2. Situación en España y Andalucía.....	6
1.2. INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. Características de la especie, <i>Cucurbita pepo</i>	13
2.1.1. Origen y utilización.....	13
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	14
2.1.3. Descripción morfológica.....	17
2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos.....	20
2.2. DIFERENCIACIÓN FLORAL Y CONTROL DEL SEXO EN CALABACÍN.....	23
2.2.1. Floración.....	23
2.2.2. Expresión sexual.....	24
2.2.3. Factores que afectan a la expresión sexual.....	25
2.3. Fructificación en <i>Cucurbita pepo</i>	28
2.3.1. La polinización y cuajado del fruto.....	28
2.3.2. Crecimiento del fruto.....	30
2.3.3. Regulación hormonal del crecimiento del fruto de calabacín.....	32
2.3.3.1. Implicación del etileno en el cuajado y desarrollo del calabacín.....	33
2.4. Partenocarpia.....	34
2.4.1. Introducción.....	34
2.4.2. Factores que intervienen en la partenocarpia.....	35
2.4.2.1. Factores ambientales.....	35



Índice

2.4.2.2. Factores hormonales implicados en la partenocarpia.....	36
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	37
3.1. Introducción.....	38
3.2. Emplazamiento del ensayo.....	38
3.3. Material vegetal.....	39
3.3.1. Variedad comercial de calabacín.....	40
3.3.2. Variedades locales de calabacín.....	41
3.4. Instalaciones.....	42
3.4.1. Invernadero.....	42
3.4.2. Suelo.....	42
3.4.3. Sistema de riego.....	42
3.5. Manejo del cultivo.....	42
3.5.1. Siembra.....	43
3.5.2. Entutorado.....	44
3.5.3. Cuidados, poda y limpieza de las plantas.....	44
3.5.4. Tratamientos fitosanitarios.....	44
3.5.5. Fertilización.....	45
3.5.6. Polinización.....	45
3.6. Toma de datos y análisis estadístico.....	46
3.6.1. Caracterización de las diferentes variedades de <i>C. pepo</i> expuestas a estudio....	46
3.6.2. Caracterización de la expresión sexual y toma de datos.....	46
3.6.3. Caracterización del potencial partenocárpico.....	47
3.6.4. Relación entre el potencial partenocárpico y la producción de etileno del fruto.....	47
3.6.5. Análisis estadístico.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1. Caracterización morfológica de las variedades tradicionales de <i>Cucurbita pepo</i>	53
4.2. Caracterización fenotípica de la expresión sexual en diferentes variedades tradicionales de calabacín.....	62
4.2.1. Análisis de la expresión sexual.....	63
4.2.1.1. Distribución de flores masculinas y femeninas.....	63



Índice

4.2.1.2. Comparación de la precocidad y la producción de flores femeninas.....	65
4.3. Análisis del nivel de partenocarpia de diferentes variedades de calabacín (<i>Cucurbita pepo</i>).....	68
4.3.1. Evolución de la longitud de los frutos partenocárpicos.....	69
4.3.2. Evolución de los diámetros apical y basal.....	71
4.4. Comparación del incremento del tamaño de los frutos no polinizados y polinizados de diferentes variedades de calabacín.....	74
4.4.1. Longitud de los frutos.....	76
4.4.2. Diámetros de los frutos.....	78
4.5. Comparación de la producción de etileno en los frutos polinizados y no polinizados de diferentes variedades de calabacín.....	84
4.6. Correlación entre el crecimiento partenocárpico del fruto y su producción de etileno.....	88
5. CONCLUSIONES.....	91
6. BIBLIOGRAFÍA.....	93



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales 20 países productores de calabaza y calabacín en el Mundo (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).....	3
Figura 2. Principales 10 países productores de calabaza y calabacín en la Unión Europea (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).....	4
Figura 3. Principales 10 países exportadores de calabaza y calabacín a nivel mundial (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).....	5
Figura 4. Principales 10 países importadores de calabaza y calabacín a nivel mundial (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).....	5
Figura 5. Principales 5 Comunidades Autónomas con mayor superficie destinada al cultivo del calabacín (Elaboración .propia a partir de M.A.G.R.A.M.A. 2013).....	6
Figura 6. Principales 5 Comunidades Autónomas con mayor producción destinada al cultivo del calabacín (Elaboración propia a partir de M.A.G.R.A.M.A. 2013).....	7
Figura 7. Distribución de la superficie de los principales hortícolas en Almería (Elaboración propia a partir de JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).....	8
Figura 8. Producción de las principales hortícolas en Almería (Elaboración propia a partir de JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).....	9
Figura 9. Morfotipos de <i>C. pepo</i> ssp. <i>pepo</i> . 1: Acorn, 2: Crookneck, 3: Scallop, 4: Cocozelle, 5: Pumpkin, 6: Straightneck, 7: Vegetable Marrow, 6: Zucchini.....	16
Figura 10. Flor femenina de <i>Cucurbita pepo</i>	19
Figura 11. Flor masculina de <i>Cucurbita pepo</i>	19
Figura 12. Diagrama de una planta monoica de calabacín mostrando la disposición de flores masculinas y femeninas en el tallo principal (Peñaranda et al. 2007).....	25
Figura 13. Factores ambientales y hormonales que regulan la determinación del sexo y la expresión sexual en las Cucurbitáceas (Martínez, 2013).....	27



Índice de figuras

Figura 14. Localización de la finca UAL-ANECOOP. Fuente: Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).....	38
Figura 15. Vía de acceso al invernadero de ensayo. Fuente: Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).....	39
Figura 16. Variedad <i>Cronos</i>	40
Figura 17. Variedades. 1: <i>CpCAL097</i> , 2: <i>CpCAL117</i> , 3: <i>CpCAL005</i> , 4: <i>CpCAL058</i> , 5: <i>CpCAL044</i> , 6: <i>CpCAL003</i> , 7: <i>CpCAL112</i>	41
Figura 18. Esquema de la distribución de las diferentes variedades cultivadas en el invernadero.....	43
Figura 19. Polinización manual.....	45
Figura 20. Marcaje de la flor femenina.....	48
Figura 21. Flores dentro del bote hermético de plástico utilizado para medir etileno que desprendían las muestras.....	49
Figura 22. Muestra cómo se extraía el etileno del bote y se introducía en el cromatógrafo de gases.....	50
Figura 23. Balanza de precisión.....	50
Figura 24. Calibre electrónico.....	51
Figura 25. Expresión sexual de calabacín. Se observan 8 nudos masculinos iniciales, 6 nudos que representan la fase intermedia y por último 10 nudos que representan la fase femenina.....	62
Figura 26. Caracterización de la expresión sexual de las variedades de calabacín en las condiciones ambientales primavera- verano. Cada una de las barras representa el porcentaje de flores masculinas (azul) y femeninas (verde) en cada uno de los nudos de 10 plantas de la misma variedad.....	64
Figura 27. Precocidad de la floración femenina en diferentes variedades de <i>C. pepo</i> . Cada una de las barras indica el número medio de nudos hasta la aparición de la primera flor femenina. Las barras de error indican el error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre las variedades estudiadas (test LSD, $p < 0.05$).....	66



Índice de figuras

- Figura 28. Número medio de flores femeninas por planta en diferentes variedades de *C. pepo*. Cada una de las barras indica el número medio de flores femeninas a lo largo de los 20 primeros nudos de la planta. Las barras de error indican el error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre variedades (test LSD $p < 0.05$).....67
- Figura 29. Comparación del crecimiento en longitud de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a las 1, 3, 5 y 7 DPA.....69
- Figura 30. Comparación del crecimiento del diámetro apical de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a las 1, 3, 5 y 7 DPA.....72
- Figura 31. Comparación del crecimiento del diámetro basal de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a las 1, 3, 5 y 7 DPA.....73
- Figura 32. Morfología y tamaño de los frutos polinizados y no polinizados de las variedades; *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003*, *CpCAL112* y *Cronos*. 1: flor en antesis. 2: fruto no polinizado a los 3 DPA. 3: fruto no polinizado a los 5 DPA. 4: fruto polinizado a los 3 DPA. 5: fruto polinizado a los 5 DPA.....75
- Figura 33. Comparación del incremento en longitud entre los frutos polinizados y no polinizados, a los 3 y 5 DPA, dentro de una misma variedad. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados y no polinizados en una misma variedad.....77
- Figura 34. Comparación del incremento del diámetro apical entre los frutos polinizados y no polinizados, a los 3 y 5 DPA, dentro de una misma variedad. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados y no polinizados en una misma variedad.....80
- Figura 35. Comparación del incremento del diámetro basal entre los frutos polinizados y no polinizados, a los 3 y 5 DPA, dentro de una misma variedad. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados y no polinizados en una misma variedad.....82



Índice de figuras

- Figura 36. Cada gráfica representa el etileno desprendido de los frutos polinizados y no polinizados de las variedades. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) para frutos con el mismo tiempo (días 0, 3 y 5).....85
- Figura 37. Producción de etileno en los frutos polinizados y no polinizados de 6 variedades de calabacín a los 3 DPA. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados o no polinizados de las diferentes variedades.....87
- Figura 38. Regresión del incremento de la longitud de los frutos a los 3 DPA sobre la producción de etileno en frutos no polinizados a los 3 DPA de seis variedades de calabacín. El análisis de regresión lineal ($R = -0,6529$, $p = 0,0033$) indican una relación moderadamente fuerte entre las variables con un nivel de significación del 95%. Las barras horizontales y verticales representan el error estándar para el incremento de la longitud y la producción de etileno, respectivamente, en cada variedad.....89
- Figura 39. Regresión del incremento de la longitud de los frutos a los 5 DPA sobre la producción de etileno a los 3 DPA en seis variedades de calabacín. El análisis de regresión lineal ($R = -0,5175$, $p = 0,0278$) indican una relación moderadamente fuerte entre las variables con un nivel de significación del 95%. Las barras horizontales y verticales representan el error estándar para el incremento del peso y la producción de etileno, respectivamente, en cada variedad.....89



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de la producción de calabacín en Andalucía (Elaboración propia a partir de JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).....	7
Tabla 2. Temperaturas críticas para calabacín en las distintas fases de desarrollo.....	21
Tabla 3. Comparación de la longitud media de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (<i>Cucurbita pepo</i>) en antesis y a los 1, 3, 5 y 7 DPA.....	70
Tabla 4. Comparación del diámetro apical medio de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (<i>Cucurbita pepo</i>) en antesis y a los 1, 3, 5 y 7 DPA.....	72
Tabla 5. Comparación del diámetro basal medio de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (<i>Cucurbita pepo</i>) en antesis y a los 1, 3, 5 y 7 DPA.....	73



1. INTERÉS Y OBJETIVOS



1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CALABACÍN.

El calabacín (*Cucurbita pepo* spp. *pepo*), pertenece al género *Cucurbita*, uno de los géneros cultivados más importantes económicamente (Decker, 1988). También es de las especies más polimórficas, lo que se manifiesta especialmente en sus frutos (tamaño, forma, color, patrón de coloración, textura, etc.) y en sus características vegetativas (hábitos de crecimiento, longitud y grosor de los entrenudos, tamaño de las hojas, etc.).

1.1.1. Situación mundial.

A nivel mundial, según la base de datos estadísticos de la F.A.O, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; en el año 2011 los principales países productores de calabazas, calabacines y calabazas dulces fueron China (6.965.200 t); China Continental (6.905.000 t), India (4.695.542 t) seguida muy por debajo de la Federación de Rusia (1.175.890 t).

En la figura 1 podemos visualizar que países son los mayores productores a nivel mundial, encontrándose España en el onceavo puesto, con una producción de 393.100 T en el año 2011 (F.A.O, 2013).

Interés y objetivos

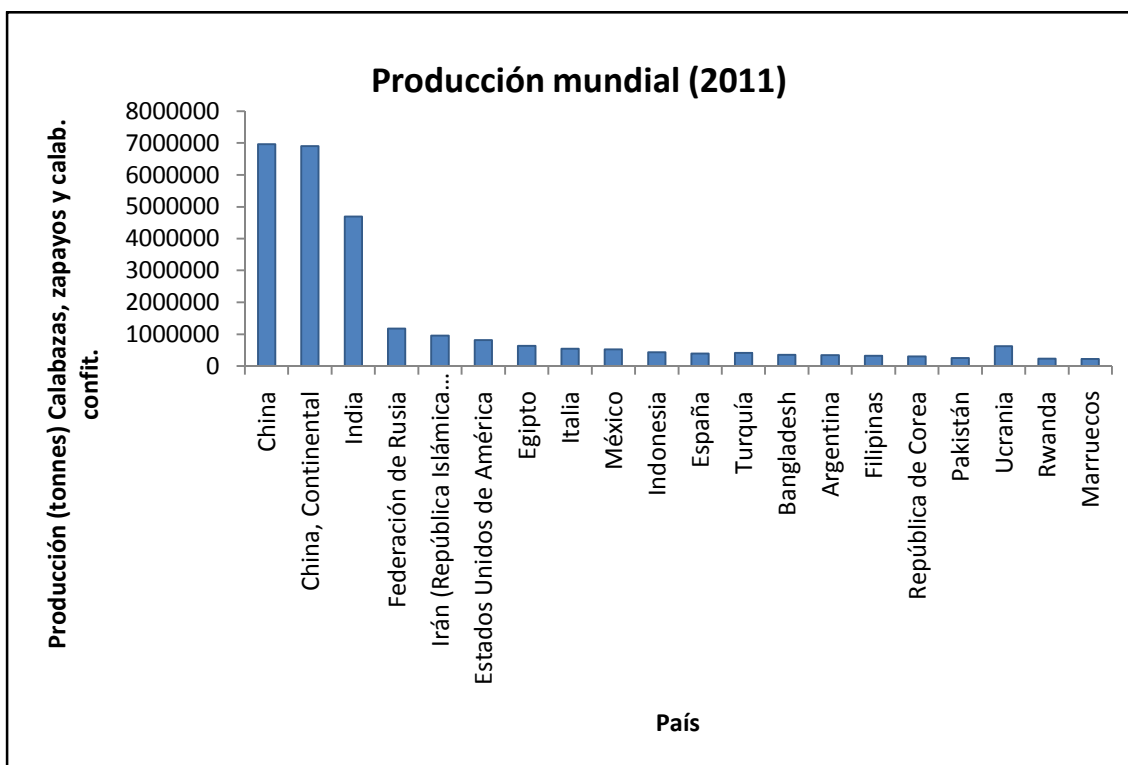


Figura 1. Principales 20 países productores de calabaza y calabacín en el Mundo (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).

En el ámbito de la Unión Europea España se sitúa en cuarta posición, alcanzando una producción de 393.100 t en el año 2011. Siendo la Federación de Rusia el país más productor (1.175.890 t), seguido de Ucrania (626.900 t) e Italia (538.534 t) respectivamente (F.A.O., 2012) (Figura 2).

Interés y objetivos

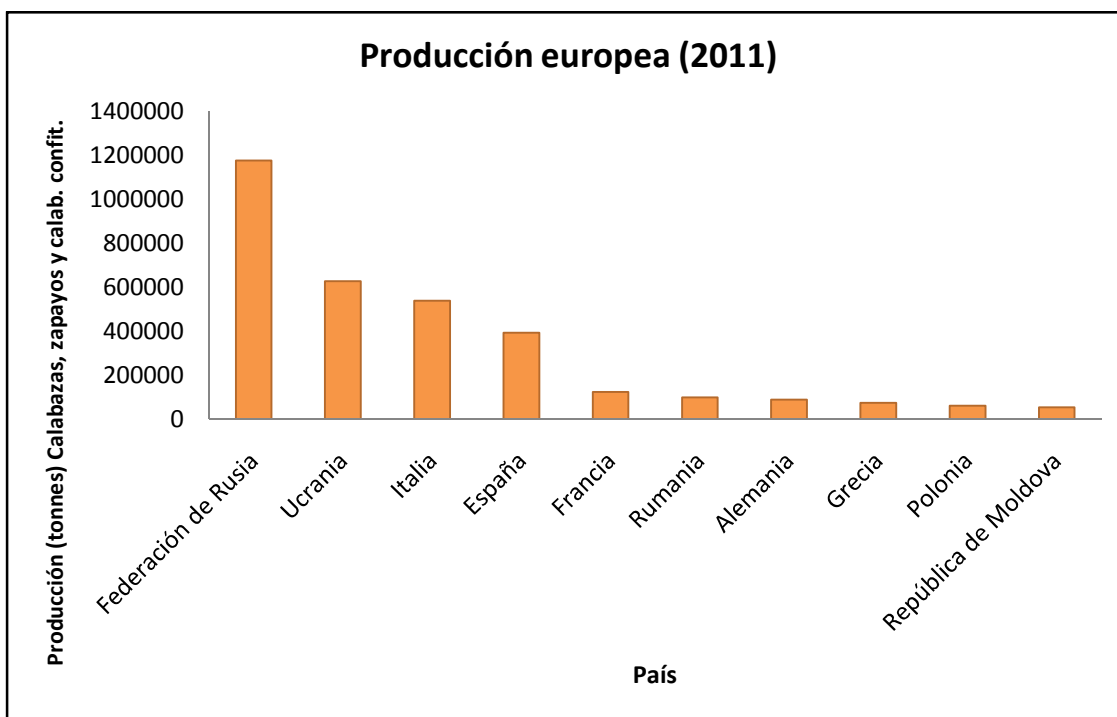


Figura 2. Principales 10 países productores de calabaza y calabacín en la Unión Europea (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).

En exportación mundial, según datos de la F.A.O (2013), España se situó a la cabeza con 270.919 t en 2011, seguida, a bastante diferencia, de Nueva Zelanda (86.782 t), México (48.994 t) y Marruecos (41.792 t) (Figura 3). Los principales países importadores son Estados Unidos (365.519 t), Francia (143.257 t), Japón (114.574 t) y Alemania (69.405 t) (Figura 4).

Interés y objetivos



Figura 3. Principales 10 países exportadores de calabaza y calabacín a nivel mundial (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).

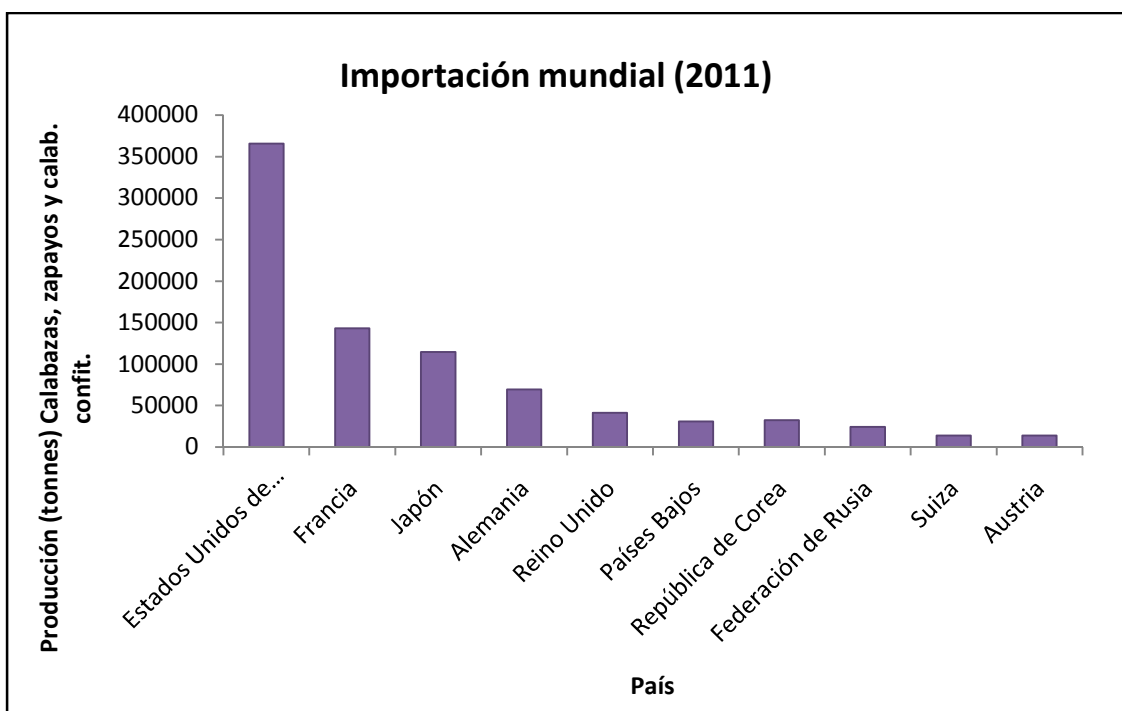


Figura 4. Principales 10 países importadores de calabaza y calabacín a nivel mundial (Elaboración propia a partir de F.A.O, 2013).

Interés y objetivos

1.1.2. Situación en España y Andalucía.

En España se cultivan unas 9.158ha de calabacín (*Cucurbita pepo* L.), dando lugar a una producción total de unas 469.946 T según datos del año 2012 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (M.A.G.R.A.MA, 2013)

Si estudiamos las producciones en España por Comunidades Autónomas, en Andalucía es donde se concentra la mayor superficie, con un total 7.013 ha (5.323 ha en invernadero), que dan lugar a una producción de 399.788 t (346.400 t obtenidas en invernadero) (M.A.G.R.A.M.A, 2013) (Figura 5). Estas cifras representan el 77% de la superficie y 85% de la producción de calabacín nacional en España.

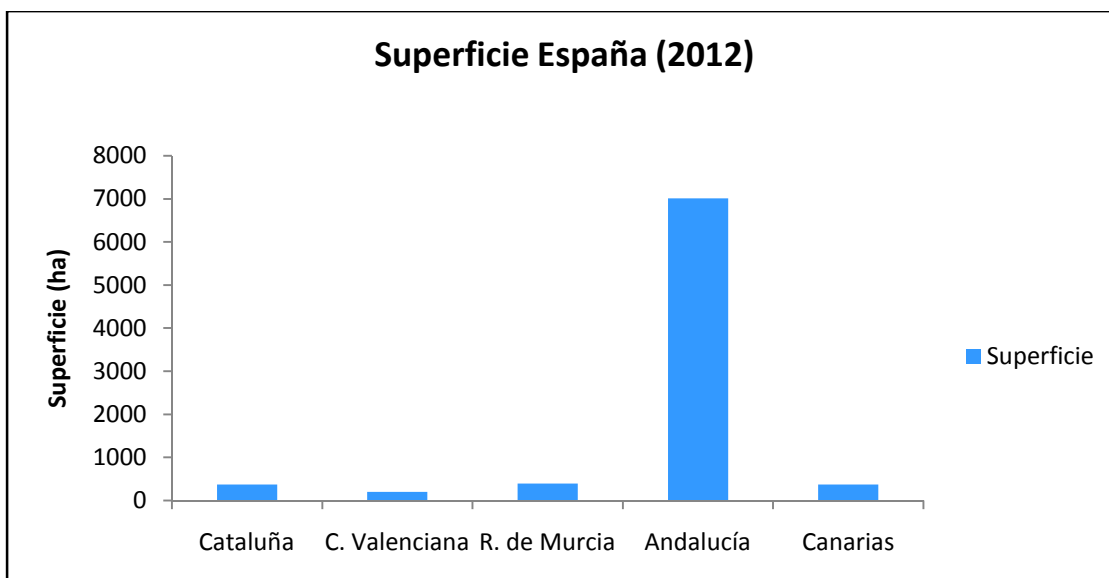


Figura 5. Principales 5 Comunidades Autónomas con mayor superficie destinada al cultivo del calabacín (Elaboración propia a partir de M.A.G.R.A.M.A. 2013).

Interés y objetivos

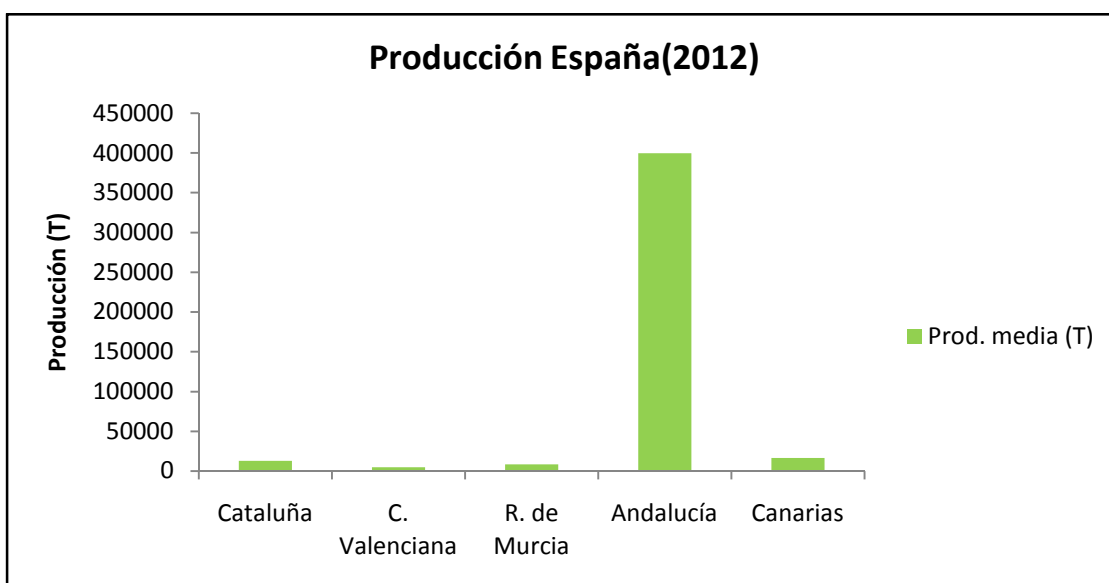


Figura 6. Principales 5 Comunidades Autónomas con mayor producción destinada al cultivo del calabacín (Elaboración propia a partir de M.A.G.R.A.M.A. 2013).

Dentro de la Comunidad Andaluza, Almería es la provincia líder en este cultivo, con una superficie total de 5.167 ha que dan una producción de 333.358 t.

	Invernadero		Aire libre	
	Superficie (ha)	Producción (t)	Superficie (ha)	Producción (t)
Almería	5033	328877	134	4481
Granada	60	4022	232	6955
Málaga	166	10647	0	0
Jaén	0	0	0	0
Córdoba	0	0	101	3618
Sevilla	48	2465	53	1598
Cádiz	16	1892	204	7921
Huelva	0	0	20	531

Tabla 1. Distribución de la producción de calabacín en Andalucía (Elaboración propia a partir de JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).

Interés y objetivos

El cultivo de calabacín está dentro del grupo de los hortícolas más importantes de la provincia de Almería, ocupando el tercer lugar tras el tomate y el pimiento (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013). (Figura 7 y 8).

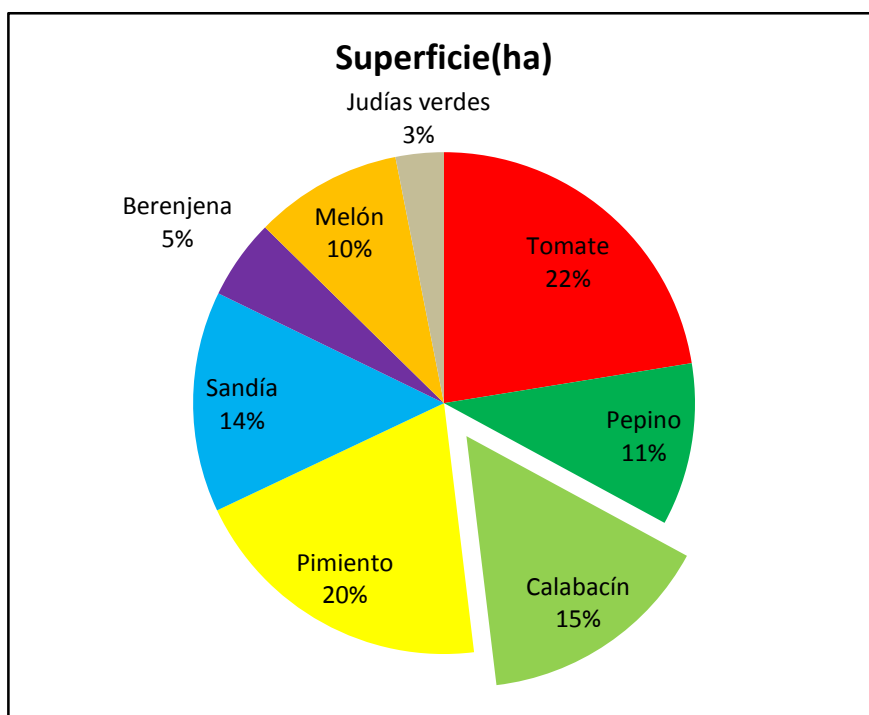


Figura 7. Distribución de la superficie de los principales hortícolas en Almería (Elaboración propia a partir de JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).

Interés y objetivos

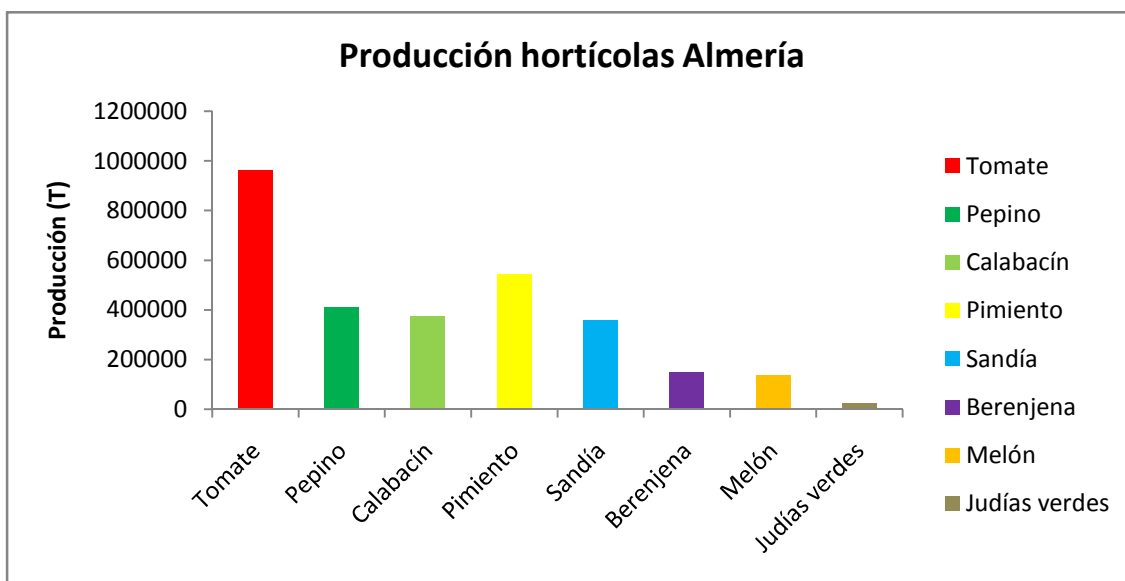


Figura 8. Producción de las principales hortícolas en Almería (Elaboración propia a partir de JUNTA DE ANDALUCÍA, 2013).

Finalmente, podemos concluir que el cultivo del calabacín es uno de los más importantes en la provincia de Almería, además de ser ésta la provincia líder de la producción española y europea.

1.2. INTERÉS DE LA INVESTIGACIÓN.

La determinación del sexo en cucurbitáceas está regulada por la interacción de factores ambientales, genéticos y hormonales (Diggle et al. 2011; Grumet and Taft, 2012). La expresión sexual en cucurbitáceas, es decir, el número de flores masculinas y femeninas por planta, está regulado por diferentes factores ambientales. Condiciones de invierno con días cortos, baja intensidad lumínica y bajas temperaturas nocturnas, promueven la producción de flores femeninas, mientras que condiciones de verano son capaces de inducir la producción de flores macho (Rudich et al. 1972; Wien, 2002; Peñaranda et al. 2007). En la temporada de invierno, la polinización natural está muy limitada, bajo estas condiciones desfavorables se reduce no solo el número de flores masculinas por planta sino también la actividad de los insectos polinizadores (Martínez, 2013). En el periodo estival se dan temperaturas altas en el interior de la colmena, los insectos no vuelan. En los días muy calurosos solo salen durante las primeras y últimas horas del día. Los insectos, abejas y abejorros, son activos a temperaturas comprendidas entre los 10 y 30 °C. La función de polinización es óptima entre 15 y 25°C. En la



Interés y objetivos

actualidad, este problema se soluciona induciendo el cuajado y crecimiento del fruto mediante la aplicación de auxinas sintéticas. La partenocarpia natural es una solución mucho más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, habiéndose convertido en un carácter prioritario en los actuales programas de mejora de calabacín.

La mejora de variedades comerciales partenocárpicas podría ser una solución sostenible para cultivos de calabacín en invernadero. La partenocarpia natural permite el desarrollo del fruto sin la fertilización de los óvulos. La principal ventaja de la partenocarpia es la producción de frutas en ausencia de polinización y fertilización.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Con el objetivo de lograr producciones de una calidad certificable y reconocible, los avances en los estudios de partenocarpia en *Cucurbita pepo* deben dirigirse a consolidar nuevas variedades, alcanzando un modelo productivo racional en el uso de recursos y respetuoso con el medio ambiente. En los últimos años se ha puesto de manifiesto una preocupación, cada vez mayor, por el consumo de productos de mayor calidad y seguros para la alimentación (Pérez et al. 2010).

Las producciones de calabacín en condiciones protegidas requieren de variedades competitivas, muchas de las cuales están siendo desarrolladas por empresas multinacionales de semillas en estaciones experimentales asentadas en Almería. Además, de resistencias a plagas y enfermedades, dos de los caracteres prioritarios en los programas de mejora genética de calabacín son la expresión sexual y la partenocarpia. A la vez que se desarrollan variedades cada vez más partenocárpicas, que no requieren de polinizadores para el cuajado y crecimiento del fruto en el cultivo fuera de temporada, se está incrementando el potencial ginoico de estas variedades. Hasta el momento, sin embargo, el éxito de estos programas ha sido parcial.

La capacidad partenocárpica varía entre variedades de una misma especie. Sin embargo, son muchos los factores que condicionan la partenocarpia, tanto de origen endógeno como exógeno. En este proyecto nos proponemos analizar el potencial partenocárpico de diferentes variedades, una comercial y las demás locales, de calabacín.



Interés y objetivos

Además de su relación con la producción de etileno en los ovarios durante los días inmediatamente después de la antesis. Los objetivos específicos que nos hemos planteado han sido los siguientes:

PRIMERO. Determinar la expresión sexual en las diferentes variedades de calabacín, estudiando la distribución de las flores masculinas y femeninas a lo largo del eje principal en cada una de las variedades.

SEGUNDO. Analizar el grado de partenocarpia natural de diferentes variedades tradicionales y una comercial de *C. pepo*, examinando la evolución en el crecimiento longitudinal y transversal de sus frutos bajo las condiciones de cultivo de primavera- verano de la provincia de Almería. Se identificarán métodos para discriminar la partenocarpia de las variedades bajo estudio.

TERCERO. Estudiar la implicación del etileno producido por el ovario durante los días posteriores a la antesis con el crecimiento partenocárpico del fruto, además la correlación entre la producción de etileno y el incremento de longitud de los frutos de cada una de las variedades.



2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.



2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE, *Cucurbita pepo*.

El género *Cucurbita* es el de mayor variabilidad morfológica y genética de la familia *Cucurbitaceae*, y está compuesto por veintidós especies salvajes y cinco especies cultivadas (Decker, 1998). Las especies cultivadas son *C. pepo*, *C. moschata*, *C. maxima*, *C. ficifolia* y *C. argyrosperma* (Nee, 1990), siendo las tres primeras, *C. pepo*, *C. moschata* y *C. maxima*, las más importantes económicamente y las más ampliamente distribuidas.

2.1.1. Origen y utilización.

Los registros arqueológicos de *C. pepo* son los más antiguos que se conocen de especies domesticadas del género *Cucurbita*, atribuyéndoseles una antigüedad de casi 10.000 años a restos de semillas y pedúnculos pertenecientes a frutos cultivados de *C. pepo* encontrados en Oaxaca (México) (Smith, 1997). Se han encontrado restos arqueológicos que evidencian la domesticación de esta especie hace unos 4.000 años en tres zonas de América del Norte, sur y noreste de México y este de Estados Unidos (Decker, 1998).

Cucurbita es un género americano, caracterizado por sus hojas grandes palmeadas, por sus flores amarillo- anaranjadas productoras de néctar y polinizadas por abejas, y por sus frutos grandes, duros, esféricos e indehiscentes. La mayoría de las especies de este género son mesófitas, con sistemas radiculares fibrosos y monoicas (Paris, 2001; Nee, 1990). *C. pepo* es la especie cultivada con mayor importancia económica a nivel mundial del género *Cucurbita*, así como la más polimórfica. Este polimorfismo se manifiesta especialmente en sus frutos (tamaño, forma, color, patrón de coloración, textura, etc.), pero también en sus características vegetativas (hábito de crecimiento, longitud y grosor de los entrenudos, tamaño de las hojas, etc.).

El principal uso del calabacín es el gastronómico, siendo su ovario inmaduro la parte más utilizada en la cocina, aunque su flor y semillas son cada día más valoradas como aderezo culinario.

El calabacín está compuesto por un gran número de aminoácidos, entre los que destacan la alanina, arginina, glicina, lisina y cisteína, responsables de las numerosas



Revisión bibliográfica

propiedades medicinales como vermífugas, antipiréticas, mejora el sistema inmunológico y otras muchas más.

Otro de los actuales usos del calabacín, según la Asociación Española de Acuarófilos es como alimento para una serie de especies de peces que necesitan dieta vegetal, como los Ancistrus.

El calabacín es rico en niacina (Vitamina A) y tiamina (vitamina B) pero sobre todo hay que mencionar la abundancia de ácidos entre sus componentes, sobre todo linoleico, aspártico y salicílico y están abriendo una puerta a nuevos usos de esta especie.

2.1.2. Clasificación taxonómica.

De forma esquemática puede resumirse la clasificación taxonómica del calabacín de la siguiente forma:

Nombre científico: *Cucurbita pepo* L.

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Dilleniidae*

Orden: *Cucurbitales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Subfamilia: *Cucurbitoideae*

Género: *Cucurbita*

Especie: *Cucurbita pepo*

Existen ocho variedades botánicas o morfotipos comestibles diferentes de *C. pepo* clasificadas en función de la morfología de sus frutos y confirmado por análisis con marcadores moleculares (París, 1989; Paris et al. 2003; París and Janick, 2005). Estas ocho



Revisión bibliográfica

variedades son Pumpkin, Vegetable Marrow, Cocozelle y Zucchini, pertenecientes a *C. pepo* spp. *pepo*; y Scallop, Arcorn, Crookneck y Straightneck de la subespecie *ovifera*.

- Acorn (*C. pepo* L. var. *turbinata* París): Son plantas tanto arbustivas como rastreras, con frutos ovoides o cónicos, agudos en el ápice y longitudinalmente costado-acanalados, con 10 surcos profundos. La cáscara es suave, por lo que sus frutos pueden ser consumidos en estado maduro.

- Cocozelle (*C. pepo* L. var. *Longa* Paris): Son largos y bulbosos en el extremo distal, con un ratio longitud/anchura superior a 3,5.

- Crookneck (*C. pepo* L. var. *torticollia* Alefeld): Es una planta de crecimiento arbustivo, con frutos de color amarillo, dorado o blanco, claviforme y curvado en el extremo apical, generalmente de cáscara verrugosa. Se consumen inmaduros puesto que la cáscara y la pulpa se endurece en la madurez.

- Pumpkin (*C. pepo* L. var. *pepo* Bailey): es una planta anual, herbácea, vivaz, de tallos flexibles y trepadores. Tiene hojas de gran tamaño y con abundante vello en las hojas y tallos. Las flores son amarillas, monoicas. El fruto es una baya llamada pepónide; presenta polimorfismo. La pulpa es de color amarillo-anaranjado, densa, de textura firme y de sabor dulce. Contiene en su interior numerosas semillas ovales, lisas, de 2 a 3 cm de largo, las cuales a su vez contienen una pulpa blanca y comestible.

- Scallop (*C. pepo* L. var. *Clypeata* Alefeld): Sus frutos son aplastados, lignificados, generalmente discoidales y con márgenes festoneados. Actualmente, los colores amarillos son preferidos a los blancos o verdes pálidos y se consumen en estado inmaduro.

- Straightneck (*C. pepo* L. var. *reticollis* Paris): Se caracteriza por tener frutos cilíndricos, amarillentos, verrugosos y ensanchados en el extremo distal, con un cuello corto y estrecho en el extremo peduncular.

- Vegetable Marrow (*C. pepo* L. var. *fastigata* Paris): Posee hábito tanto rastrero como subarbustivo y frutos cortamente cilíndricos, con la cáscara lisa, endurecida y engrosada

Revisión bibliográfica

al madurar y de color variable desde crema hasta verde oscuro. Es muy común en Oriente Medio y en el Norte de África.

- Zucchini (*C. pepo* L. var. *cilíndrica* Paris): Es el grupo de cultivares comerciales más común en la actualidad. Es una planta herbácea anual y rastrera que puede llegar a los 10m de longitud. Sus tallos son acanalados y de aspecto áspero y sarmentoso, hojas pubescentes, lobuladas y acorazonadas. Las flores son grandes, amarillas y unisexuales que dan lugar a frutos oblongos, que varían mucho en tamaño según la variedad. La cáscara del fruto es lisa y dura, además varía en color. Las variedades que se siembran en mayo o junio son de piel verdi-blanca mientras que las sembradas en marzo son de piel oscura.

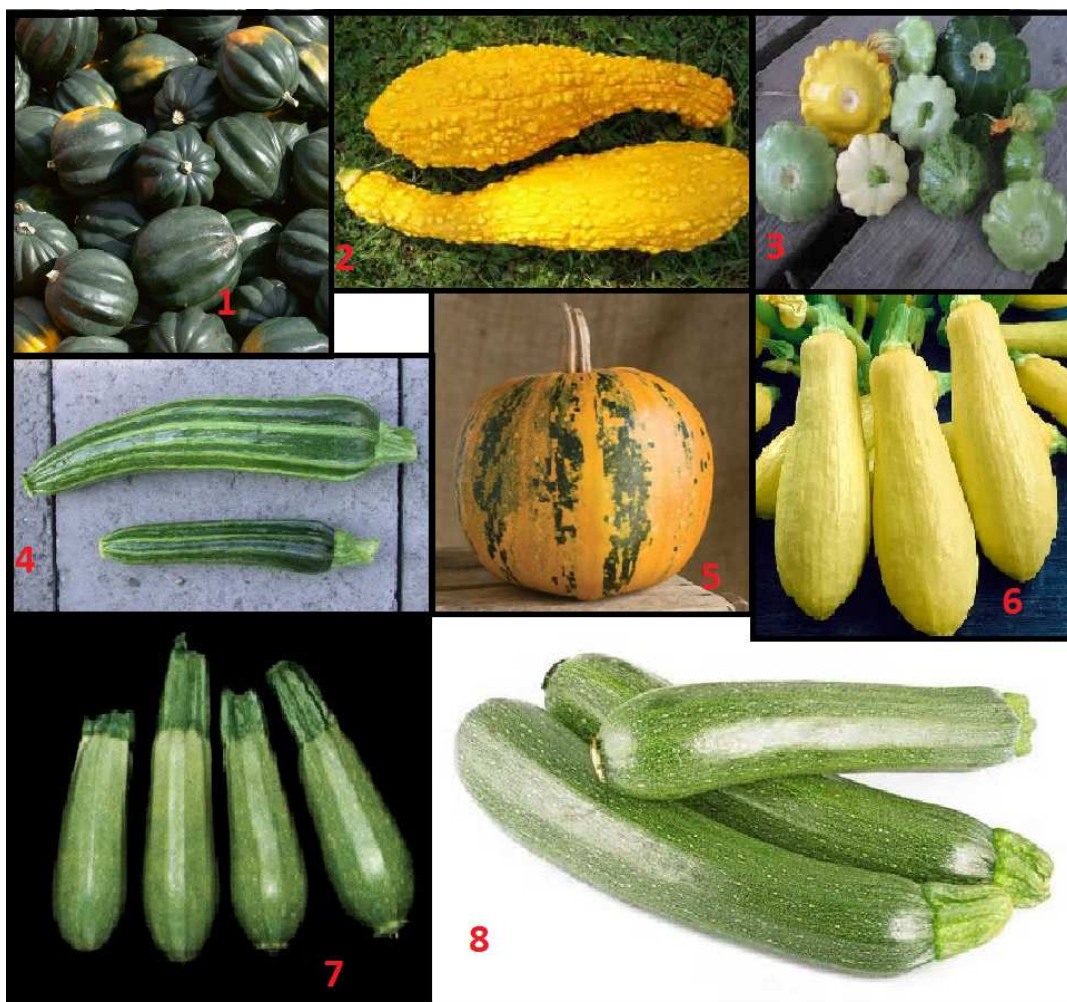


Figura 9. Morfotipos de *C. pepo* ssp. *pepo*. 1: Acorn, 2: Crookneck, 3: Scallop, 4: Cocozelle, 5: Pumpkin, 6: Straightneck, 7: Vegetable Marrow, 8: Zucchini.



Revisión bibliográfica

2.1.3. Descripción morfológica.

El calabacín es una planta anual, de crecimiento indeterminado y vegetación compacta (Camacho, 2002).

- **Raíz.**

El calabacín presenta una raíz axonomorfa, alcanzando ésta un gran desarrollo en relación con las raíces secundarias, las cuales se extienden superficialmente. Pueden aparecer raíces adventicias en los entrenudos de los tallos cuando se ponen en contacto con tierra húmeda (Reche, 1997).

- **Tallo**

El calabacín posee un tallo principal con atrofia de brotaciones secundarias a menos que se realice una poda y se ramifique en dos o más brazos. Es áspero al tacto, cilíndrico, de superficie pelosa, grueso, consistente, con entrenudos cortos de donde parten hojas, flores, frutos y numerosos zarcillos de 10-20cm de longitud, delgados y que nacen junto al pedúnculo del fruto (Reche, 1997).

- **Hojas.**

El calabacín tiene grandes hojas, sostenidas por fuertes y alargados pecíolos. Estos parten directamente del tallo, alternándose en forma helicoidal. El limbo de la hoja es grande. Tiene el haz glabro y el envés muy áspero y recubierto de pelos cortos. El borde de las hojas es dentado con lóbulos pronunciados, presentando profundas entalladuras pero sin llegar al nervio medial, y palmeada por presentar cinco grandes segmentos.

El pecíolo es largo, hueco, consistente, con pelos rígidos en la superficie y áspero al tacto, de cortas y finas vellosidades y pequeñas espinas distribuidas a lo largo del mismo. (Reche, 1997).

- **Flores.**

Las flores del calabacín son grandes, solitarias, vistosas, axilares, de colores amarillos y acampanadas. La planta de calabacín es monoica, por lo que se dan simultáneamente flores masculinas y femeninas. En la flor femenina falta el pedúnculo largo característico de la flor masculina, ya que esta se une directamente al tallo por un reducido, corto y grueso pedúnculo de sección pentagonal o hexagonal pero irregular (Delgado, 1999).



Revisión bibliográfica

La antesis es un término utilizado para designar el momento de expansión completa de la flor, desde el desarrollo del estigma receptivo a la fecundación (Nepi and Pacini, 1993). Éste fenómeno ocurre en *C. pepo* entre las 5 y las 6 de la mañana en verano y un poco más tarde en invierno, abriendo las flores masculinas una media hora antes que las femeninas, manteniéndose este estadio fenológico de 5 a 6 horas. Las flores de *C. pepo* son más grandes que las de otras especies de la familia *Cucurbitáceas* cuando alcanzan la antesis debido a su naturaleza entomófila, su tamaño, color y la producción de néctar favorece este tipo de polinización (Nepi and Pacini, 1993).

Las flores de calabacín constan de las siguientes partes:

- **Pedúnculo.**

En la flor masculina es sencillo, largo, de hasta 40 cm de longitud y hasta 1 cm de diámetro, cilíndrico, hueco y con un tálamo que se bifurca en un cáliz dialisépalo. En la flor femenina, el pedúnculo es corto, de 3 a 5 cm de longitud, duro, grueso y fuerte.

- **Cáliz.**

Es el verticilo más externo. Sus sépalos son verdes, delgados y no están soldados entre sí, por lo que el cáliz es dialisépalo. Está formado por cinco piezas delgadas, puntiagudas, separadas y con una estructura semejante a las hojas ordinarias. Es actinomorfo y caedizo cuando se marchita la flor y persiste hasta el momento de la abscisión en las flores femeninas.

- **Corola.**

Es el segundo verticilo del perianto, con pétalos, gamopétalos, simetría actinomorfa campanulada y formada por cinco pétalos unidos por su base. Es grande, de color amarillo intenso. Los pétalos son muy delicados, erectos y abiertos en su parte superior, estos son apenas recubiertos en su base por el cáliz.

- **Androceo.**

Las flores masculinas tendrán este tercer verticilo floral constituido por tres estambres visiblemente unidos, careciendo del cuarto verticilo floral.

Revisión bibliográfica

- **Gineceo.**

Las flores femeninas carecen de tercer verticilo floral y cuentan con un cuarto verticilo formado por tres carpelos fusionados en un solo ovario (ovario sincárpico) y prolongados en tres pistilos. El ovario de las flores femeninas es ínfero, trilobular y alargado. Los estilos, en número de tres, están soldados en su base y son libres a la altura de su inserción con el estigma, este último dividido en dos partes (bilobulado).



Figura 10. Flor femenina de *Cucurbita pepo*.



Figura 11. Flor masculina de *Cucurbita pepo*.

- **Fruto:**

El fruto es una baya carnosa, unilocular, voluminosa, cilíndrica, sin cavidad central, a veces mazudo, llamado “pepónide”, de color generalmente verde o amarillo. Procedente de un ovario ínfero y sincárpico. Los frutos nacen en las axilas de las hojas, estando unidos a un pedúnculo grueso y corto. Se recolectan cuando aproximadamente se encuentra a la mitad de su desarrollo y antes de que se endurezcan. La piel es lisa y muy sensible a rozaduras.



Revisión bibliográfica

El fruto maduro contiene numerosas semillas, no siendo comercializable por su epicarpio duro y por su gran volumen (Reche, 1997).

- **Semillas:**

Las semillas son de color crema uniforme, lo que las diferencia del resto de las especies (Decker- Walters et al. 2002). Son ovales, alargadas, puntiagudas, lisas, con un surco longitudinal paralelo al borde exterior, de 1,5 cm de longitud, 0,6-0,7 cm de anchura y 0,1-0,2 cm de grosor (Reche, 1997).

Las semillas contienen un embrión ya diferenciado en hojas, tallo y raíz; siendo las primeras hojas embrionarias o cotiledones muy distintas a las hojas ordinarias. Tras la cosecha, la semilla pasa por un período de latencia que dura entre 25-30 días y durante los cuales la germinación es diferente (Reche, 1997).

2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos.

Temperatura:

- Siembra:

La temperatura óptima del suelo en esta etapa ha de situarse entre los 20-25 °C. Con esta temperatura, las semillas pueden germinar en el transcurso de 2-5 días. Temperaturas del suelo superiores a 40 °C, o por debajo de los 15°C. Puede afectar a la germinación (Delgado, 1999).

- Desarrollo vegetativo:

La temperatura óptima para el desarrollo vegetativo está entre los 25-35°C. Por encima de 35 °C, se produce una gran transpiración, ocasionando daño a las plantas por deshidratación, mientras que temperaturas por debajo de 10°C afectan al crecimiento de la planta y pueden provocar deformaciones en el fruto (Reche, 1997).



Revisión bibliográfica

- Floración:

Para la floración se requieren idealmente unos 20 °C por la noche y alrededor de 25°C durante el día. Por debajo de 10 °C se produce caída de flores y deformación de frutos (Reche, 1997).

Fases del cultivo	Tª Óptima	Tª Mínima	Tª Máxima
Siembra (tª del suelo)	20-25	15	40
Desarrollo vegetativo	25-30	10	35
Floración	20-25	10	35

Tabla 2. Temperaturas críticas para calabacín en las distintas fases de desarrollo.

Humedad:

El calabacín es exigente en humedad relativa del aire (Wien, 1997). Los valores óptimos para el cultivo del calabacín en invernadero están entre el 65% y el 80%. Igualmente es exigente en humedad del suelo, necesaria para el desarrollo de la gran masa foliar de la planta y para la formación del fruto, cuyo contenido de agua se sitúa próximo al 95%. Excesos de humedad en el suelo impiden la germinación, no obstante requiere valores de humedad del suelo entorno al 95%.

El rendimiento del cultivo de calabacín depende en gran medida de la disponibilidad de agua existente en el suelo. Si nos salimos de los rangos óptimos podemos sufrir alteraciones, que pueden perjudicar nuestro cultivo.

Con exceso de humedad ambiental, es probable que haya un aumento de las enfermedades y una deficiente fecundación, mientras que si la humedad es baja, puede producirse la deshidratación de los tejidos, menor desarrollo vegetativo, caída de flores y disminución en la producción y retraso en el crecimiento (Reche, 1997).

Luminosidad.

Depende de la insolación. Esta, aunque con menor influjo, junto con la temperatura y la humedad son las variables meteorológicas de importancia para la planta. La luminosidad influye en el fotoperiodo, es decir, en la reacción e influencia que tiene la duración del día sobre las plantas, principalmente sobre el momento de la floración. Para el calabacín no tiene excesiva repercusión la duración del día, no existiendo, en general, problemas de floración, por lo que el cultivo en invernadero puede realizarse en cualquier época. No obstante, la luz



favorece la fotosíntesis e interviene, además, en la maduración de los frutos y en su precocidad (Reche, 1997).

Anhídrido carbónico.

Es un factor indispensable para la fotosíntesis, estando muy interrelacionado con la humedad y temperatura. En 1978, se observó que aportaciones de 1.500-2.000 p.p.m. de CO₂ en invernaderos incrementaba la productividad e influía en la precocidad del calabacín. Como norma general, con una buena ventilación en las horas de la mañana se proporciona a las plantas la cantidad suficiente. El control correcto de la concentración de éste gas es complicado y su aportación, mediante combustión de ciertas sustancias u otros métodos, es problemático para ser empleado directamente por el agricultor (Reche, 1997).

Suelo.

El calabacín es medianamente tolerante a la salinidad del suelo y del agua de riego. Se adapta igualmente a terrenos con valores de PH entre 5 y 7, pero prefiere suelos algo ácidos, con valores medios entre 5,6-6,8 (Reche, 1997). Los suelos alcalinos pueden provocar algunos síntomas de carencias.

Condiciones para la polinización y la fecundación:

El cultivo de calabacín en invernadero uno de los problemas que presenta es el deficiente cuajado de los frutos. En el proceso de polinización y en la fecundación, han de darse una serie de circunstancias, que no siempre es fácil que se den simultáneamente.

Diversos factores han de converger de manera adecuada para que se realice de forma exitosa; empezando por las condiciones que afectan a la actividad de los insectos polinizadores, hasta las que afectan a la producción de polen o a la fecundación, etc. Pero principalmente serán humedad y temperatura los factores determinantes. Además deberá existir una sincronización temporal en la apertura de flores masculinas y femeninas (Rylski and Aloni, 1990). En días fríos las flores femeninas abren antes que las masculinas, por lo que la falta de polen causa retraso en el cuaje. Otro factor climático que modifica el patrón normal de la apertura de las flores son las altas temperaturas y las condiciones de baja luminosidad, que causan un aumento del número de flores macho respecto al de flores femeninas.



Revisión bibliográfica

Como la floración dura varios días, y durante ese tiempo ha de producirse la dehiscencia de las anteras, si la humedad ambiental es superior al 80% los granos de polen tienen dificultad para desprenderse de las mismas. La temperatura mínima para la antesis y dehiscencia de las anteras es 10°C, produciéndose además caída de flores por debajo de éste valor.

En cuanto a la actividad de los principales insectos polinizadores en esta zona, la abeja *Apis mellifera*, el clima es determinante en la actividad polinizadora de ésta, ya que a temperaturas inferiores a 10 °C, una nubosidad superior al 70%, o una intensidad de viento superior a 7, las abejas no salen de la colmena.

Cuando alguno o varios de estos factores que han de darse simultáneamente, para una correcta polinización y cuajado de frutos de calabacín falla, en nuestra zona, se recurre al uso de hormonas de síntesis.

2.2. DIERENCIACIÓN FLORAL Y CONTROL DEL SEXO EN CALABACÍN.

2.2.1. Floración.

Las especies cultivadas de la familia de las Cucurbitáceas, como el pepino, melón, sandía y calabacín, desarrollan flores unisexuales femeninas y masculinas en el mismo pie de planta. Se desarrollan en la axila de las hojas tanto en el tallo principal como en los secundarios (Rudich, 1990).

Los tres tipos de yemas florales tienen, en un estado de desarrollo temprano, tanto primordios estaminales como carpelares, que aparecen igualmente desarrollados a vista de microscopio. Dichas yemas son de hecho bisexuales morfológicamente (Atsmon and Galum, 1960; Perl-Treves, 1999). Lo que ocurre es que, a partir de las yemas en un principio hermafroditas, finalmente se desarrollan unas u otras flores: las flores masculinas, como resultado de la inhibición de los primordios carpelares, y desarrollo de los estambres; y las flores femeninas se forman cuando los primordios estaminales quedan arrestados y los carpelos sí llegan a diferenciarse. De hecho, el pistilodium (carpelo rudimentario) y el nectario derivado de él, siguen presentes en las flores masculinas maduras; e igualmente, estambres



vestigiales siguen presentes en las flores maduras femeninas. No hay evidencias de que se trate de una muerte celular programada, lo que parece ocurrir es que el primordio que finalmente no se desarrolla, simplemente para de crecer hacia una diferenciación sexual concreta de la yema (Perl-Treves, 1999).

El calabacín (*Cucurbita pepo* L.) es normalmente un cultivo monoico. Las flores masculinas se desarrollan al final de tallos delgados y tienen tres anteras, mientras que las flores femeninas se desarrollan al final de pedúnculos cortos, tienen un estilo de gran espesor, un estigma de dos lóbulos; un ovario hinchado que se produce en la base de la corola y se divide en secciones de 3-5. Las flores masculinas producen el néctar para atraer a las abejas. Los granos de polen son grandes y están bien adaptados para el transporte por los insectos. Las flores femeninas se abren por la mañana temprano y se cierran al mediodía de ese mismo día, para nunca volver a abrir (Nepi and Pacini, 1993).

2.2.2. Expresión sexual.

En *C. pepo*, no se conocen variedades con otro tipo sexual que no sea monoico. A lo largo del desarrollo de una planta de calabacín se pueden distinguir tres fases de desarrollo sexual (Peñaranda et al. 2007).

Una primera fase de desarrollo durante la cual las plantas sólo produce flores masculinas, que engloba los primeros 4-8 nudos. Tras esta fase comienza el periodo productivo, fase que se caracteriza por una alternancia de flores masculinas y femeninas en proporciones variables, y por último una fase femenina (Figura 4). Aunque esta última fase de producción únicamente de flores femeninas, sólo se da en ciertas variedades y condiciones de crecimiento (Peñaranda et al. 2007; Manzano, 2009).

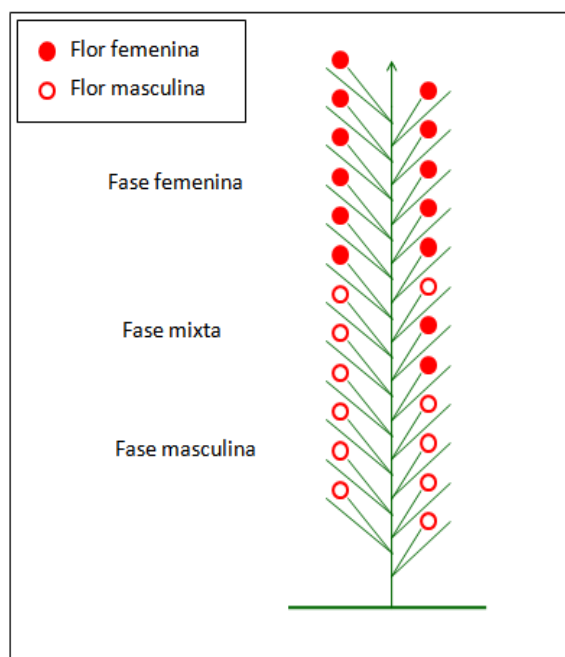


Figura 12. Diagrama de una planta monoica de calabacín mostrando la disposición de flores masculinas y femeninas en el tallo principal (Peñaranda et al. 2007).

La relación de flores masculinas y flores femeninas cambia gradualmente durante la ontogenia en una dirección que es típica para cada especie (Nayar and More, 1998). Cuanto antes manifieste la planta la primera flor femenina, es decir, cuanto más bajo este el primer nudo en el que aparece en el tallo principal una flor femenina, más fuerte es su tendencia femenina (Perl-Treves, 1999) además determina la precocidad del cultivo.

2.2.3. Factores que afectan a la expresión sexual.

La determinación sexual de las flores individuales de calabacín, al igual que en otras especies de la familia *Cucurbitaceae*, está regulada por una combinación de factores genéticos, hormonales y ambientales (Robinson and Decker- Walter, 1997; Payán et al. 2006).

Se ha descrito muchos genes que afectan a la expresión sexual en *Cucurbitáceas*. Tales genes pueden cambiar el destino de yemas específicas, o afectar a la sucesión de las fases sexuales a lo largo del brote (Perl-Treves, 1999).



En las especies de la familia *Cucurbitaceae*, la determinación del sexo está regulada por un número variable de loci no ligados (Dellaporta and Calderon-Urrea, 1993; Grant et al. 1994). Se sabe que en pepino (*Cucumis sativus*) y melón (*Cucumis melo*), la expresión sexual está controlada por tres genes mayores independientes, explicando, la combinación concreta de los mismos, los principales fenotipos sexuales encontrados en estas dos especies (Galun, 1962; Kubicki, 1969; Kenigsbuch and Cohen, 1990; Pierce and Wehner, 1990; Rudich, 1990; Perl-Treves, 1999).

Puesto que todas las variedades de calabacín son monoicas, se desconocen el número de loci implicados en la determinación del sexo de esta especie. No obstante, al igual que en pepino y melón, las hormonas, y especialmente el etileno, juegan un papel importante en el control de la determinación sexual (Manzano, 2009). Se ha demostrado que las diferencias en la expresión sexual entre las dos líneas contrastantes *Bog* y *Veg*, se debe a la disminución en la sensibilidad a etileno en la línea *Veg*, que viene controlada por un único gen recesivo (Manzano et al. 2010).

En todas las especies de *Cucurbitáceas*, la expresión sexual está modificada por factores ambientales como el fotoperiodo, la intensidad luminosa y la temperatura. En los cultivares monoicos de pepino y calabacín, las condiciones de invierno tales como días cortos y temperaturas nocturnas bajas, favorecen la feminización de plantas. Por el contrario, las condiciones de día largo y temperaturas altas del verano favorecen la masculinización (Atsmon and Galun, 1962; Peñaranda et al. 2007). En *C. pepo*, las temperaturas bajas pueden llegar a inhibir el desarrollo de flores masculinas después de la diferenciación de los primordios, lo que conlleva una floración femenina precoz, así como a un aumento en el número de flores femeninas por planta (Wien, 1997; Wien et al. 2004); mientras que altas temperaturas de crecimiento inducen una transformación parcial de flores femeninas en hermafroditas, así como un aumento en la producción de flores femeninas por planta (Gómez et al. 2004; Peñaranda et al. 2007).

Los factores hormonales son los principales determinantes de la expresión sexual en las especies *Cucurbitáceas*. Las hormonas juegan un papel esencial en el control de la expresión sexual del calabacín y otras cucurbitáceas, muy especialmente el etileno (Rudich et al. 1990).

Se han estudiado los efectos de la aplicación exógena de hormonas e inhibidores en la expresión sexual (Rudich et al. 1972; Perl-Treves, 1999), así como las medidas de los niveles de diferentes hormonas en variedades con diferentes fenotipos sexuales han demostrado que

Revisión bibliográfica

giberelinas, auxinas, brasinosteroides y especialmente etileno juegan un papel importante en la expresión sexual de estas especies. Tratamientos con giberelinas o inhibidores de giberelinas promovieron la producción de flores masculinas o femeninas, respectivamente (Rudich et al. 1972; Wien, 1997). La aplicación de auxinas y brasinosteroides induce el desarrollo de carpelos e incrementa la producción de flores femeninas por planta, aunque su función en la expresión sexual podría estar mediada por etileno (Treibitsh et al. 1987; Rudich, 1990; Papadopoulou and Grumet, 2005). El etileno es la hormona clave para la regulación en la determinación del sexo en Cucurbitáceas. La aplicación exógena de etileno provoca feminización en el pepino, el melón y el calabacín (McMurray and Miller, 1968; Robinson et al. 1969; Rudich et al. 1969; Karchi, 1970; Owens et al. 1980; Manzano et al. 2011) (Figura 13), mientras que la aplicación de inhibidores de etileno como aminoethoxivinilglicina (AVG) y tiosulfato de plata (STS) aumenta el número de flores hermafroditas o masculinas en líneas ginoicas y monoicas de pepino, respectivamente (Byers et al. 1972b; Owens et al. 1980). El nivel de etileno endógeno también se correlaciona con la expresión sexual en el género *Cucumis*. Por lo tanto, la producción de etileno en plántulas es 2-3 veces mayor en ginoicas que en líneas monoicas de pepino (Rudich et al. 1972; Trebitsh et al. 1987; Makus et al. 1975; Yamasaki et al. 2001; 2003).

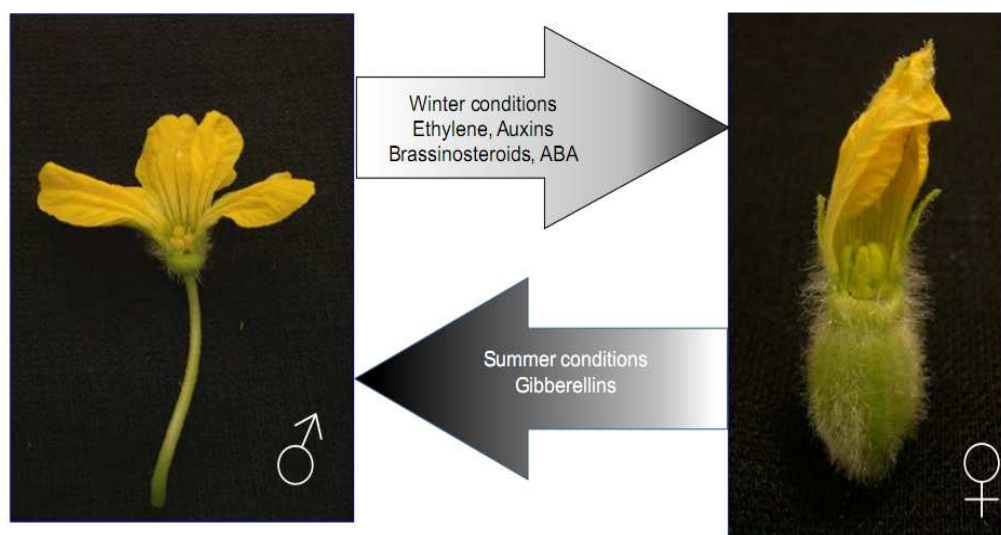


Figura 13. Factores ambientales y hormonales que regulan la determinación del sexo y la expresión sexual en las Cucurbitáceas (Martínez, 2013).



No sólo los niveles de etileno en calabacín son los que influyen en la determinación sexual, sino que la sensibilidad a dicha hormona es esencial para inducir la floración femenina en esta cucurbitácea (Manzano et al. 2010; Manzano et al. 2013; Martínez et al. 2013). Estudios hechos para intentar explicar la diferente sensibilidad al etileno y brasinosteroides de diferentes fenotipos de calabacín, frente al control de la expresión sexual y desarrollo floral, han demostrado que los efectos de estas dos hormonas dependen efectivamente de la producción y sensibilidad de cada genotipo al etileno (Manzano et al. 2011).

2.3. FRUCTIFICACIÓN EN *Cucurbita pepo*.

2.3.1. La polinización y cuajado del fruto.

Las flores de calabacín, y las de otras cucurbitáceas como el pepino, melón y la sandía, abren muy temprano en la mañana, momento en el que están listas para ser polinizadas, completándose el proceso normalmente por la tarde (Robinson and Decker- Walters, 1999).

Para la polinización y el posterior cuajado del fruto es necesario la presencia de polinizadores (Sanz, 1995), ya que el cultivo de *C. pepo* al ser una planta entomófila de polinización cruzada, es polinizada por abejas u otros insectos que se ven atraídos por el polen y el néctar de las flores masculinas (Reche, 1997). En la provincia de Almería, la especie existente y principal polinizadora es *Apis mellifera*. El clima es determinante en la actividad polinizadora de la abeja. Los abejorros, *Bombus terrestris*, comparados con otros insectos polinizadores, como las abejas, son más efectivos. Los motivos son; su mayor tamaño, lo que permite tener un mejor contacto con el estigma y los estambres, además poder visitar un número mayor de plantas por vuelo, más flores por minuto (una media de 20-30). Además su actividad se ve menos influenciada por las condiciones climáticas, manteniendo su actividad incluso con temperaturas de 5°C y con baja intensidad de luz. También se han observado otros insectos como avispas y diversos coleópteros, pero su influencia es mínima.

Al igual que en otras especies, en *C. pepo* los procesos de polinización y fertilización que preceden al cuajado requieren condiciones ambientales adecuadas. Por tanto, estos procesos se limitan por un número de factores, tales como la pérdida de humedad polen y la vida útil del tejido del carpelo (Nepi and Pacini, 1993). Sin embargo, uno de los principales problemas es la limitada oportunidad para que se realice la polinización, ya que las flores



Revisión bibliográfica

masculinas y femeninas abren temprano en la mañana y cierran después de sólo 6 horas (Nepi and Pacini, 1993). La viabilidad del polen de una flor masculina de reciente apertura es de aproximadamente 92%, pero cae al 75 % en el tiempo de la flor se cierra esa misma mañana, y está a sólo 10 % en el día siguiente (Nepi and Pacini, 1993). Por lo tanto, las flores femeninas deben polinizarse con el polen de las flores masculinas que han abierto ese mismo día, ya que es cuando más viabilidad tiene el polen.

Las condiciones de invierno inducen la femineidad (Peñaranda et al. 2007), reduciendo el número de flores masculinas y con ello limitando la polinización. El cultivo en invernadero de *C. pepo* morfotipo Zucchini durante el invierno, cuando la producción de flores masculinas y la actividad de los polinizadores se reducen, se recurre a la aplicación de tratamientos hormonales siendo el único método utilizado en la actualidad para mejorar la fructificación. Sin embargo, la partenocarpia se presenta en ciertos cultivares de *C. pepo* cuando son cultivados bajo condiciones de baja temperatura. La partenocarpia puede ser la mejor solución para este tipo de cultivos (Nitsch et al. 1952; Globerson, 1971; Rylski, 1974a; Robinson and Reiners, 1999).

La antesis es un término utilizado para designar el momento de expansión completa de la flor, desde el desarrollo del estigma receptivo, a la fecundación. Este fenómeno ocurre en *C. pepo* aproximadamente de 5 a 6 de la mañana en verano y un poco más tarde en invierno, manteniéndose este estadio fenológico de 5 a 6 horas. En días fríos las flores femeninas abren antes que las masculinas, mientras que, al parecer, las condiciones de altas temperaturas y baja luminosidad, tienen efecto opuesto (Wien, 1997). Es entonces en antesis, cuando puede producirse la polinización de las flores, teniendo en cuenta que han de darse las condiciones adecuadas para ello. Lo cual implica que tanto las flores masculinas como las femeninas, deben permanecer abiertas simultáneamente (Rylski and Aloni, 1990).

La polinización comprende la apertura de las anteras, de los estambres, la salida de los granos de polen y su traslado hasta el pistilo. O sea, la polinización en *C. pepo* consiste en la transferencia del polen desde la antera (flor masculina) al estigma (flor femenina). Por lo que la transferencia mecánica del polen es esencial para el cuaje del fruto. Al entrar en contacto, el polen se adhiere al estigma, germinando.



Revisión bibliográfica

El tubo polínico crecerá en dirección al ovario, el gameto masculino se unirá al gameto femenino a través del tubo polínico, formando el cigoto; de esta forma se permite el desarrollo del fruto que protegerá a las semillas.

La exina (capa externa del grano de polen) se abre, y la célula vegetativa del tubo polínico inicia la formación de éste alargando progresivamente la intina (capa interna). El tubo polínico crece a lo largo del estilo, a través de sus tejidos de los que se nutre, hasta alcanzar el micrópilo de los primordios seminales. El modelo de distribución del polen sobre el estigma no tiene importancia en las cucurbitáceas sobre la producción de frutos de semillas fertilizadas, por lo tanto los tubos de polen pueden viajar lateralmente en el estilo u ovario hasta cierto punto (Hayase, 1953; Cady and Wien, 1994). A continuación se abre y libera sus dos células espermáticas; una penetra hasta la ovocélula, fusionándose sus protoplastos (plasmogamia) y sus núcleos (cariogamia), y la otra se fusiona con el núcleo secundario del saco embrionario. Se origina así el cigoto diploide en la ovocélula y un núcleo endospermico triploide en el saco embrionario.

El fin de la polinización es la formación de semillas y frutos. Los frutos nos indican si la polinización ha sido adecuada. Un fruto simétrico, de buen peso, bien desarrollado y buen color, es indicador de que la polinización ha sido buena.

2.3.2. Crecimiento del fruto.

El fruto es un órgano altamente especializado con una doble función: la protección y dispersión de semillas (Roeder and Yanofsky, 2005; Ferrándiz et al. 1999). Debido a este importante papel, su evolución ha dado lugar a una variedad de frutos en las angiospermas (White, 2002), y los frutos de *C. pepo* son un ejemplo de ello (Loy, 2012). Esta especie de frutos se compone de tres capas. El pericarpio externo es muy delgado, y su color depende de la morfotipo del cultivar. Las dos capas internas, el mesocarpio y el endocarpio, son de color blanco en calabacín, pero podría ser de color dependiendo del contenido de carotenoides (Loy, 2012).

En la fecundación de la ovocélula y la transformación posterior de los primordios seminales en semillas se produce paralelamente cambios en el ovario hasta su madurez,



Revisión bibliográfica

dando lugar a un fruto (carpo) en el que el ovario se encuentra desarrollado y maduro. La principal misión es la protección y dispersión de sus semillas. Cuando el ovario es ínfero como ocurre en esta especie, no sólo el ovario participa en la formación del fruto sino que suele haber otras estructuras florales implicadas.

Para que se produzca el cuajado, son necesarios tres prerequisites: en primer lugar, la existencia de yemas florales maduras, bien formadas y nutridas; en segundo lugar, un régimen de temperaturas durante la antesis e inmediatamente después que asegure una buena polinización, el desarrollo del tubo polínico y la fecundación, o que sea compatible con la partenocarpia; y en tercer lugar, un aporte adecuado de fotoasimilados cuando el ovario inicie el desarrollo. Aquellos frutos en los que alguno de estos factores no sea satisfecho, presentan un cuajado deficiente y el fruto no alcanzará un grado de desarrollo óptimo. Cuando los tres requisitos se cumplen, el fruto seguirá el patrón de crecimiento tipo de la especie.

En general es posible separar el desarrollo del fruto de *C. pepo* en tres fases: división celular, expansión celular y cese del crecimiento (Guevara et al. 2002):

1º Fase, división celular: La polinización del óvulo da inicio a una fase de alta división celular en el fruto, lo que se caracteriza, además, por una elevada tasa respiratoria. El tamaño final del fruto depende, en gran parte, del número de divisiones celulares que ocurren en el fruto en desarrollo, después de la fertilización.

2º Fase, elongación: Una vez concluida la fase de división celular se observa en los frutos un rápido aumento del volumen celular, producto de la expansión de las células. En muchas semillas, el embrión pasa de un estado globular a uno con simetría bilateral, con cotiledones bien desarrollados, y la presencia de un eje tallo-raíz (Gillaspy et al. 1993).

3º Fase, Cese del crecimiento: Durante las dos fases anteriores, la mayor parte de las sustancias translocadas hacia el fruto han sido destinadas al crecimiento del mismo. Con el cese del crecimiento, en la mayoría de los frutos se inicia el llenado del mismo y de las semillas. En el caso específico de estas últimas, los metabolitos translocados son mayoritariamente acumulados y almacenados para servir de reserva energética que sería empleada durante la germinación; mientras que en el caso del fruto, muchas de estas sustancias serán hidrolizadas en la etapa final de la maduración.



Además el patrón de crecimiento del fruto de *C. pepo* está caracterizado por una fase inicial lineal de tipo logarítmica, seguida de una disminución en el índice de crecimiento de forma gradual. Una comparación de cultivares que comprendía un tamaño de fruto entre 40 y 70 cm³ mostró que los índices de crecimiento del fruto variaron poco, pero que los frutos más grandes tenían duraciones de crecimiento más largas (Wien, 1997).

El tamaño de los frutos también depende directamente del número de frutos producidos por la planta, ya que ésta debe repartir sus minerales y productos fotosintetizados entre todos sus frutos. Los trabajos realizados mostraron que los frutos de pepino partenocárpico cultivados en invernadero tenían índices de crecimiento de frutos tres veces más altos cuando el número de frutos por planta no era superior a cinco de forma simultánea.

2.3.3. Regulación hormonal del crecimiento del fruto de calabacín.

El desarrollo del fruto después de la polinización y la fertilización se desencadena por la acción coordinada de las hormonas de crecimiento previstas y / o regulados por los granos de polen, tubos de polen y semillas en desarrollo (Gillaspy et al. 1993).

Después de la polinización y fertilización, el cuajado y desarrollo del fruto depende de la división celular y la expansión impulsada por hormonas como giberelinas (GAs), auxinas y citoquininas (Fu et al. 2008; Pandolfini et al. 2007). La auxina es el factor determinante de la producción de frutos, como se ha demostrado por el estudio de mutantes o líneas transgénicas de ARF o familias multigénicas IAA / Aux en tomate y *Arabidopsis* (Fu et al. 2008; Pandolfini et al. 2007). Sin embargo, parecen estar estrechamente relacionados con las giberelinas, que es capaz de desencadenar el inicio del fruto sin cambios en los genes de señalización de auxina (De Jong et al. 2009; Sato et al. 1991). En la familia de las cucurbitáceas, cuajado y desarrollo dependen principalmente de las auxinas (Wang et al. 2009). La aplicación de auxinas induce el cuajado partenocárpico y el desarrollo en el pepino (kim et al. 1992), aunque la aplicación de citoquininas también activa las divisiones celulares en los frutos (Li et al. 2003), mientras que brasinoesteroides aumenta el cuajado (Fu et al. 2008; Kamuro et al. 1999). En el calabacín también se muestra que las auxinas es la hormona más eficaz para inducir el desarrollo de frutos partenocárpico (Ruan et al. 2012), y este



regulador de crecimiento se aplica comúnmente para promover el cuajado y crecimiento de la producción en invernadero.

Auxinas y giberelinas participan de manera activa en la expansión celular. Durante la fase inicial de expansión se observan concentraciones endógenas altas de auxinas, mientras que durante la fase máxima de crecimiento de los frutos, cuando las auxinas decaen, los contenidos de giberelinas alcanzan sus máximos niveles. Se ha demostrado una relación entre estas dos sustancias, las auxinas estimulando la síntesis y el acumulo de giberelinas. Al final de la fase de expansión del fruto, cuando este ha alcanzado su tamaño final. Se observa un rápido crecimiento del embrión, debido principalmente a la expansión de sus células (Guevara et al. 2002).

2.3.3.1. Implicación del etileno en el cuajado y desarrollo del calabacín.

El etileno, a pesar de su simplicidad molecular, regula una serie de procesos fisiológicos (Abeles et al. 1992; Barry and Giovannoni, 2007), incluyendo la abscisión de hojas y flores, la maduración de los frutos climatéricos y los estreses bióticos y abióticos.

La polinización induce la producción de etileno en los ovarios y pétalos, el etileno es el responsable de coordinar el crecimiento del ovario y la senescencia de pétalos (Larsen et al. 1993; Balbi and Lomax, 2003; Wang et al. 2005; Stepanova et al. 2008). La implicación de etileno en el cuajado y el desarrollo del fruto no se ha estudiado en profundidad hasta hace pocos años. Estudios recientes han demostrado una interconexión entre el aborto del óvulo y el tamaño de la silicua en mutantes de etileno en *Arabidopsis* (Carbonell-Bejarano et al. 2011).

C. pepo morfotipo Zucchini tiene un gran ovario ínfero (alrededor de 6-8 cm de largo en antesis), es una especie ideal para estudiar el cuajado y desarrollo del fruto antes de tiempo. Hemos observado recientemente que una reducción de etileno en las flores femeninas de calabacín no sólo puede promover el desarrollo de estambres de la flor, la conversión de flores femeninas en flores bisexuales, sino también inducir el desarrollo de los frutos partenocárpicos en ausencia de polinización y fecundación (Peñaranda et al. 2007). Esto también es cierto para algunos cultivares de calabacín morfotipo Zucchini que crecen en condiciones de alta temperatura (Peñaranda et al. 2007).



2.4. PARTENOCARPIA.

En producciones fuera de temporada en invernadero, es decir, bajo condiciones en las que las plantas producen un reducido número de flores masculinas y la actividad de los polinizadores es muy limitada, la polinización natural es difícil, y la fructificación está inducida por las auxinas sintéticas (Sanz, 1995; Wien, 2002). Sin embargo, la demanda de los cultivos más sanos y ecológicos y productos más frescos está haciendo que la partenocarpia sea un rasgo primordial en los programas de mejora en calabacín (Martínez, 2013). Además la fuerte reducción de las poblaciones de abejas en muchas zonas del mundo ha afectado negativamente a la polinización de cultivos (Nepi and Pacini, 1993).

2.4.1. Introducción.

Los frutos se forman a través de una íntima colaboración entre los óvulos (los precursores del desarrollo de las semillas) y los carpelos (los precursores del fruto), por cientos de años, los humanos nos hemos empeñado en interrumpir esta asociación para obtener frutos sin semillas y así hacerlos más fáciles al consumo. (Lora et al. 2011).

Los frutos partenocárpico son frutos sin semillas que se desarrollan en ausencia de polinización y fecundación. La partenocarpia supone el desacoplamiento de los procesos de fecundación y crecimiento del fruto, por lo que se trata de un carácter de gran interés a la hora de evitar la falta de cuajado de frutos en condiciones ambientales desfavorables para la polinización y la fecundación (Schwabe and Mills, 1981).

Entre las cucurbitáceas, el pepino fue la primera especie en la que se introdujeron cultivares partenocárpico que mejoraron la producción en invernadero fuera de su estación (Stutevant, 1890), pero la partenocárpico se ha detectado en otras especies de la familia, incluyendo melón y calabaza (Ryski and Aloni, 1990). Los primeros estudios de partenocarpia de *C. pepo* fueron hechos por Durtham (1925), que cerró 301 flores femeninas para prevenir la polinización, y no encontró la producción partenocárpico en calabacín. La primera variedad de calabacín que se ha descrito como partenocárpico fue *Real Acorn* (Nitsch, 1952), aunque su potencial partenocárpico fue interrogado más tarde (Robinson and Reiners, 1999).



Posteriormente se identificaron una serie de variedades con potencial partenocárpico, incluyendo Dg- 4 y Poseidón (Nijs and Balder, 1983), la variedad Chefini (Robinson, 1993), y Whitaker, cuya partenocarpia parece estar controlada por uno de los principales genes dominantes (De Menezes et al. 2005). Nijs y Zanten (1982), Om y Hong (1989) y Robinson y Reiners (1999) estudiaron el potencial partenocárpico de diferentes cultivares de *C. pepo*, concluyendo que el mayor nivel de partenocarpia se encuentra en los genotipos con la piel de color verde oscuro del morfotipo Zucchini y Cocoselle. Parece, por lo tanto, que los cultivares con frutos alargados tienen sus frutos más alto nivel de partenocarpia. Sin embargo, la producción de frutos partenocárpico en el cultivo de *C. pepo* es muy dependiente de las condiciones ambientales. Se sabe que las condiciones de invierno, temperaturas especialmente bajas, son capaces de promover la partenocarpia en *C. pepo* (Globerson, 1971; Rylski, 1974b ; Nijs and Balder, 1983; Rylski and Aloni, 1990; Robinson and Reiners, 1999; Gómez et al. 2004).

Se ha descubierto recientemente que el cuajado y desarrollo del fruto temprano de calabacín morfotipo Zucchini después de la polinización y la fertilización requiere un bajo nivel de etileno en los ovarios polinizados los días después de la antesis, y que la falta de polinización induce a un impulso de etileno en la fruta 3 días después de la antesis, que está relacionado con el aborto de la fruta y la senescencia (Martínez et al. 2013). Por lo tanto, aunque el desarrollo partenocárpico de la fruta se consigue normalmente por la acción coordinada de giberelinas, auxinas y citoquininas (Srivastava and Handa, 2005; Serrani et al. 2010), se ha demostrado recientemente que la partenocarpia en la variedad *Cavili* morfotipo Zucchini está también asociado con un bajo nivel de etileno en el fruto sin polinizar por unos días después de antesis (Martínez et al. 2013). Esta reducción en la producción de etileno podría ser responsable de la conversión de flores femeninas en flores bisexuales y el retraso en la maduración y la abscisión de órganos florales que se asocia normalmente con la partenocarpia de este cultivar (Payán et al. 2006; Peñaranda et al. 2007; Martínez et al. 2013).

2.4.2. Factores que intervienen en la partenocarpia.

2.4.2.1. Factores ambientales.

Además de favorecer el cuajado y desarrollo en adversas condiciones ambientales, la partenocarpia también puede tener algunas ventajas con respecto a la calidad de los frutos



comestibles sin semillas duras, e incluso puede aumentar la vida útil de algunos frutos (Varoquax et al. 2000).

Las casas de semillas han desarrollado en Almería pocas variedades comerciales partenocárpicas de morfotipo Zucchini que se produzcan en invernadero, éstas son algunas: *Cavili*, *Partenón* y *Argo*.

2.4.2.2. Factores hormonales implicados en la partenocarpia.

Partenocarpia implica el desarrollo del ovario en una fruta sin fertilización y formación de la semilla, bajo la influencia de hormonas exógenas o estímulos genéticos endógenos.

La partenocarpia artificial: puede ser inducida por tratamientos con extracto de polen (Gustafson, 1937) o fitohormonas (Gustafson, 1941; Mori, 1947; Takashima and Hatta, 1955). Las auxinas, giberelinas y citoquininas, así como brasinoesteroides, se han descrito como precursores de frutos en cucurbitáceas (Sanz, 1995; Li et al. 2003; Fu et al. 2008).

La partenocarpia natural o genética es el resultado del crecimiento del fruto desacoplado de la formación de la semilla y el resultado es natural o inducido por mutación, por lo general en la red genética que conecta la producción de hormonas y señalización (Dorcey, 2007).



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. INTRODUCCIÓN.

El estudio de investigación llevado a cabo en este proyecto ha supuesto la realización de un ciclo de cultivo de primavera. Con el fin de analizar el potencial partenocárpico de diferentes variedades de calabacín y su relación con la producción de etileno.

3.2 EMPLAZAMIENTO DEL ENSAYO.

Los ensayos de campo se realizaron en un invernadero de la Finca Experimental de la Fundación UAL-ANECOOP. Dicho centro de investigación se emplaza el Paraje “Los Goterones”, en el Término municipal de Almería, con identificación catastral correspondiente al polígono 24, parcela 281. Las vías de acceso a la finca las observamos en la figura 14, como se puede apreciar se encuentra situada entre la autovía del Mediterráneo y la carretera Nacional N-344. Las coordenadas UTM aproximadas del centro de la finca son: X=564562 Y=4080369.

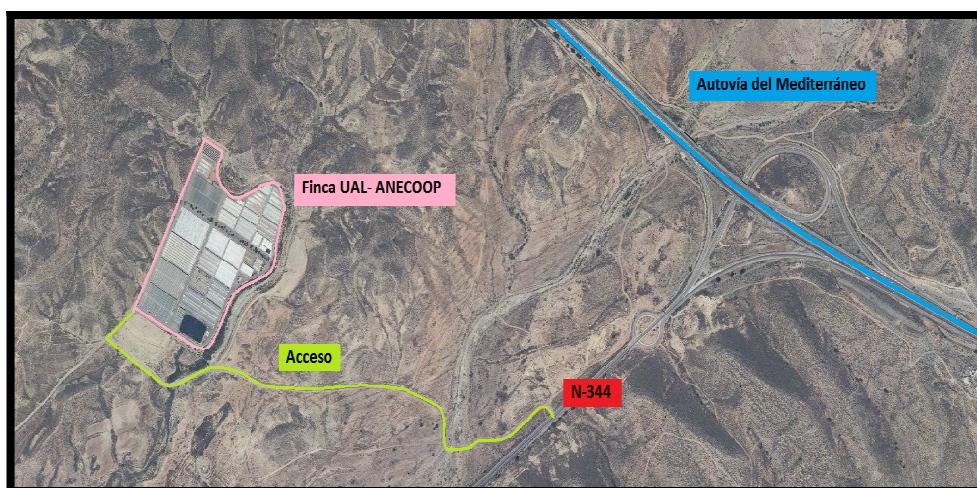


Figura 14. Localización de la finca UAL-ANECOOP. Fuente: Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).

La finca experimental está equipada de múltiples instalaciones destinadas a experimentación e investigación agraria. Entre las instalaciones existentes se hallan 17

Material y métodos

invernaderos dedicados a investigación de cultivos de hortícolas. El invernadero utilizado para el ensayo es de plástico tipo multitúnel y pertenece al módulo U15 de Agricultura Ecológica (Figura 15).



Figura 15. Vía de acceso al invernadero de ensayo.
Fuente: Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).

Al mismo tiempo, los experimentos de laboratorio se realizaron en el laboratorio del Banco de Semillas de la UAL (BSUAL), localizado en la Finca Experimental, como en el laboratorio de Genética y Mejora Vegetal de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Almería.

El ensayo tuvo lugar entre los meses de febrero y julio de 2013.

3.3. MATERIAL VEGETAL.

Para la realización del proyecto, se dispusieron de las siguientes variedades de *Cucurbita pepo*.



Material y métodos

3.3.1. Variedad comercial de calabacín.

Cronos, corresponde a la variedad comercial de la empresa de semillas Syngenta (Figura 16).

Es una variedad adecuada para ciclos de otoño y primavera en cultivo protegido. Los frutos son redondos de color verde oscuro obteniendo una gran calidad desde el inicio de la producción hasta el final del ciclo. En post producción el fruto tiene un comportamiento excepcional permitiendo su aguante por más tiempo sin mermar la calidad.

La estructura de planta es abierta, de entrenudo corto y erecta. Esto provoca un aumento de la calidad de frutos así como ahorro de mano de obra, facilitando la recolección y no necesitando entutorar con tanta frecuencia. Además posee un buen nivel de resistencias, dando mayor importancia a la que presenta frente al oidio.



Figura 16. Variedad *Cronos*.

Material y métodos

3.3.2. Variedades locales de calabacín.

Las variedades locales ensayadas fueron *CpCAL097*, *CpCAL117*, *CpCAL005*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003* y *CpCAL112*, provenientes del Banco de Semillas de la UAL (BSUAL) (Figura 17).



Figura 17. Variedades. 1: *CpCAL097*, 2: *CpCAL117*, 3: *CpCAL005*, 4: *CpCAL058*, 5: *CpCAL044*, 6: *CpCAL003*, 7: *CpCAL112*.



Material y métodos

3.4. INSTALACIONES.

3.4.1. Invernadero.

El invernadero en el que se llevó a cabo parte del ensayo, era de tipo multitúnel con tres capillas y con dimensiones de 27 x 40 cm, con cubierta de polietileno térmico y con ventilación cenital. Estaba orientado en la dirección Este-Oeste con respecto a sus ejes longitudinales.

3.4.2. Suelo.

El lecho donde se plantaron las variedades sometidas a ensayo, consistió en un enarenado típico aplicado en el cultivo bajo abrigo de la zona. Está configurado por la superposición de varios horizontes: el primero el propio suelo natural, un regosol calcárico con intrusión de xerosol cálcico; a continuación un horizonte arcilloso de unos 30 cm de espesor, compuesto en su mayor parte por margas; y encima de éste horizonte, nuevamente unos 30 cm de una mezcla entre estiércol y arena gruesa con una textura entre 2-2.5 mm.

3.4.3. Sistema de riego.

En el riego del material vegetal se utilizó el sistema típico de riego por goteo. Consiste en una serie de tuberías superficiales de polietileno que portan goteros. Las tuberías porta goteros se disponen en la misma dirección que las líneas donde se sitúan las plantas, suministrando los goteros el agua directamente a la base de la planta. El agua llegaba hasta el invernadero por conexión con el cabezal de riego, mediante tuberías enterradas de PVC, que a su vez suministraban el agua a las tuberías porta-ramales y estas a las tuberías porta goteros.

3.5. MANEJO DEL CULTIVO.

El ensayo se realizó por completo en condiciones de Agricultura ecológica. A continuación, se detallan los procedimientos culturales seguidos en cada etapa del ensayo.

Material y métodos

3.5.1. Siembra.

La siembra tuvo lugar el miércoles 27 de febrero de 2013. Se realizó una siembra directa de manera manual, que estuvo condicionada por las tuberías portagoteros y por los sus propios goteros.

El invernadero se dividió en cuatro sectores donde se sembraron las variedades tradicionales de calabacín. Se dispuso de 48 semillas de cada una de las variedades siguientes *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003* y *CpCAL112*. Con excepción de las variedades *CpCAL005* y *CpCAL117* que sólo se tenían 24 semillas, de cada una de ellas. Cada sector tenía un lineo sembrado de cada variedad. El espacio que quedó libre entre los sectores se sembró de *Cronos*, el híbrido comercial (Figura 18).

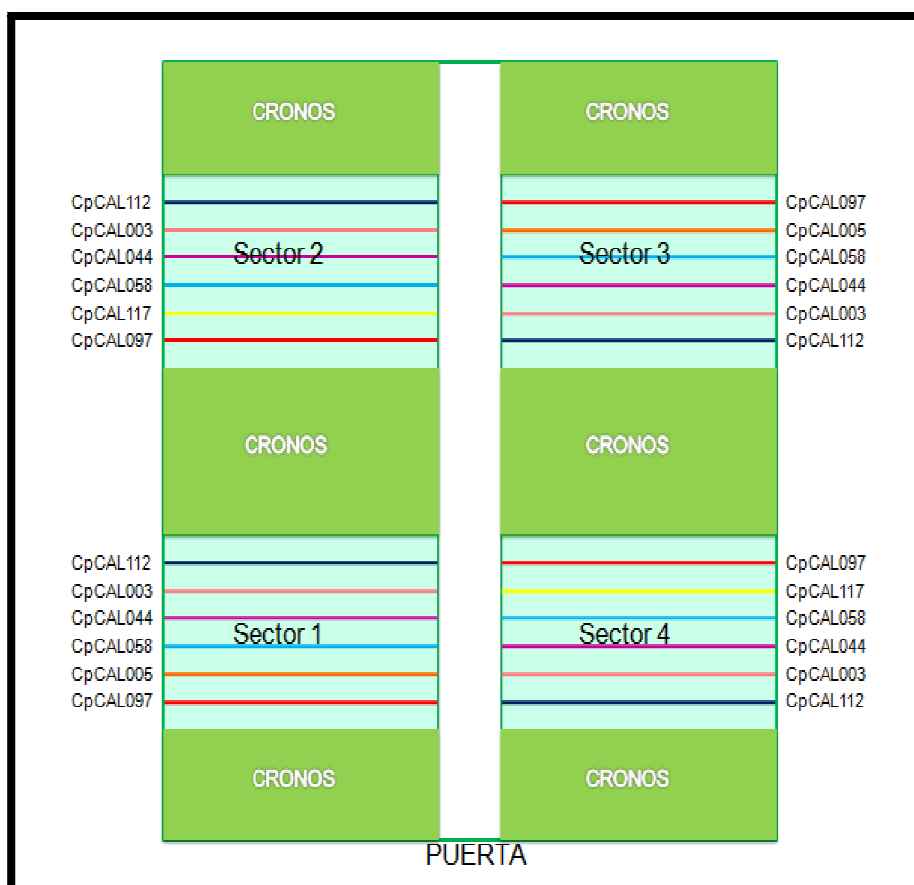


Figura 18. Esquema de la distribución de las diferentes variedades cultivadas en el invernadero.



Material y métodos

3.5.2. Entutorado.

El objetivo del entutorado es ofrecer una mayor aireación a la planta, lo cual es imprescindible para evitar, en lo posible, la aparición y desarrollo de enfermedades, muy frecuentemente en el calabacín, debido a su gran superficie foliar. También permite una mayor incidencia luminosa, mejorando así la asimilación fotosintética, lo cual repercute positivamente en la producción. El entutorado realizado en el ensayo es el propio de la zona, y consistió en sujetar a la base del tallo una rafia cuyo extremo superior se ata al entramado de hilos de alambre en la techumbre del invernadero. Conforme la planta va creciendo, se va guiando por la rafia. Con el objetivo de mantener la planta de calabacín erguida.

3.5.3. Cuidados, poda y limpieza de las plantas.

La poda consistió en la eliminación de tallos secundarios en las primeras etapas de la planta con el fin de promover el crecimiento y desarrollo del tallo principal de calabacín. Se hace con el fin de eliminar la competencia por el agua y nutrientes con el tallo principal, facilitar las labores de cultivo, aumentar la aireación y condiciones lumínicas en la planta, incrementando así su capacidad fotosintética.

También, se realizó un aclareo sanitario, en la que se eliminó hojas viejas y hojas infectadas principalmente de oidio (*Sphaerotheca fuliginea*).

Durante todo el tiempo en el que las plantas de calabacín estuvieron en el invernadero en primer lugar se realizó una limpieza de frutos con el fin de que la planta no perdiera fuerza y alcanzara el vigor adecuado. Al mismo tiempo que la recolección se aclaraban los frutos con un tamaño superior al comercial, abortados, amorfos y podridos.

3.5.4. Tratamientos fitosanitarios.

Se realizaron tratamientos fitosanitarios preventivos con azufre, ya que es uno de los productos que se pueden utilizar en cultivo ecológico.

Material y métodos

3.5.5. Fertilización.

A lo largo del cultivo se aportó de manera regular una solución nutritiva adaptada al cultivo mediante fertirriego.

3.5.6. Polinización.

La polinización realizada en el ensayo fue de forma manual, con el objetivo de conseguir una polinización dirigida. La polinización manual comenzaba a primera hora de la mañana con la revisión del estado de madurez del polen de las flores masculinas y la identificación de las flores femeninas en antesis. A continuación, se realizaba la polinización tomando la flor masculina, de la variedad comercial, a modo de plumero sobre el ovario de la flor femenina. Nepi y Panacini (1993), ponen de manifiesto la necesidad de realizar la polinización entre las 6 de la mañana y las 12 del mediodía.



Figura 19. Polinización manual.

El siguiente paso a seguir era, una vez realizada la polinización, marcar en una etiqueta las fechas de polinización y recogida del fruto, además de la repetición a la que pertenecían.



Material y métodos

3.6. TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En el diseño experimental lo primero que se realizó fue la caracterización de las variedades expuestas a estudio. Después se analizó la expresión sexual y finalmente se evaluó el potencial partenocárpico de las variedades.

3.6.1. Caracterización de las diferentes variedades de *C. pepo* expuestas a estudio.

La caracterización de las variedades consistió, en una toma de datos. Los parámetros que se recogieron fueron los siguientes:

- Morfotipo del fruto; género y especie; nombre de la variedad y número de accesión.
- Descriptores vegetativos: planta; vigor; forma; presencia de zarcillos y tipo de hoja.
- Descriptores florales: brotación; flores; corola; flores masculinas y flores femeninas
- Fruto: forma; forma de las costillas; color de la carne (madurez comercial); color de la piel (madurez comercial); dibujo (manchas); color manchas; textura piel; dureza piel; longitud, calibre y peso del fruto (comercial).

3.6.2. Caracterización de la expresión sexual y toma de datos.

La expresión sexual en los diferentes materiales bajo estudio se realizó cuantificando las flores de cada tipo sexual que aparecieron en los primeros 20 nudos del eje principal de cada una de las plantas. Se seleccionaron 10 plantas por variedad. A partir de estos datos calculamos dos parámetros muy utilizados en la evaluación de la expresión sexual en plantas monoicas de cucurbitáceas: la producción de flores femeninas por planta, y la precocidad de la floración femenina, entendida esta última como el número de flores masculinas iniciales hasta la producción de la primera flor femenina.



Material y métodos

3.6.3. Caracterización del potencial partenocárpico.

La metodología que se utilizó en el análisis del potencial partenocárpico fue el siguiente:

Para evaluar la partenocarpia, las plantas fueron cultivadas en el invernadero libre de polinizadores y otros insectos, lo que aseguró que todos los frutos fueran partenocárpicos.

En el primer ensayo se evaluó la partenocarpia analizando el crecimiento de los frutos. Para ello se realizó la medición de la longitud y calibre de 10 frutos sin polinizar de cada cultivar durante un total de 7 días después de la antesis (DPA). Las mediciones se tomaron en la antesis, 1, 3, 5 y 7 días DPA. Para los frutos abortados antes de 7 días, la última medición antes del aborto fue considerada en los días posteriores. Los resultados nos permitieron determinar de cada cultivar la tasa de crecimiento partenocárpico promedio de sus frutos, y comparar el aumento de longitud y diámetro del fruto entre antesis y cada uno de los puntos de control (1, 3, 5 y 7 DPA).

3.6.4. Relación entre el potencial partenocárpico y la producción de etileno del fruto.

Para poder evaluar la producción de etileno de cada cultivar primero se tuvo que calcular la tasa de crecimiento del fruto, polinizado y no polinizado, de cada variedad, para poder así establecer el potencial partenocárpico y la relación con el etileno que tiene ese carácter.

Los pasos a seguir, para la estimación de la producción de etileno y la tasa de crecimiento de los frutos, fueron los siguientes:

Se seleccionaron, en cada una de las variedades, 20 flores femeninas en antesis, 10 polinizadas (polinización manual, se utilizaba el polen de la variedad comercial **Cronos**) y 10 flores sin polinizar.

La toma de datos comenzó a partir del marcaje de la primera flor.

Las flores las marcamos con una etiqueta, en el peciolo de la hoja, donde se anotaban los siguientes parámetros:

Material y métodos

- Nombre del ensayo y número de flor.
- Fecha del marcaje de las flores (días).



Figura 20. Marcaje de la flor femenina.

En un estadillo se recogían los siguientes parámetros.

Ubicación de las flores en el ensayo, cada una con su correspondiente número asignado:

- Fecha del marcaje de las flores (días).
- Fecha de recolección de la flor (días).
- Fruto con flor pegada: si o no.

Las flores las estudiamos en el estado de antesis y a los 3 y 5 días después de antesis (DPA). Para ello, recolectamos 3 flores polinizadas y 3 sin polinizar en los tres estadios.

Como se utilizaron las mismas flores para medir la producción de etileno, después de ello, se determinó el peso, longitud, diámetro apical y basal de todas las flores expuestas a estudio.

La medida de la producción de etileno emitido por cada una de las muestras consistió:

Material y métodos

Cada una de las muestras se realizó seleccionando 3 flores, polinizadas y no polinizadas en los estados de antesis y a los 3 y 5 días después de antesis. Cada una de las muestras se introdujo en botes herméticos, que poseían un volumen de 10.000ml. Las medidas se realizaban a partir del aire que rodea a las flores dentro de los botes de plástico (3 flores por bote o repetición) durante 6 horas a temperatura ambiente para que acumularan etileno. La tapa superior del bote constaba de un tapón de goma para poder penetrar la jeringuilla.



Figura 21. Flores dentro del bote hermético de plástico utilizado para medir etileno que desprendían las muestras.

Transcurridos este tiempo de acumulación, y ya en el laboratorio, se inyectaban 2 ml del aire extraído de la atmósfera del bote (accediendo al contenido del mismo a través de una jeringuilla que penetra a una goma adherida al bote), en el cromatógrafo, para determinar la concentración de etileno.

El cromatógrafo de gases utilizado es de la marca Varian (Chromatography Systems)[®], modelo 3900. El cual está equipado con un detector por ionización de llama (FID), previamente calibrado para determinar la producción de etileno.



Figura 22. Muestra cómo se extraía el etileno del bote y se introducía en el cromatógrafo de gases.

La medida se repetía 3 veces por cada uno de los botes.

Después de determinar la producción de etileno, se abrían los botes y se extraían las muestras.

Posteriormente, la estimación de la **tasa de crecimiento** del fruto consistió en:

Las muestras se pesaron en una balanza de precisión (Figura 23) y se midió tanto la longitud como los diámetros, apical y basal de las flores.

Para determinar el diámetro y la longitud de la flor se utilizó un calibre electrónico (Figura 24).



Figura 23. Balanza de precisión.



Figura 24. Calibre electrónico.

De todo el proceso descrito se realizaron 3 repeticiones.

3.6.5. Análisis estadístico.

Por último una vez obtenidos todos los datos se organizaron y se trataron con el fin de que sirvieran para obtener, de manera correcta, todas las conclusiones derivadas del estudio. Se han utilizado dos programas informáticos:

- Microsoft office. Excell 2007.
- Statistix Versión 8.0.
- Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.15

Todos los datos se clasificaron y cada grupo se sometió a un análisis de varianza de un único factor. La comparación de grupos fue realizada mediante un test de estadístico, Test de Rango Múltiple, de comparación de medias LSD (mínimas diferencias significativas de Fisher) con un nivel de significación de $\alpha < 0,05$ en el que se determinaron las medias que eran significativamente diferentes unas con otras. Finalmente, se realizó un análisis de regresión simple para describir la relación entre etileno e incremento de peso, donde se obtuvieron los datos del coeficiente de correlación y el valor-p.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES DE *Cucurbita pepo*.

Para este estudio se han ensayado variedades tradicionales seleccionadas de un proyecto previo, donde se evaluó el potencial partenocárpico de diferentes variedades. Como control se utilizó *Cronos*, un híbrido comercial, y las variedades tradicionales utilizadas fueron: *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003*, *CpCAL112*, *CpCAL117* y *CpCAL005*. A continuación se muestran los caracteres cuantitativos que describen y caracterizan a cada una de las variedades tradicionales de *C. pepo*.

Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL097

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Morfotipo: Vegetable Marrow

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTORES VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Rastrera.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: peciolada, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde con vellosidad áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Alargada.

Forma de costillas: Redondeadas.

Color carne (madurez comercial): Blanca.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Blanca.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Suave fácil de marcar con la uña.

Longitud media del fruto (cm): 22

Diámetro medio del fruto (cm): 5,5

Peso medio del fruto (gr): 425



Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL005
Morfotipo: Vegetable Marrow

Género y especie: *Cucurbita pepo*
Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTORES VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Rastrera.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: Pecioldadas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde y con manchas, velloso áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Alargada.

Forma de costillas: Sin costillas.

Color carne: Blanca.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Crema.

Textura piel: Ligeramente ondulado.

Dureza piel: Difícil marcar con la uña.

Longitud media del fruto (cm): 18

Diámetro medio del fruto (cm): 8,3

Peso medio del fruto (gr): 420



Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL117

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Morfotipo: Vegetable Marrow

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTOR VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Rastrera.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: Peciolas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde y con vellosidad áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Alargada.

Forma de costillas: Ligeramente redondeadas.

Color carne (madurez comercial): Blanca.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Crema.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Intermedia.

Longitud media del fruto (cm): 18

Diámetro medio del fruto (cm): 7,5

Peso medio del fruto (gr): 410



Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL058

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Morfotipo: Zucchini

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTOR VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Arbustiva.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: Pecioladas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde y con velloso áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Curvada.

Forma de costillas: Sin costillas.

Color carne (madurez comercial): Blanca.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Crema.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Suave.

Longitud media del fruto (cm): 20

Diámetro medio del fruto (cm): 4,5

Peso medio del fruto (gr): 390





Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL044

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Morfotipo: Vegetable Marrow

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTOR VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Rastrera.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: Pecioldadas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde y con vellosidad áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Alargada.

Forma de costillas: Sin costillas.

Color carne (madurez comercial): Blanco.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Blancas.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Suave, fácil marcar con la uña.

Longitud media del fruto (cm): 19

Diámetro medio del fruto (cm): 6,5

Peso medio del fruto (gr): 405



Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL003

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Morfotipo: Vegetable Marrow

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTORES VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Arbustiva.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: Pecioldadas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde y con vellosidad áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolo de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolo robusto, sulcado, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Alargada.

Forma de costillas: Sin costillas.

Color carne (madurez comercial): Blanco.

Color piel (madurez comercial): Verde.

Dibujo (manchas): Con bandas desde la zona peduncular a la estilar.

Color manchas: Crema.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Intermedia.

Longitud media del fruto (cm): 19,5

Diámetro medio del fruto (cm): 6,5

Peso medio del fruto (gr): 415



Resultados y discusión

Nº accesión: CpCAL112

Morfotipo: Zucchini

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTOR VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto.

Forma de la planta: Arbustiva.

Presencia de zarcillos: Si.

Tipo de hoja: Pecioldadas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde y con vellosidad áspera en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.

DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.

DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Curvada.

Forma de costillas: Sin costillas.

Color carne (madurez comercial): Blanca.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Crema.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Suave.

Longitud media del fruto (cm): 21

Diámetro medio del fruto (cm): 4,5

Peso medio del fruto (gr): 400



Resultados y discusión

Nº accesión: Cronos

Morfotipo: Zucchini

Género y especie: *Cucurbita pepo*

Nombre de la variedad: Calabacín

DESCRIPTOR VEGETATIVOS:

Planta: Monoica.

Vigor: Alto

Forma de la planta: Arbustiva

Presencia de zarcillos: Si

Tipo de hoja: Pecioladas, grande, palmeada, con cinco lobulaciones, de color verde con manchas, velloso áspero en la parte inferior del limbo. Márgenes dentados.



DESCRIPTORES FLORALES:

Brotación: Brotan en los nudos de los tallos (Flores axilares).

Flores: Pentámeras y solitarias.

Corola: De color amarilla, de forma acampanada en la base y abierta arriba en cinco lóbulos triangulares.

Flores masculinas: Peciolos de 7-20cm de largo, cáliz campanulado, sépalos lineales, corola tubular, campanulada y 3 estambres.

Flores femeninas: Peciolos robustos, sulcados, ovario globoso, oblado, ovoide, cilíndrico, liso, piriforme, ínfero, multilocular, cáliz muy reducido.



DESCRIPTORES DEL FRUTO:

Forma: Curvada.

Forma de costillas: Sin costillas.

Color carne (madurez comercial): Blanca.

Color piel: Verde.

Dibujo (manchas): Punteado.

Color manchas: Crema.

Textura piel: Suave.

Dureza piel: Suave.

Longitud media del fruto (cm): 20

Diámetro medio del fruto (cm): 4,5

Peso medio del fruto (gr): 400



4.2. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE LA EXPRESIÓN SEXUAL EN DIFERENTES VARIEDADES TRADICIONALES DE CALABACÍN.

Las variedades de calabacín son monoicas, y desarrollan flores unisexuales femeninas y masculinas en el mismo pie de planta. Por tanto, a lo largo del desarrollo de una planta de calabacín se pueden distinguir tres fases de desarrollo sexual (Figura 25). En la fase inicial, que engloba los primeros 4-8 nudos, la planta solo produce flores masculinas. Tras esa fase comienza la fase productiva, que se caracteriza por una alternancia de flores masculinas y femeninas en proporciones variables; y por último una fase de desarrollo femenino en la que la planta únicamente produce flores femeninas (Manzano, 2009). No obstante, la expresión sexual en cucurbitáceas, es decir, el número de flores femeninas y masculinas por planta, también está regulado por diferentes factores ambientales. Las condiciones invernales, con días cortos, intensidad de luz baja, y bajas temperaturas nocturnas, promueven la producción de flores femeninas, mientras que las condiciones de verano son capaces de inducir la producción de flores masculinas (Wien, 2002; Peñaranda et al. 2007; Manzano et al. 2010a, 2010b).

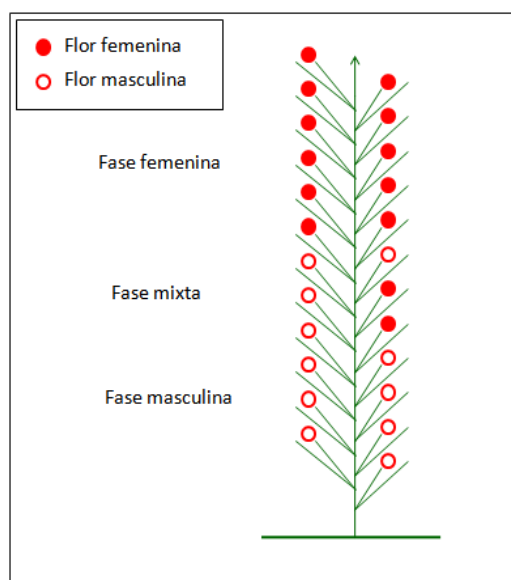


Figura 25. Expresión sexual de calabacín. Se observan 8 nudos masculinos iniciales, 6 nudos que representan la fase intermedia y por último 10 nudos que representan la fase femenina.



Resultados y discusión

El factor varietal también es muy importante en la regulación de la expresión sexual (Manzano, 2009). Puesto que todas las variedades de calabacín son monoicas, se desconocen el número de loci implicados en la determinación del sexo de esta especie. No obstante, al igual que en pepino y melón, las hormonas, y especialmente el etileno, juegan un papel importante en el control de la determinación sexual. Tanto la producción como la sensibilidad a etileno son necesarias para la inducción y el desarrollo de las flores femeninas en *C. pepo*. La aplicación de etileno tiene un efecto feminizante en varias variedades de *C. pepo*, reduciendo la fase de desarrollo masculino inicial e incrementando el número de flores femeninas por planta (Matlob and Basher, 1983; Payán et al. 2006; Peñaranda et al. 2007; Manzano et al. 2011; Manzano et al. 2013).

En este primer apartado se detalla el análisis de la expresión sexual en 8 variedades sometidas a estudio, 1 híbrido comercial y 7 cultivares tradicionales.

4.2.1. Análisis de la expresión sexual.

Para caracterizar la expresión sexual de las variedades de calabacín *CpCAL097*, *CpCAL005*, *CpCAL117*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003*, *CpCAL112* y *Cronos*, se identificó el sexo de cada una de las flores en los 20 primeros nudos del eje longitudinal de las plantas, seleccionando 10 plantas de cada variedad, bajo condiciones ambientales de primavera-verano.

Las condiciones ambientales del cultivo pueden variar el número de fase de desarrollo sexual por las que pasa la planta (Peñaranda et al. 2007). En condiciones de primavera, se distinguen dos fases de desarrollo; una fase inicial de floración masculina seguida de una fase mixta en la que se alternan flores femeninas y masculinas (Wien et al. 2004).

4.2.1.1. Distribución de flores masculinas y femeninas.

En condiciones de primavera-verano, cada una de las variedades mostró un patrón diferente de expresión sexual a lo largo del desarrollo longitudinal de la planta (Figura 26).

Resultados y discusión

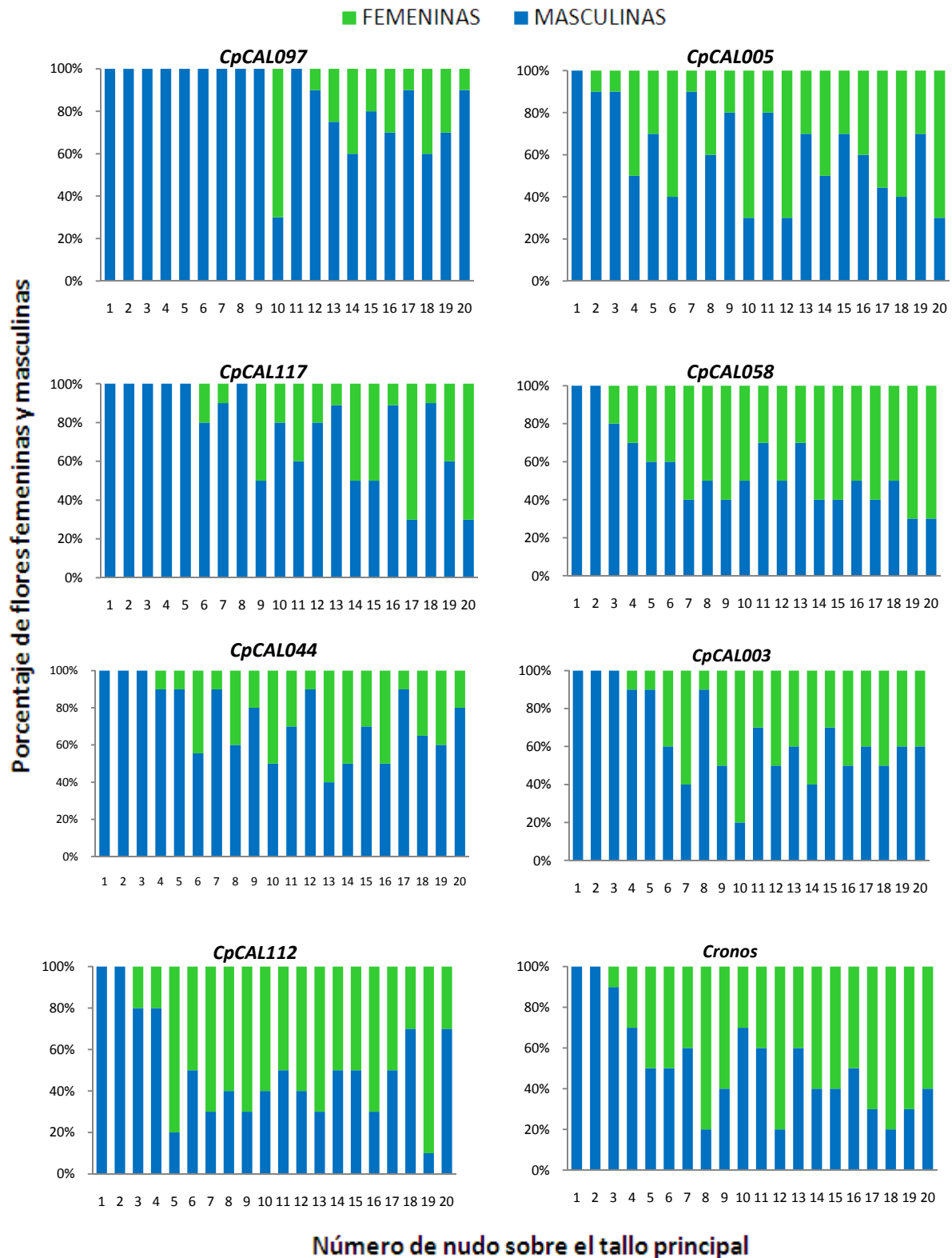


Figura 26. Caracterización de la expresión sexual de las variedades de calabacín en las condiciones ambientales primavera- verano. Cada una de las barras representa el porcentaje de flores masculinas (azul) y femeninas (verde) en cada uno de los nudos de 10 plantas de la misma variedad.



Resultados y discusión

De todas las variedades destacamos que la variedad *CpCAL097* y *CpCAL117* son las que tienen la fase masculina más larga, terminando en la variedad *CpCAL097* en el décimo nudo. Terminada la fase masculina comenzaron las plantas a desarrollar flores femeninas, desarrollándose una fase intermedia de flores masculinas y femeninas en proporciones variables. Las variedades *CpCAL097*, *CpCAL117*, *CpCAL044* y *CpCAL003* tenían una fase intermedia muy influenciada por la presencia de flores masculinas. Cabe destacar que, en los últimos nudos, las variedades *CpCAL005*, *CpCAL117*, *CpCAL058*, *CpCAL112* y *Cronos* mostraron un incremento del número de flores femeninas. Además, en ninguna de las variedades se ha observado una fase final femenina (Figura 26) coincidiendo con los datos encontrados por Wien et al (2004).

Según los estudios recientes realizados por Martínez et al (2013) en condiciones de crecimiento de altas temperaturas (primavera/ verano), ciertos cultivares de *C. pepo* presentan inestabilidad para monoecia o andromonoecia parcial, es decir, las flores femeninas se convierten en flores bisexuales. Los cultivares *CpCAL005*, *CpCAL044* y *CpCAL097* presentaban monoecia parcial; en cambio los cultivares *CpCAL003* y *CpCAL112* eran monoicos estables (Martínez, 2013).

En nuestras condiciones ninguno de los cultivares mostraron una conversión de flores femeninas en bixuales, aunque este rasgo está modulado por el régimen de temperaturas, también está regulada genéticamente (Martínez, 2013).

4.2.1.2. Comparación de la precocidad y la producción de flores femeninas.

El desarrollo del fruto en las cucurbitáceas ha sido objeto de fascinación durante años (Wien, 1997). Por su interés comercial, hemos medido dos de los caracteres que definen la expresión sexual en cucurbitáceas: precocidad de la floración femenina y el porcentaje de flores femeninas por planta.

La precocidad de la floración femenina se ha expresado como el número de nudos que se producen hasta la aparición de la primera flor femenina, es decir el número de flores masculinas que se producen en la primera fase del desarrollo sexual (Manzano, 2009).

La producción de flores femeninas, o número total de flores femeninas por planta en los 20 primeros nudos nos indica el potencial productivo de cada variedad.

Resultados y discusión

En la Figura 27 podemos observar la comparación de la precocidad en la floración femenina de todas las variedades. El análisis estadístico describe 4 grupos diferenciados de mayor a menor precocidad. Las variedades *CpCAL005*, *CpCAL058*, *CpCAL112* y *Cronos* son las más precoces, no existiendo entre ellas diferencias significativas. De entre las más precoces destaca *CpCAL112*, ya que empieza a desarrollar flores femeninas a partir del tercer nudo. Existe una diferencia estadísticamente significativa en la variedad *CpCAL097*, la producción de flores femeninas fue mucho más tardía, terminando la fase inicial masculina en el onceavo nudo.

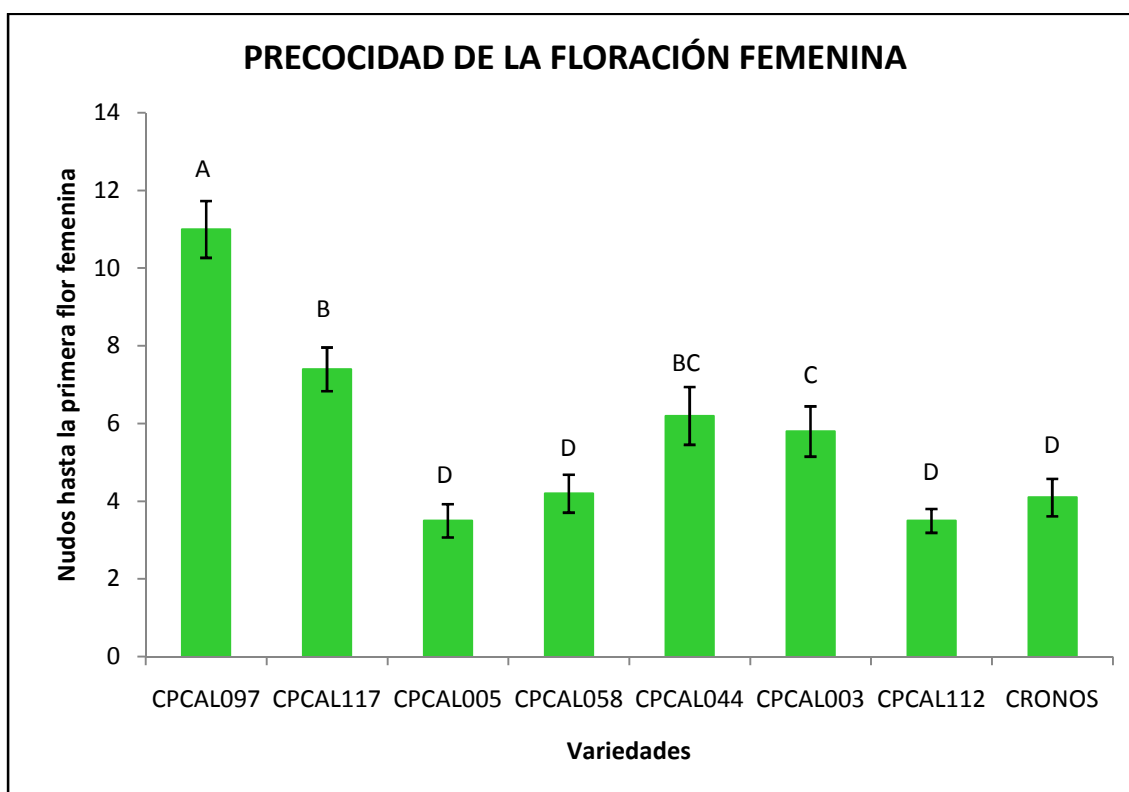


Figura 27. Precocidad de la floración femenina en diferentes variedades de *C. pepo*. Cada una de las barras indica el número medio de nudos hasta la aparición de la primera flor femenina. Las barras de error indican el error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre las variedades estudiadas (test LSD, $p < 0.05$)

Respecto a la producción de flores femeninas por planta, el análisis estadístico describe cuatro grupos diferenciados, siendo las variedades *CpCAL112*, *Cronos* y *CpCAL058* las

Resultados y discusión

que más flores femeninas produjeron, no existiendo entre ellas diferencias significativas (Figura 28).

La comparación de la precocidad y producción de flores femeninas (Figura 27 y 28) indican que la variedad *CpCAL112* posee un fenotipo sexual bastante ginoico, la fase inicial masculina fue muy corta, además la producción de flores femeninas fue mucho mayor que las demás variedades con una media de 10 flores (Figura 28).

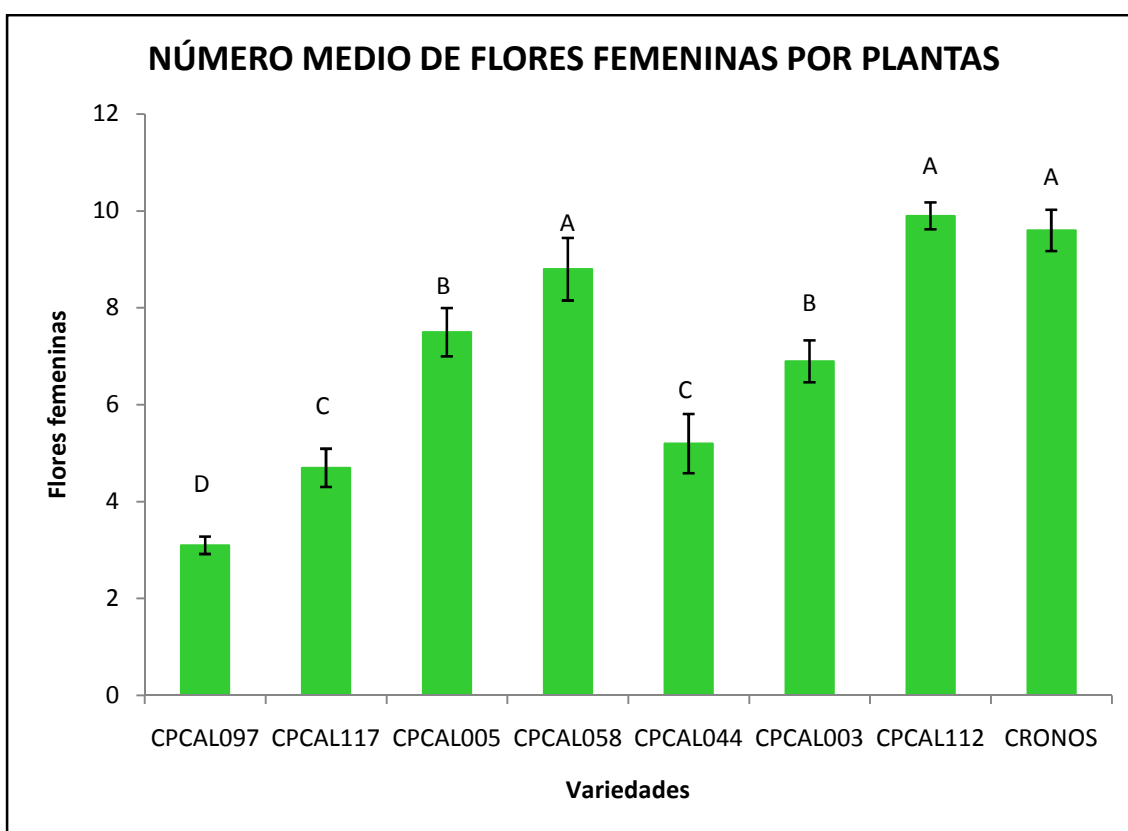


Figura 28. Número medio de flores femeninas por planta en diferentes variedades de *C. pepo*. Cada una de las barras indica el número medio de flores femeninas a lo largo de los 20 primeros nudos de la planta. Las barras de error indican el error estándar. Las letras indican diferencias significativas entre variedades (test LSD $p < 0.05$)

Por el contrario, la variedad *CpCAL097* es más androica y muestra un comportamiento diferente tanto en producción como en precocidad a la mayoría de las variedades de calabacín. Presenta la entrada en producción aproximadamente sobre el onceavo nudo dando



Resultados y discusión

lugar a un mayor porte y vigor de la planta al destinar todos los insumos a las zonas de desarrollo vegetativas y nada a la parte reproductiva (Domínguez, 2008).

4.3. ANÁLISIS DEL NIVEL DE PARTENOCARPIA DE DIFERENTES VARIEDADES DE CALABACÍN (*Cucurbita pepo*).

El estudio se realizó en la temporada de primavera- verano en condiciones que no favorecen el crecimiento partenocárpico, teniendo en cuenta que la producción de frutos partenocárpicos en un cultivar es muy dependiente de las condiciones ambientales. Se sabe que las condiciones de invierno, temperaturas especialmente bajas, son capaces de promover la partenocarpia en *C. pepo* (Globerson 1971, Rylski 1947b, Nijs and Balder 1983, Rylski and Aloni 1990, Robinson and Reiners 1999, Gómez et al. 2004).

Nijs y Zaten (1982), Om y Hong (1989) y Robinson y Reiners (1999) estudiaron el potencial partenocárpico de diferentes cultivares de *C.pepo*, concluyendo que el mayor nivel de partenocarpia se encuentra en los genotipos con la piel de color verde oscuro del morfotipo Zucchini y Coccozelle.

Con el fin de cuantificar el potencial partenocárpico de las variedades de *C. pepo* expuestas a estudio, *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003*, *CpCAL112* y *Cronos*. Se seleccionaron 10 plantas, de cada una de las variedades cultivadas en ausencia de polinizadores y sin tratamientos hormonales. Los frutos que se consideraron partenocárpicos son los que alcanzaron el tamaño comercial (16 cm de longitud) a los 7 días tras la apertura floral.

En las siguientes figuras y tablas (Figura 29, Figura 30, Figura 31, Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5) se muestran los resultados en cuanto el crecimiento medio (longitud, diámetro apical y basal) de los frutos en ausencia de polinización en antesis y a los días 1, 3, 5 y 7 post antesis (DPA).

Resultados y discusión

4.3.1. Evolución de la longitud de los frutos partenocárpicos.

Puede observarse cómo las variedades *Cronos* y *CpCAL112*, pertenecientes al morfotipo Zucchini, destacaron ya que a los 5 días después de antesis (DPA) tenían un crecimiento ascendente hasta alcanzar un tamaño comercial, esta tendencia se mantuvo hasta el día 7 DPA.

Los frutos, sin polinizar, de la variedad *CpCAL058* abortaron después de los 3 DPA. En las demás variedades la tasa de crecimiento era muy baja y todos sus frutos terminaron abortando.

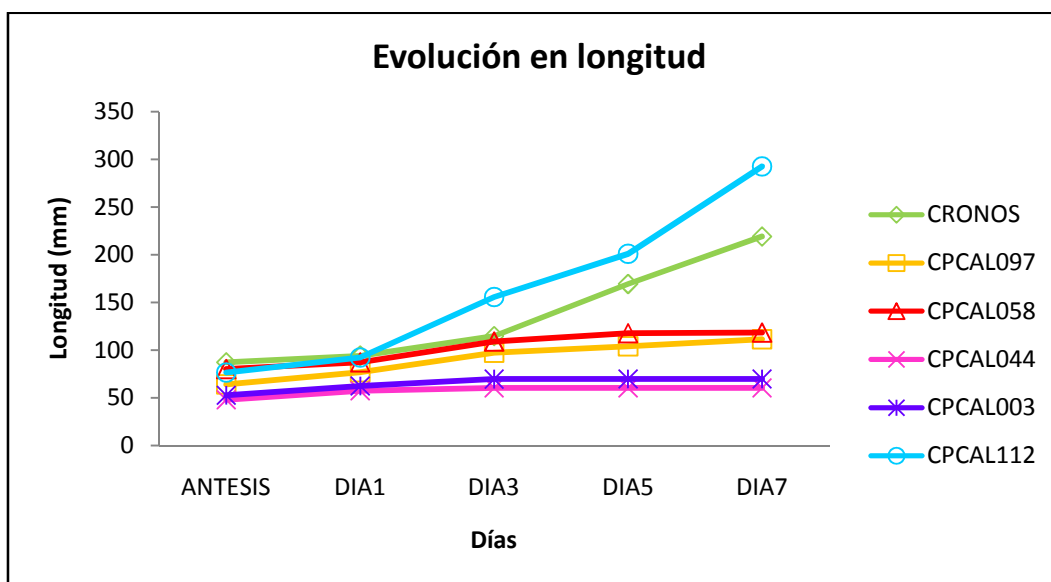


Figura 29. Comparación del crecimiento en longitud de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a las 1, 3, 5 y 7 DPA.

Resultados y discusión

Tabla 3. Comparación de la longitud media de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a los 1, 3, 5 y 7 DPA.

Variedad	Antesis		DIA1		DIA3	
	Longitud(mm)	(*)	Longitud(mm)	(*)	Longitud(mm)	(*)
CpCAL097	64,002 ± 2,932	C	76,738 ± 4,499	B	97,285 ± 7,778	B
CpCAL058	80,017 ± 2,589	AB	86,961 ± 2,931	AB	108,890 ± 4,563	B
CpCAL044	47,993 ± 1,746	D	57,326 ± 1,700	C	60,385 ± 2,180	C
CpCAL003	52,657 ± 3,403	D	62,357 ± 4,103	C	69,570 ± 5,151	C
CpCAL112	76,420 ± 3,463	B	92,226 ± 5,813	A	155,560 ± 10,880	A
Cronos	87,102 ± 2,913	A	93,972 ± 4,580	A	114,550 ± 4,308	B
Variedad	DIA 5		DIA 7			
	Longitud(mm)	(*)	Longitud(mm)	(*)		
CpCAL097	103,910 ± 10,035	B	111,370 ± 13,759	CD		
CpCAL058	117,740 ± 4,985	B	118,460 ± 5,186	C		
CpCAL044	60,385 ± 2,180	C	60,385 ± 2,180	E		
CpCAL003	69,597 ± 5,155	C	69,597 ± 5,155	DE		
CpCAL112	200,900 ± 13,103	A	292,500 ± 18,398	A		
Cronos	169,300 ± 20,432	A	219,080 ± 27,636	B		

Los valores indican la media ± error estándar. Las diferencias entre las distintas variedades se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Los valores, seguidos por la misma letra, no presentan diferencias significativas a $p \leq 0.05$.

Por lo tanto, a partir del día 5 DPA *CpCAL112* con una longitud de 200,9 mm y *Cronos* con 169,3 mm se mostraron como las variedades más partenocárpicas, siendo la longitud de sus frutos estadísticamente diferente al resto de las demás variedades. A día 7 DPA la única variedad que se diferenció significativamente del resto por su alto valor fue *CpCAL112* con una longitud de 292,5 mm seguida de *Cronos* 219 mm (Tabla 3 y Figura 29). Los resultados indican que las variedades más partenocárpicas crecen más rápido y que las mayores diferencias entre variedades se producen a los 5 y 7 días DPA.

Las variedades que muestran aproximadamente los mismos valores o con pequeños incrementos de longitud tanto a día 5 y a día 7 DPA, fueron las variedades cuyos frutos abortaron sin haber alcanzado el tamaño comercial. Las variedades fueron: *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044* y *CpCAL003*.

Como podemos apreciar claramente en la Figura 29, a partir del día 5 DPA puede observarse, en cuanto al crecimiento partenocárpico, que las variedades *CpCAL112* y *Cronos* son las más partenocárpicas (alcanzando entre los días 5 y 7 DPA las dimensiones



Resultados y discusión

comerciales). La variedad *CpCAL058* entre la antesis y 3 días DPA mostró un aumento de la longitud pero al pasar el día 3 DPA se produjo un punto de inflexión y abortaron todos sus frutos. Las variedades que apenas no mostraron comportamiento partenocárpico y conforme iban transcurriendo los días iban abortando fueron las variedades *CpCAL097*, *CpCAL044* y *CpCAL003*.

Estos resultados coinciden para *Cronos*, con los encontrados por Puertas- Martín (2008), quien a los 6 DPA observaba que el 50% de los frutos habían alcanzado el tamaño comercial (16 cm). Los resultados obtenidos de las variedades *CpCAL097*, *CpCAL044*, *CpCAL003* y *CpCAL112* se ajusta a lo hallado por Martínez (2013), quien clasificó las variedades *CpCAL097*, *CpCAL044* y *CpCAL003* como cultivares no partenocárpicos, ya que los frutos, sin polinizar, abortaban después del día 3 DPA. La variedad *CpCAL112* la clasificó como cultivar partenocárpico, el crecimiento del fruto aumentó progresivamente a lo largo de los 7 días de estudio, alcanzando la longitud comerciable antes o al 7 DPA.

4.3.2. Evolución de los diámetros apical y basal.

Observando las figuras 29,30 y 31 y las Tablas 3, 4 y 5, se puede apreciar que existe en las variedades partenocárpicas una proporción directa entre el crecimiento longitudinal y el grosor de los frutos, ya que las variedades que más crecen en longitud corresponde a la que más los hacen en diámetro apical y basal.

Las variedades que no muestran aumento en el grosor y que por tanto abortan, coinciden con las que ya se han mencionado con respecto a los resultados de longitud.

Resultados y discusión

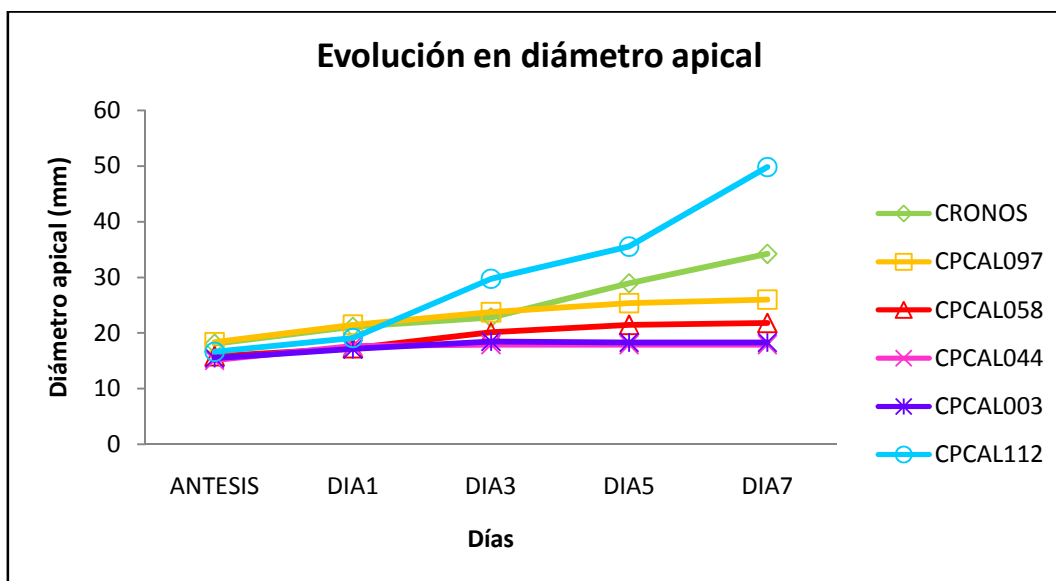


Figura 30. Comparación del crecimiento del diámetro apical de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a las 1, 3, 5 y 7 DPA.

Tabla 4. Comparación del diámetro apical medio de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a los 1, 3, 5 y 7 DPA.

Variedad	Antesis		DIA1		DIA3	
	Diámetro apical(mm)	(*)	Diámetro apical(mm)	(*)	Diámetro apical(mm)	(*)
CpCAL097	18,357 ± 2,076	A	21,462 ± 2,376	A	23,708 ± 2,424	B
CpCAL058	15,801 ± 0,378	A	17,265 ± 0,354	B	20,105 ± 0,423	BC
CpCAL044	15,090 ± 1,101	B	17,644 ± 0,886	B	17,896 ± 0,933	C
CpCAL003	15,471 ± 0,521	AB	17,105 ± 0,602	B	18,429 ± 0,674	C
CpCAL112	16,607 ± 0,575	AB	19,090 ± 0,570	AB	29,728 ± 1,447	A
Cronos	18,070 ± 0,564	A	21,098 ± 1,233	A	22,778 ± 1,384	B
Variedad	DIA 5		DIA 7			
	Diámetro apical(mm)	(*)	Diámetro apical(mm)	(*)		
CpCAL097	25,339 ± 2,671	BC	25,960 ± 2,330	C		
CpCAL058	21,445 ± 0,616	CD	21,773 ± 0,736	CD		
CpCAL044	17,896 ± 0,933	D	17,896 ± 0,933	D		
CpCAL003	18,271 ± 0,621	D	18,271 ± 0,621	D		
CpCAL112	35,513 ± 2,636	A	49,806 ± 2,710	A		
Cronos	28,914 ± 3,112	B	34,198 ± 4,311	B		

Los valores indican la media ± error estándar. Las diferencias entre las distintas variedades se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Los valores, seguidos por la misma letra, no presentan diferencias significativas a $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

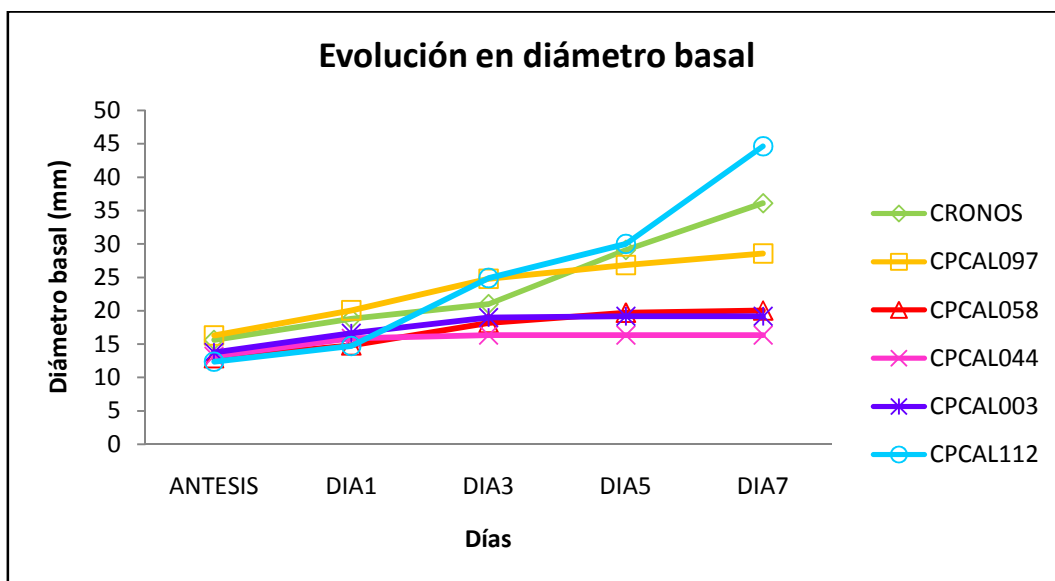


Figura 31. Comparación del crecimiento del diámetro basal de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a las 1, 3, 5 y 7 DPA.

Tabla 5. Comparación del diámetro basal medio de los frutos no polinizados de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbita pepo*) en antesis y a los 1, 3, 5 y 7 DPA.

Variedad	Antesis		DIA1		DIA3	
	Diámetro basal(mm)	(*)	Diámetro basal(mm)	(*)	Diámetro basal(mm)	(*)
CpCAL097	16,295 ± 1,892	A	20,054 ± 1,921	A	24,791 ± 2,346	A
CpCAL058	12,898 ± 0,582	BC	14,799 ± 0,578	C	18,158 ± 0,909	BC
CpCAL044	13,165 ± 0,558	BC	15,835 ± 0,740	BC	16,334 ± 0,737	C
CpCAL003	13,753 ± 0,451	ABC	16,625 ± 0,708	BC	18,991 ± 0,940	BC
CpCAL112	12,340 ± 0,923	C	14,696 ± 0,908	C	24,881 ± 1,676	A
Cronos	15,611 ± 0,840	AB	18,781 ± 1,408	AB	20,982 ± 1,175	AB
Variedad	DIA 5		DIA 7			
	Diámetro basal(mm)	(*)	Diámetro basal(mm)	(*)		
CpCAL097	26,854 ± 2,414	A	28,562 ± 2,712	C		
CpCAL058	19,692 ± 1,194	B	20,020 ± 1,418	D		
CpCAL044	16,334 ± 0,737	B	16,334 ± 0,737	D		
CpCAL003	19,170 ± 0,948	B	19,170 ± 0,948	D		
CpCAL112	29,994 ± 2,223	A	44,626 ± 2,618	A		
Cronos	29,114 ± 2,050	A	36,106 ± 3,249	B		

Los valores indican la media ± error estándar. Las diferencias entre las distintas variedades se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA). Los valores, seguidos por la misma letra, no presentan diferencias significativas a $p \leq 0.05$.



Resultados y discusión

Finalmente, los resultados fueron semejantes a los encontrados por Ruíz- Platt (2013) quien determinó que existe un paralelismo entre el crecimiento en longitud y el crecimiento en calibre de los frutos, ya que las variedades que más crecen en longitud corresponde a la que más los hacen en grosor.

4.4. COMPARACIÓN DEL INCREMENTO DEL TAMAÑO DE LOS FRUTOS NO POLINIZADOS Y POLINIZADOS DE DIFERENTES VARIEDADES DE CALABACÍN.

Una vez determinado que el nivel de partenocarpia de una determinada variedad puede ser evaluado en relación a la longitud y/o diámetro de sus frutos a los 3 y 5 DPA, hemos estudiado si los incrementos en el tamaño (longitud y calibre) de los frutos se correlacionan con la producción de etileno en las diferentes variedades, tal y como ha reportado Martínez (2013). Para ello, en primer lugar vamos a comparar los incrementos en la longitud y calibre de los frutos polinizados y no -polinizados a los 3 y 5 DPA en cada una de las variedades; y posteriormente la producción de etileno en esos mismos frutos.

Tal y como era de esperar, los frutos polinizados de las diferentes variedades mostraron una tasa de crecimiento mucho mayor que los frutos no polinizados, especialmente en las variedades menos partenocárpicas. Esto se observó directamente en los frutos (Figura 32), y queda demostrado en los análisis estadísticos que se muestran en las figuras 33, 34 y 35.

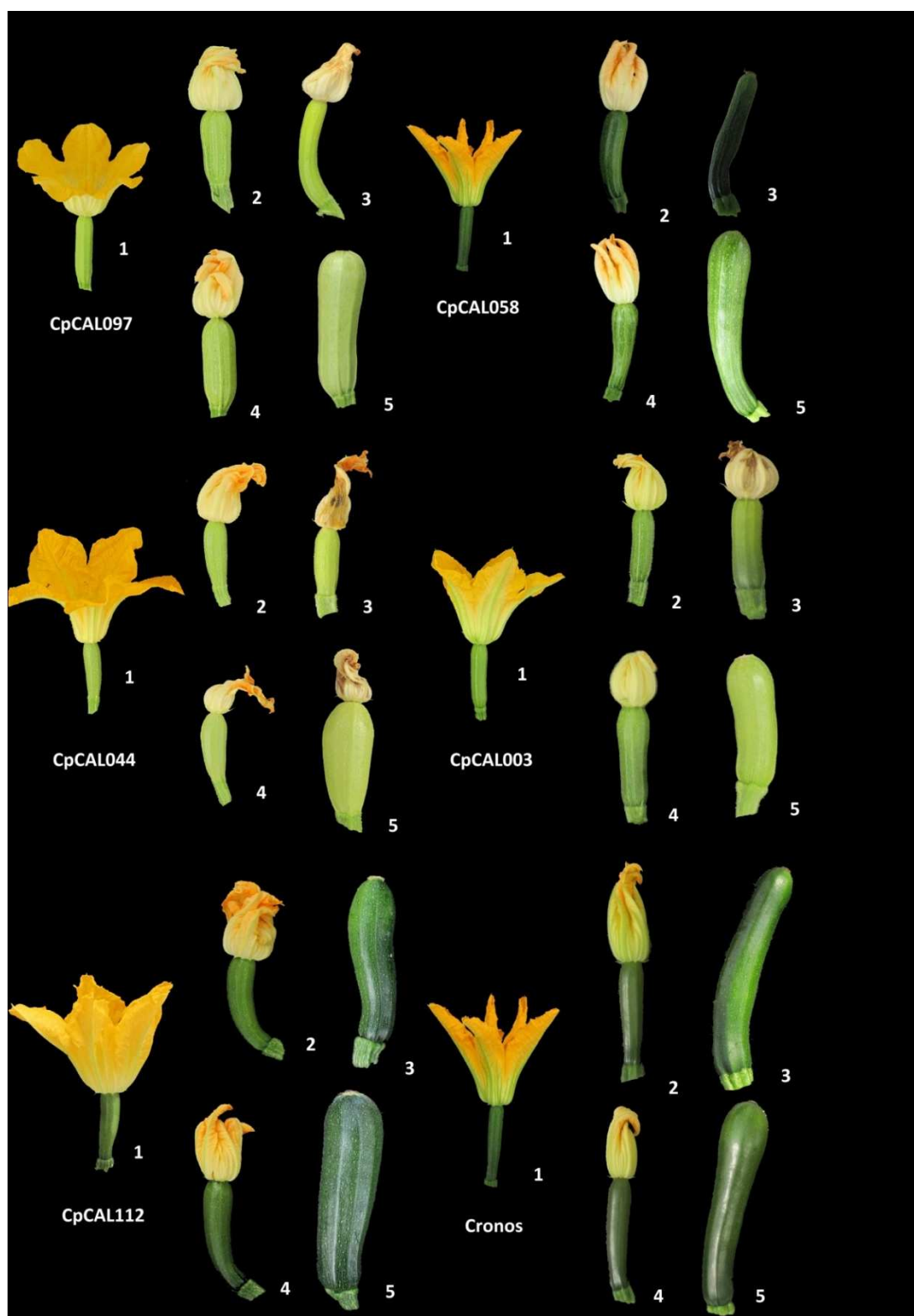


Figura 32. Morfología y tamaño de los frutos polinizados y no polinizados de las variedades; *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044*, *CpCAL003*, *CpCAL112* y *Cronos*. 1: flor en anthesis. 2: fruto no polinizado a los 3 DPA. 3: fruto no polinizado a los 5 DPA. 4: fruto polinizado a los 3 DPA. 5: fruto polinizado a los 5 DPA.



Resultados y discusión

Debemos de tener en cuenta que ninguna de las variedades establece frutos por partenocarpia iguales que cuando son polinizadas, excepto las variedades partenocárpicas *CpCAL112* y *Cronos* que presentan un aspecto del fruto parecido en los frutos que han sido polinizados a los que no han sido polinizados. Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Robinson and Reiners (1999) que indicaron que ninguno de los cultivares estudiados se obtenían frutos partenocárpicos iguales que los polinizados por insectos. Por tanto, la partenocarpia podría complementar a los insectos polinizadores y mejorar así la producción de frutos de calabacín cuando las condiciones son desfavorables para la polinización.

La evaluación de distintos morfotipos de *C. pepo* reveló que es el morfotipo Zucchini es el que tiene más alto grado de partenocarpia natural. Los niveles más bajos fueron detectados en Coczelle y Caserta (Om and Hong, 1989). Los resultados también indicaron que cultivares que producen frutos negros parecen tener un mayor grado de desarrollo partenocárpico (Om and Hong, 1989). Los resultados más concluyentes fueron obtenidos por Robinson y Reiners (1999). Estos autores estudiaron 35 variedades durante más de 4 años, concluyendo que los frutos de piel oscura del morfotipo Zucchini producen mayor porcentaje de frutos partenocárpicos. Nuestros resultados coinciden, por tanto, con resultados anteriores, ya que *Cronos* y *CpCAL112* pertenecen al morfotipo Zuchinni, de piel oscura y se han clasificado como partenocárpicas.

4.4.1. Longitud de los frutos.

Los resultados obtenidos respecto al incremento longitudinal se han representado en la Figura 33. Los frutos, de cada variedad se han separado a los 3 y 5 DPA. Dentro de cada día de control se ha realizado un análisis estadístico comparando el incremento longitudinal que alcanzan los frutos polinizados y no polinizados.

Resultados y discusión

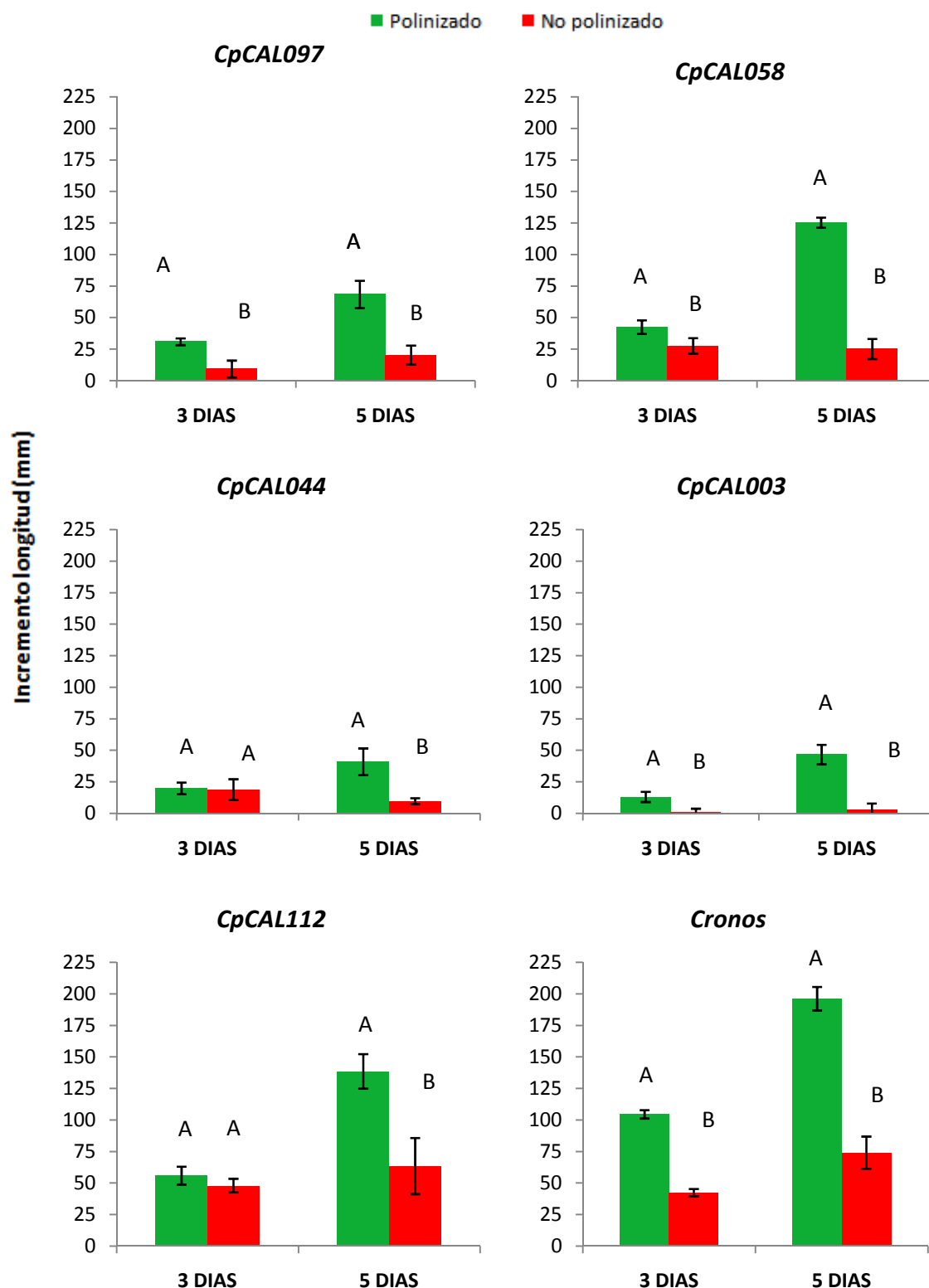


Figura 33. Comparación del incremento en longitud entre los frutos polinizados y no polinizados, a los 3 y 5 DPA, dentro de una misma variedad. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados y no polinizados en una misma variedad.



Resultados y discusión

Tal y como se observa en la Figura 33, a los 3 DPA los frutos polinizados y no polinizados de algunas variedades ya mostraron diferencias significativas. Tal es el caso de las variedades *CpCAL097*, *CpCAL003* y *Cronos*. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en las variedades *CPCAL058*, *CPCAL044* y *CpCAL112*.

En *CpCAL112* el valor del incremento longitudinal entre los frutos polinizados (55,950mm) y no polinizados (48,050mm) fue muy similar, siendo sus frutos no polinizados los que mayor incremento presentaban.

A los 5 días todas las variedades presentaban diferencias significativas en su incremento longitudinal de sus frutos polinizados y no polinizados. Esto indica que las variedades muestran una mejor respuesta a la polinización, y por ello que el fruto alcance mayor incremento longitudinal.

En todas las variedades el incremento es el más del doble. Matizamos que las variedades *CpCAL058*, *CpCAL112* y *Cronos* son las que mayor incremento longitudinal tienen sus frutos polinizados a las 5 DPA (*CpCAL058* y *CpCAL112* sobrepasan los 120 mm y *Cronos* los 190mm).

Globalmente, estos resultados coinciden con los encontrados por Puertas- Martín (2008) quién a los 3 días DPA observó que los frutos polinizados de diferentes variedades de calabacín alcanzaban la longitud comercial y a los 5 días DPA la sobrepasaban.

4.4.2. Diámetros de los frutos.

Los resultados obtenidos respecto al incremento del diámetro apical y basal se han representado en las Figuras 34 y 35.

Dentro de cada variedad los frutos que mostraron mayor incremento de su diámetro basal fueron los frutos polinizados. Además las variedades más partenocárpicas fueron las que tuvieron mayor incremento de sus frutos.

A los 3 DPA, la comparación de los frutos polinizados y los no polinizados mostró diferencias significativas en casi todas las variedades, excepto en las variedades *CpCAL044* y *CpCAL112*.



Resultados y discusión

En los frutos no polinizados el incremento es casi nulo en las variedades no partenocárpicas como son *CpCAL197*, *CpCAL058*, *CpCAL044* y *CpCAL003*. Siendo mayor su incremento apical en las variedades clasificadas como partenocárpicas *CpCAL112* y *Cronos*.

A los 5 DPA casi todas las variedades excepto *CPCAL097* mostraron diferencias significativas entre el diámetro apical de sus frutos polinizados y no polinizados. Además el incremento de *Cronos* fue el mayor de todas las variedades tanto para los frutos polinizados como para los no polinizados.

Resultados y discusión

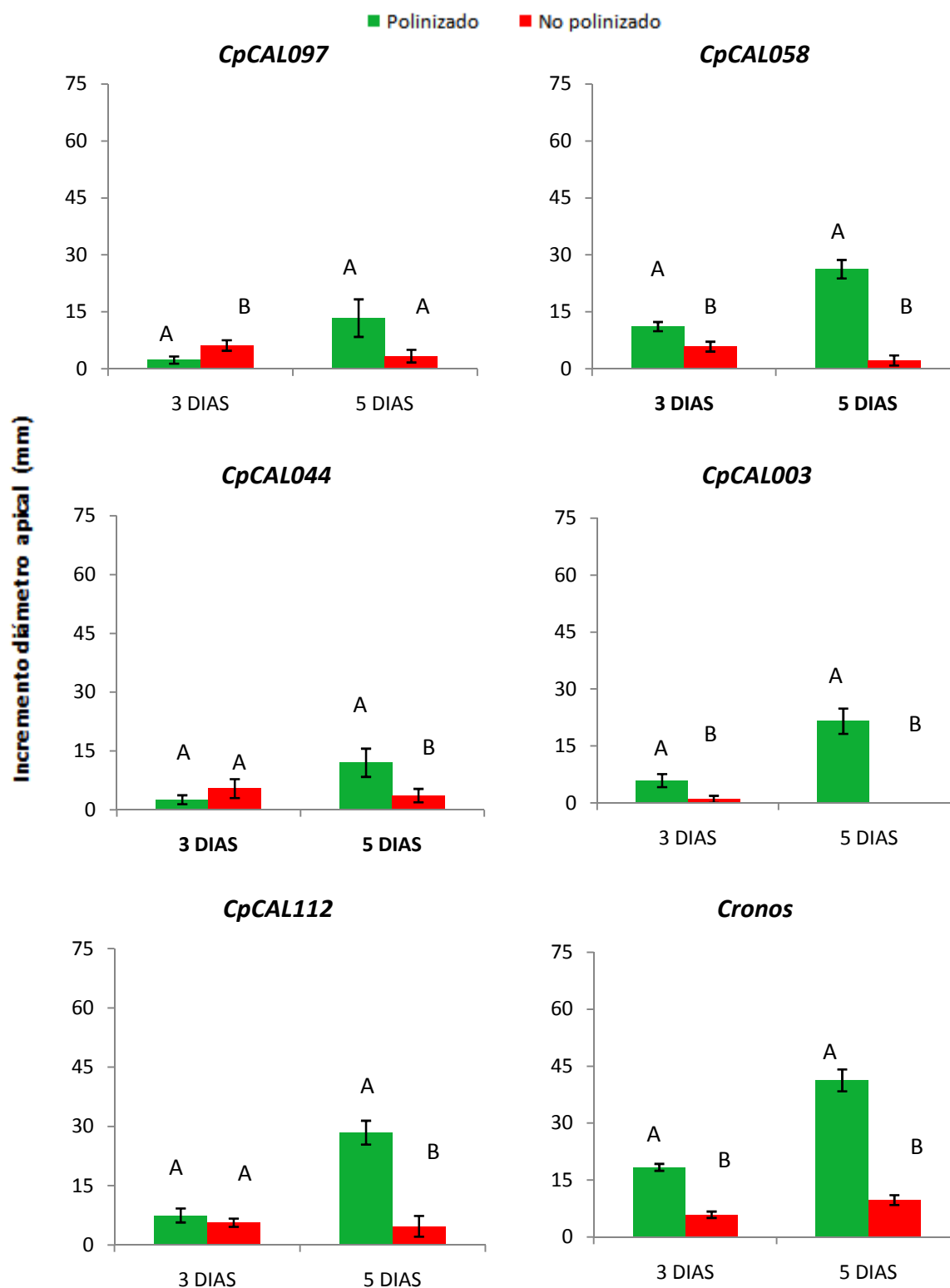


Figura 34. Comparación del incremento del diámetro apical entre los frutos polinizados y no polinizados, a los 3 y 5 DPA, dentro de una misma variedad. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados y no polinizados en una misma variedad.



Resultados y discusión

Por lo que respecta al diámetro basal, a los 3 días DPA no se ha observado ninguna diferencia significativa entre los frutos polinizados y no polinizados de cada una de las variedades, excepto en *Cronos*, que mostró un incremento en el diámetro basal de los frutos polinizados de 16,122mm.

A los 5 días DPA se detectaron diferencias significativas entre el diámetro basal de los frutos polinizados y no polinizados de las variedades *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL003* y *Cronos*. Los frutos de las variedades *CpCAL112* y *Cronos* fueron las que mostraron mayor incremento de calibre, siendo las variedades que hemos clasificado como partenocárpicas.

Resultados y discusión

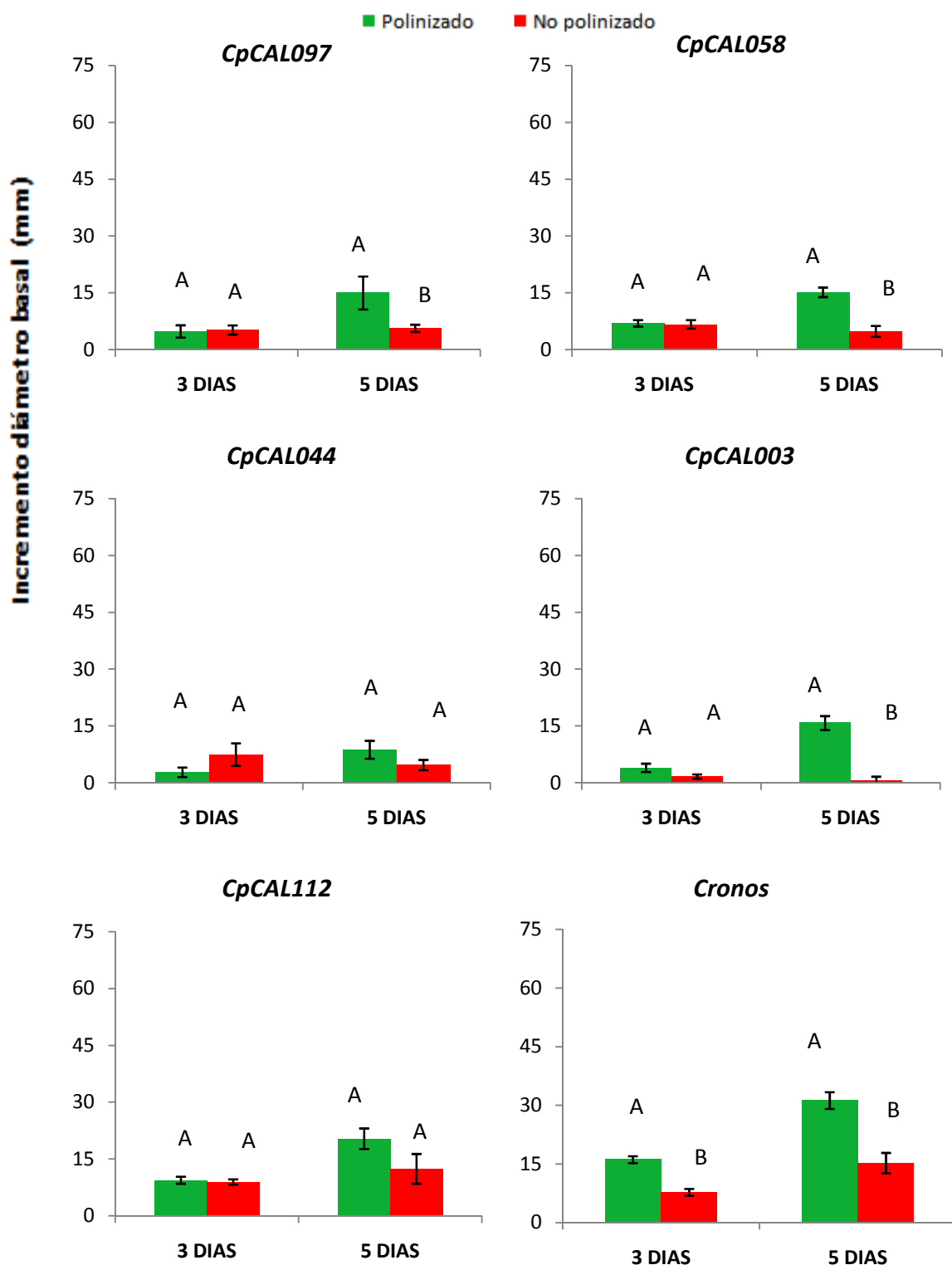


Figura 35. Comparación del incremento del diámetro basal entre los frutos polinizados y no polinizados, a los 3 y 5 DPA, dentro de una misma variedad. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados y no polinizados en una misma variedad.



Resultados y discusión

En su conjunto los resultados mostrados en las Figuras 33, 34 y 35, demuestran que el día más crítico para detectar el nivel de partenocarpia de una variedad de calabacín es a partir de los 5 días DPA. Ya que al comparar el incremento en cuanto a longitud, diámetro apical y basal entre los frutos polinizados y no polinizados apreciamos que las variedades no partenocárpicas muestran en sus frutos no polinizados unos incrementos casi nulos respecto a los tres parámetros estudiados. Las variedades clasificadas como partenocárpicas son las que cuyos frutos polinizados y no polinizados mostraron un incremento en el tamaño considerable, aunque entre ellos hayan tenido diferencias significativas. Estos resultados son semejantes a los encontrados por Puertas- Martín (2008), quien determinó en un estudio de diámetro apical, basal y longitud de los frutos polinizados y no polinizados de distintas variedades entre los 6-9 DPA es suficiente para distinguir el mayor o menos grado de partenocarpia de las mismas. Igualmente, Marcos- Espín (2010), hizo un estudio en que cuantificó el nivel de partenocarpia de varios genotipos de calabacín; y observó que a los 6 DPA, las diferencias entre frutos considerados partenocárpicos y no partenocárpicos se hacían evidentes.

Otro hecho interesante que puede concluirse a raíz de la observación de los resultados, y que coincide igualmente con el estudio hecho por Puertas- Martín (2008), es que, en las variedades con potencial partenocárpico bajo, los frutos apenas se desarrollan ni en longitud ni en calibre tras los 3 DPA, lo cual también puede considerarse como un punto clave a la hora de realizar un estudio de partenocarpia en frutos de calabacín. Esto viene a coincidir igualmente con lo visto por Marcos- Espín (2010), quien comenta en su estudio que las variedades más partenocárpicas de entre los genotipos analizados, siguen crecimiento a las 3, 6 y 9 DPA mientras hubo variedades que mostraron inhibición en el crecimiento longitudinal a los 3 y 6 DPA, las cuales no se consideraron como partenocárpicas.

Los resultados indican que los cultivares con frutos partenocárpicos tienen mayor incremento de crecimiento y que las mayores diferencias entre ellos se producen a los 5 días DPA tanto para frutos polinizados como no polinizados. De hecho, los frutos de las variedades no partenocárpicas después de la antesis a los 3 y 5 días de estudio, el incremento de crecimiento es menor. Los resultados encontrados por Martínez (2013) coinciden con nuestros resultados para las variedades tradicionales no partenocárpicas *CpCAL003*, *CpCAL097*, *CpCAL044* y la variedad partenocárpica *CpCAL112*.



Resultados y discusión

4.5. COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETILENO EN LOS FRUTOS POLINIZADOS Y NO POLINIZADOS DE DIFERENTES VARIEDADES DE CALABACÍN.

El objetivo de este apartado es analizar la implicación del etileno en el cuajado y desarrollo temprano del fruto de las variedades analizadas de *Cucurbita pepo*. Para ello hemos comparado la producción de etileno en frutos polinizados y no polinizados de las diferentes variedades durante los días posteriores a la antesis. Los resultados indican que la producción de etileno a los 3 días después de la antesis es una señal que favorece el aborto y senescencia de los frutos no polinizados. El cuajado y desarrollo del fruto está asociado a bajas producciones de etileno tanto en frutos polinizados como partenocárpicos (Martínez, 2013).

Hemos comparado la producción de etileno entre los frutos polinizados y no polinizados dentro de cada variedad en los días de antesis, y a los 3 y 5 DPA (Figura 36), para confirmar si una reducción en la producción de etileno durante el desarrollo de flores femeninas era suficiente para inducir el desarrollo partenocárpico del ovario del calabacín.

Resultados y discusión

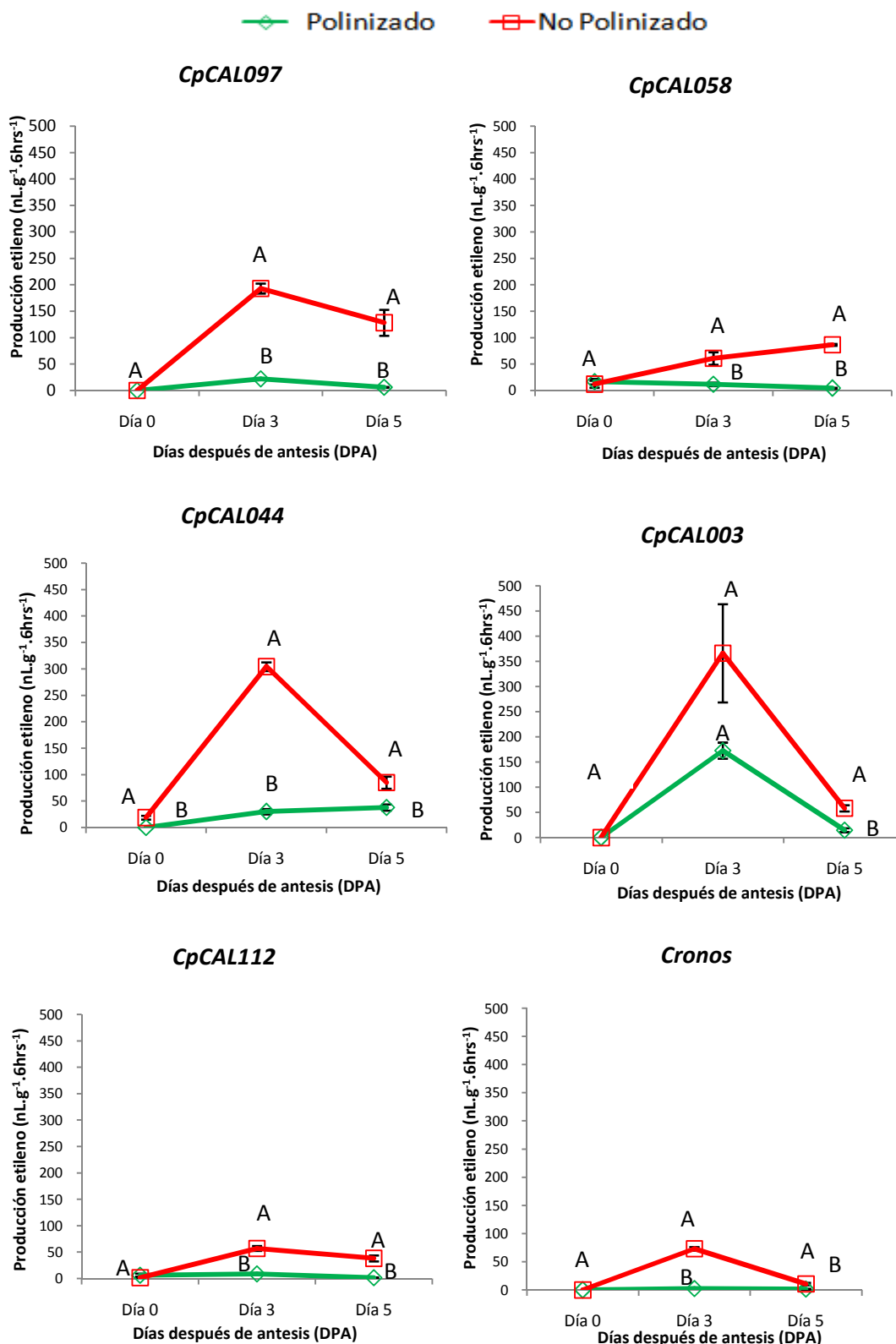


Figura 36. Cada gráfica representa el etileno desprendido de los frutos polinizados y no polinizados de las variedades. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) para frutos con el mismo tiempo (días 0, 3 y 5).



Resultados y discusión

En los 5 primeros DPA, los perfiles de producción de etileno en los frutos polinizados y no polinizados fueron muy diferentes. Se muestra en todas las variedades como a los 3 días DPA se produce un incremento en la producción de etileno, siendo mayor en los frutos no polinizados (Figura 36). Además en los cultivares no partenocárpicos, *CpCAL097*, *CpCAL058*, *CpCAL044* y *CpCAL003*, los ovarios polinizados mantienen o reducen la producción de etileno durante los días inmediatamente después a la antesis, mientras que en los ovarios no polinizados de las mismas variedades se ha producido un aumento en la producción de etileno a los 3 días DPA, originándose un pico de etileno en las variedades *CpCAL097*, *CpCAL044* y *CpCAL003* (Figura 36), coincidiendo éste con el aborto de los frutos. En las variedades partenocárpicas *CpCAL112* y *Cronos* los niveles de producción de etileno se mantuvieron bajos durante el desarrollo de los frutos polinizados y no polinizados a los 3 días DPA.

Estos resultados demuestran que la disminución en la tasa de crecimiento de los frutos no polinizados que se produce a los 3 DPA se correlaciona con una inducción de la producción de etileno en el fruto, y que el mantenimiento del crecimiento del fruto requiere un bajo nivel de etileno (Martínez et al. 2013). Por tanto, el cuajado y desarrollo del fruto de calabacín requieren de niveles bajos de etileno en el fruto durante los días posteriores a la antesis, tal y como hemos observado en los frutos no polinizados de las variedades más partenocárpicas *CpCAL112* y *Cronos*.

En la Figura 37 se compara la producción de etileno de los frutos polinizados y no polinizados de las diferentes variedades a los 3 DPA. Los frutos de las variedades no partenocárpicas producen mayor cantidad de etileno que los de las variedades no-partenocárpicas. Las variedades *CpCAL112* y *Cronos* están asociadas con una baja producción de etileno en los frutos sin polinizar, teniendo en cuenta que el pico de la producción de etileno está ausente. Existiendo diferencias significativas con las variedades no-partenocárpicas.

Resultados y discusión

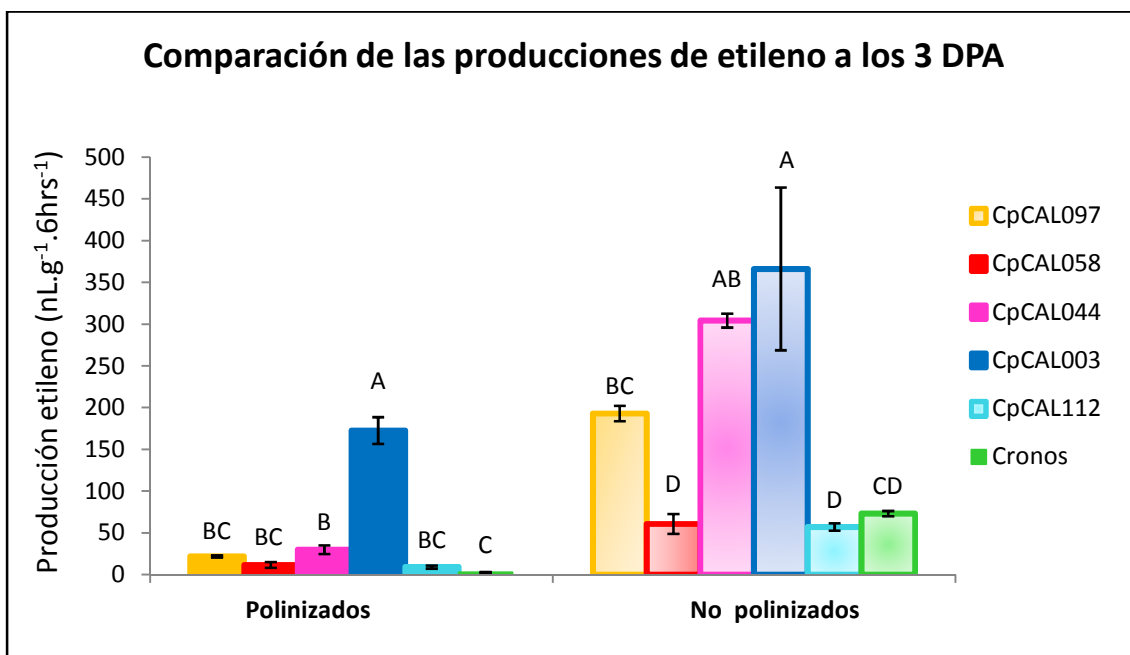


Figura 37. Producción de etileno en los frutos polinizados y no polinizados de 6 variedades de calabacín a los 3 DPA. Las barras de error indican el error estándar y las letras el test LSD (mínimas diferencias significativas $p < 0,05$) entre frutos polinizados o no polinizados de las diferentes variedades.

Basándonos en el estudio de Martínez et al. (2013) la variedad tradicional no partenocárpica *CpCAL044* mantiene niveles bajos de etileno en sus frutos polinizados, pero se induce producción de etileno a los 3 días DPA en sus frutos no polinizados. Sin embargo, en la variedad partenocárpica *CpCAL112* esto no ocurrió, y la producción de etileno se mantuvo en un bajo nivel en los frutos polinizados y no polinizados.

Estas diferencias en la producción de etileno, a los 3 días DPA, entre variedades clasificadas como partenocárpicas y no partenocárpicas podrían ser usadas como un método adecuado para seleccionar variedades partenocárpicas de *C. pepo*. De hecho, hemos detectado una correlación negativa significativa entre la producción de etileno a los 3 DPA y el incremento en el crecimiento de los frutos partenocárpicos de las distintas variedades.



Resultados y discusión

4.6. CORRELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO PARTENOCÁRPICO DEL FRUTO Y SU PRODUCCIÓN DE ETILENO.

Previamente hemos demostrado que el cuajado y desarrollo del fruto de calabacín requiere un bajo nivel de etileno en los ovarios pasados unos días después de antesis. Este efecto se produce en frutos polinizados y frutos partenocárpicos sin polinizar. La falta de polinización en frutos no partenocárpicos induce un pico de etileno en los frutos a los 3 días después de antesis relacionado con el aborto y la senescencia.

En este apartado hemos determinamos la posible correlación entre la producción de etileno de los frutos a los 3 DPA y el incremento de la longitud de los frutos partenocárpicos. La relación entre el etileno y el cuajado ha sido estudiado en *Arabidopsis* (Carbonell et al. 2011) y *Pisumsativum* (Orzaez and Granell, 1997) por el estudio de los efectos de los inhibidores de etileno en el crecimiento del fruto.

Nuestros resultados indican la existencia de una correlación negativa entre el incremento de la longitud del fruto y la producción de etileno en los ovarios, en el desarrollo de los frutos partenocárpicos a los 3 DPA. Es decir, cuanto mayor es el incremento de la longitud del fruto menor es la producción de etileno. Además en los frutos no polinizados de variedades no partenocárpicas ocurre a la inversa, cuanto mayor es la producción de etileno menor es el incremento de la longitud del fruto.

Resultados y discusión

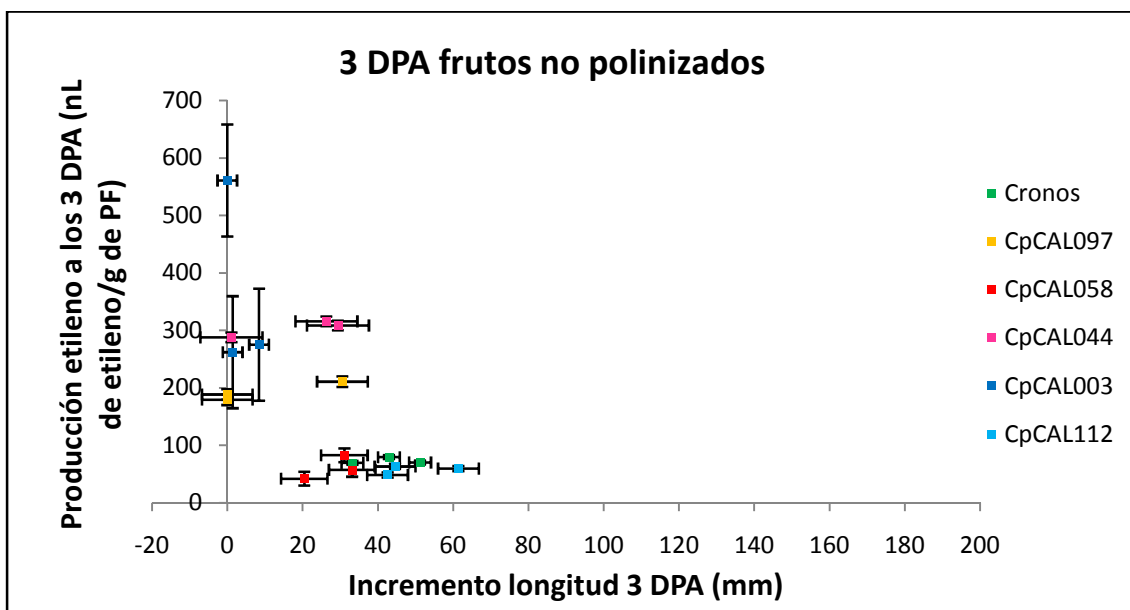


Figura 38. Regresión del incremento de la longitud de los frutos a los 3 DPA sobre la producción de etileno en frutos no polinizados a los 3 DPA de seis variedades de calabacín. El análisis de regresión lineal ($R=-0,6529$, $p=0,0033$) indican una relación moderadamente fuerte entre las variables con un nivel de significación del 95%. Las barras horizontales y verticales representan el error estándar para el incremento de la longitud y la producción de etileno, respectivamente, en cada variedad.

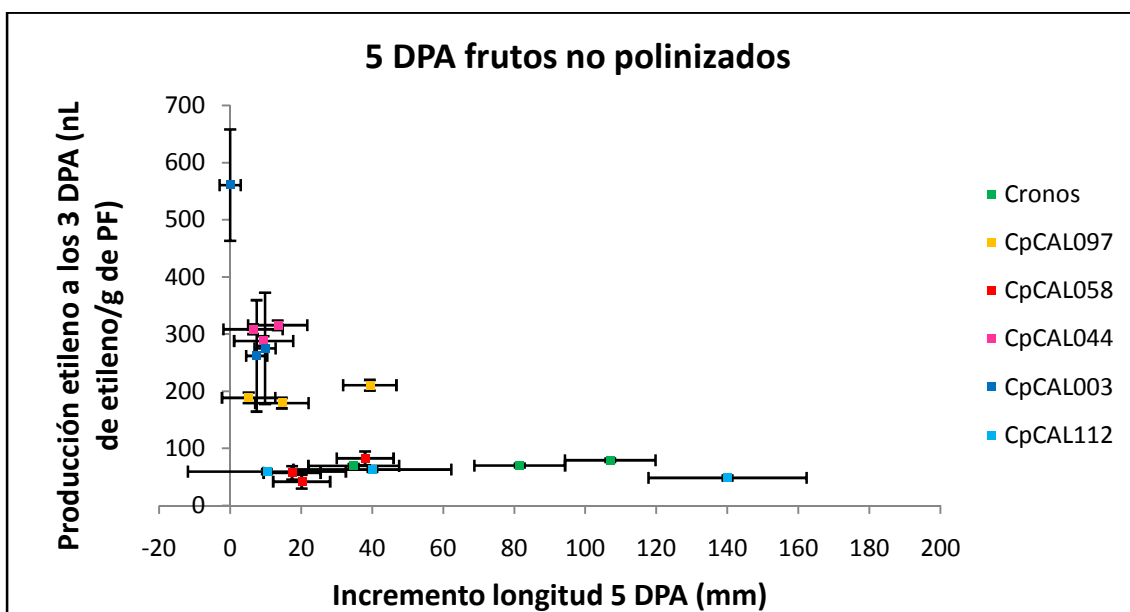


Figura 39. Regresión del incremento de la longitud de los frutos a los 5 DPA sobre la producción de etileno a los 3 DPA en seis variedades de calabacín. El análisis de regresión lineal ($R=-0,5175$, $p=0,0278$) indican una relación moderadamente fuerte entre las variables con un nivel de significación del 95%. Las barras horizontales y verticales representan el error estándar para el incremento del peso y la producción de etileno, respectivamente, en cada variedad.



Resultados y discusión

Los resultados mostrados en las Figuras 38 y 39 demuestran que las variedades que tienen unos niveles bajos de etileno aumentan el incremento del tamaño del fruto. En las variedades partenocárpicas, como son *Cronos* y *CpCAL112* los niveles de etileno son menores en comparación a las variedades no partenocárpicas, que son las restantes.

Estos resultados coinciden con los de Martínez (2013), que seleccionando seis variedades partenocárpicas y 6 no partenocárpicas, determinó una alta correlación negativa entre la partenocarpia y la producción de etileno. El fruto de los cultivares partenocárpicos produjo menos de 60 nL de etileno/g de peso fresco, mientras que los frutos de los cultivares no partenocárpicos produjo hasta 180-190 nL de etileno/g de PF. El análisis de regresión demostró una significativa correlación negativa entre el nivel de la partenocarpia en cada cultivar y la producción de etileno a los 3 DPA. En los frutos no polinizados de la variedad partenocárpica *CpCAL112* el etileno no es inducido en los días después de antesis. Además, los frutos no polinizados de las variedades no partenocárpicas *CpCAL044* y *CpCAL003*, se produce el aborto del fruto asociándose a la producción de etileno a los 3 DPA.



Conclusiones

5. CONCLUSIONES



Conclusiones

PRIMERA. La caracterización fenotípica de la expresión sexual de 8 variedades de *Cucurbita pepo* bajo condiciones de cultivo de primavera-verano ha demostrado que la variedad híbrida *Cronos* y la variedad tradicional *CpCAL112* son ginoicas, habiendo sido más precoces en la floración femenina y produciendo un mayor porcentaje de flores femeninas por planta.

SEGUNDA. El análisis del crecimiento de los frutos de diferentes variedades de calabacín durante los días posteriores a la antesis nos ha permitido identificar una variedad tradicional de calabacín con un alto nivel de partenocarpia: *CpCAL112*. Esta variedad se conserva en el banco de semillas tradicionales de la UAL (BSUAL).

TERCERA. Tanto la longitud como el calibre de los frutos no polinizados a los 5 días después de la antesis es un buen criterio de selección de partenocarpia en calabacín.

CUARTA. A los 3 días después de la antesis los frutos no polinizados de calabacín producen un pico de etileno que se asocia con el aborto y senescencia del fruto. Este pico de etileno está ausente en los frutos polinizados de todas las variedades estudiadas.

QUINTA. El crecimiento partenocárpico de los frutos durante los días posteriores a la antesis requiere de una producción de etileno muy baja. De hecho, hemos detectado una correlación negativa entre la producción a los 3 DPA y el incremento en el tamaño de los frutos de las diferentes variedades. La producción de etileno en los frutos a los 3 DPA se puede utilizar como un criterio de selección de partenocarpia en calabacín.



6. BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía

- Abeles FB, Morgan PW, Salveit ME (1992) Ethylene in plant biology. Academic Press, CA
- Atsmon D, Galun E (1962) Physiology of sex in *Cucumis sativus* L. Leaf age patterns and sexual differentiation of floral buds. *Annals of Botany* 26:137-146
- Atsmon D, Galun E (1960) A morphogenetic study of staminate, pistillate and hermaphrodite flowers in *Cucumis sativus* L. *Phytomorphology* 10:110-115
- Balbi V, Lomax TL (2003) Regulation of early tomato fruit development by the Diageotropica gene. *Plant Physiol* 131:186-197
- Barry CS, Giovannoni J (2007) Ethylene and Fruit Ripening. *J Plant Growth Regul* 26:143-159
- Byers RE, Baker LR, Sell HM, Herner RC, Dilley DR (1972b) Ethylene: A natura regulator of sex expression of *Cucumis melo* L. *Proc Natl Acad Sci USA* 69:717-720
- Cady SW, Wien HC (1994) Pollination and fruitset patterns of field grown pumpkins. *HortSci* 29:473
- Camacho F (2002) Material didáctico de Horticultura Intensiva- 3ª I.T.A. (Hortofruticultura y Jardinería) 2002/2003. Universidad de Almería.
- Carbonell-Bejerano P, Urbez C, Granell A, Carbonell J, Perez-Amador MA (2011) Ethylene is involved in pistil fate by modulating the onset of ovule senescence and the GA-mediated fruit set in *Arabidopsis*. *BMC Plant Biol* 11
- De Jong M, Mariani C, Vriezen WH (2009) The role of auxin and gibberellin in tomato fruit set. *J Exp Bot* 60:1523-1532
- De Menezes CB, Maluf WR, De Azevedo SM, Faria MV, Nascimento IR, Nogueira DW, Gomes LAA, Bearzoti E (2005) Inheritance of parthenocarpy in summer squash (*Cucurbita pepo* L.). *Genet Mol Res* 4:39-46
- Decker- Walters DS, Staub JE, Chung S, Nakata E, Quemada HD (2002). Diversity in free living populations of *Cucurbita pepo* (*Cucurbitaceae*) as assessed by random amplified polymorphic DNA. *Syst Bot* 27: 19-28



Bibliografía

- Decker DS (1988) Origin(s), evolution, and systematics of *Cucurbita pepo* (*Cucurbitaceae*). Econ. Bot.,42(1): 4-15
- Delgado J (1999) El cultivo de calabacín en el Levante de Almería. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Ed. Instituto la Rural.
- Dellaporta SL, Calderon-Urrea A (1993) Sex determination in flowering plants. Plant Cell 5:1241-1251
- Diggle PK, Di Stilio VS, Gschwend AR, Golenberg EM, Moore RC, Russell JR, Sinclair JP (2011) Multiple developmental processes underlie sex differentiation in angiosperms. Trends Genet 27:368-376
- Domínguez- Vega (2008) Análisis genético de la expresión sexual en calabacín (*Cucurbita pepo* L.). Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Almería.
- Dorcey E (2007) Regulación hormonal del desarrollo temprano del fruto en *Arabidopsis thaliana*. Thesis, Universidad de Valencia
- Durham GB (1925) Has parthenogenesis been confused with hermaphroditism in *Cucurbita*? Am Nat 59:283-294
- FAO (2013) FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Última consulta: 25/02/14.
- Ferrándiz C, Pelaz S, Yanofsky MF (1999) Control of carpel and fruit development in *Arabidopsis*. Ann Rev Biochem 68:321-354
- Fu FQ, Mao WH, Shi K, Zhou YH, Asami T, Yu JQ (2008) A role of brassinosteroids in early fruit development in cucumber. J Exp Bot 59:2299-2308
- Galun E (1962) Study of the inheritance of sex expression in the cucumber. The interaction of major genes with modifying genetic and non-genetic factors. Genetica 32: 134-163
- Gillaspy G, Ben David H.; Gruissem W. (1993). Fruits: a developmental perspective. Plant Cell 5:1439-1451.
- Globerson D (1971) Effects of pollination on set and growth of summer squash (*Cucurbita pepo*) in Israel. Expt Agr 7:183-188



Bibliografía

- Gómez P, Peñaranda A, Garrido D, Jamilena M (2004) Evaluation of flower abscission and sex expression in different cultivars of zucchini squash (*Cucurbita pepo*). In: Lebeda A and Paris HS (ed) Progress in Cucurbit genetics and breeding research. Eucarpia-Cucurbitaceae 2004, Palacký University in Olomouc, Olomouc, Czech Republic, pp 347-352
- Grant S, Houben A, Vyskot B, Siroky J, Pan W, Macas J, Saedler H (1994) Genetics of sex determination in flowering plants. Dev Genet 15:214-230
- Grumet R, Taft J (2012) Sex expression in cucurbits. In: Wang Y, Behera T, Kole C (eds) Genetics, genomics and breeding of cucurbits. Science Publishers, NH pp 353-375
- Guevara E, Jiménez V (2002). La reproducción de las plantas, 1st Edn, Vol. 5. Universidad de costa Rica, Costa Rica, pp 44-46
- Gustafson F (1941) Probable causes for the difference in facility of producing parthenocarpic fruit in different plants. Proc Am Soc Hort Sci 35:479-481
- Gustafson F (1937) Parthenocarpy induced by pollen extracts. Am J Bot 24:102-107
- Junta de Andalucía (2013) Avances en superficies y producciones de cultivos, diciembre 2013. (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estadisticas/agrarias/superficies-y-producciones.html>). Última consulta: 18/02/14.
- Hayase H (1953) *Cucurbita*-crosses. IV. The development of squash fruit as affected by placement of pollen on stigma. Hokkaido Agr Expt Sta Res B 64:22-25
- Kamuro Y, Takatsuto S (1999) Practical application of brassinosteroids in agricultural fields. In: Sakurai A, Yokota T, Clouse SD (eds) Brassinosteroids: steroidal plant hormones. Springer Verlag, Tokyo pp 223-241
- Karchi Z (1970) Effects of 2-chloroethanephosphonic acid on flower types and flowering sequences in muskmelon. J Am Soc Hort Sci 95:575-578
- Kenigsbuch D, Cohen Y (1990) The inheritance of gynoecey in muskmelon. Genome 33:317-320
- Kim IS, Okubo H, Fujieda K (1992) Endogenous levels of IAA in relation to parthenocarpy in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Sci Hort 52:1-8



Bibliografía

Kubicki B (1969) Investigation of sex determination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Genet Pol 10:69-143

Li Y, Yu J, Ye Q, Zhu Z, Guo Z (2003) Expression of *CycD3* is transiently increased by pollination and N-(2-chloro-4-pyridyl)-N'-phenylurea in ovaries of *Lagenaria leucantha*. J Exp Bot 54:1245-1251

Larsen PB, Woltering EJ, Woodson WR (1993) Ethylene and interorgan signaling in flowers following pollination. In: Raskin I, Schulz J (eds) Plant signal in interaction with other organisms. American Society of Plant Physiologists, MA pp 171-181

Lora J, Hormaza JI, Herrero M, Gasser CS (2011). Seedless fruits and the disruption of a conserved genetic pathway in angiosperm ovule development. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA), 108:5461-5465

Loy J (2012) Breeding Squash and Pumpkins. In: Wang Y, Behera T, Kole C (eds) Genetics, Genomics and Breeding of Cucurbits. Science Publisher, NH pp 93-139

Makus D, Pharr D, Lower R (1975) Some morphogenic differences between monoecious and gynoeceous cucumber seedlings as related to ethylene production. Plant Physiol 55:352-355

Manzano S, Martínez C, Megías Z, Gómez P, Garrido D, Jamilena M (2013) Involvement of ethylene biosynthesis and signalling in the transition from male to female flowering in the monoecious *Cucurbita pepo*. J Plant Growth Regul 32: 789–798

Manzano S, Martínez C, Megías Z, Gómez P, Garrido D, Jamilena M (2011) The role of ethylene and brassinosteroids in the control of sex expression and flower development in *Cucurbita pepo*. Plant Growth Regul 65:213-221

Manzano S, Martínez C, Gómez P, Garrido D, Jamilena M (2010) Cloning and characterisation of two CTR1-like genes in *Cucurbita pepo*: Regulation of their expression during male and female flower development. Sex Plant Reprod 23:301-313

Manzano S (2009) Regulación genética de la determinación sexual en *Cucurbita pepo* clonación, caracterización y análisis funcional de genes implicados en la biosíntesis, percepción y respuesta a etileno. Thesis, Universidad de Almería



Bibliografía

Marcos- Espín S (2010) Implicaciones del etileno en la partenocárpica del calabacín. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid.

Martínez C (2013) Involvement of ethylene biosynthesis and signaling genes in sex determination and parthenocarpic fruit set and development in Zucchini (*Cucurbita pepo* L.). Thesis, Universidad de Almería

Martínez C, Manzano S, Megías Z, Garrido D, Picó B, Jamilena M (2013) Involvement of ethylene biosynthesis and signaling in fruit set and early fruit development in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) BMC Plant Biol 13

Matlob AN, Basher EA (1983) The effect of growth regulators on sex expression and yield of summer squash (*Cucurbita pepo* L). Acta Hort (ISHS) 137: 361-366

McMurray AL, Miller CH (1968) Cucumber sex expression modified by 2-chloroethanephosphonic acid. Science 162: 1397-1398

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Subdirección general de Estadística (2013) Anuario de Estadística Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2012
(http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/00Espa%C3%B1a_tc_m7-308388.pdf). Última consulta: 22/02/14.

Mori H (1947) On parthenocarpy in *Cucurbita moschata* Duch. induced by growth promoting substances and their effectiveness for preventing fruit abscission. J Hort Assn Japan 16:154-160

Nayar TA, More (1998) Cucurbits. Science Publishers, Inc., Enfield; New Hampshire, USA.

Nee ZM (1990) The domestication of *Cucurbita* (*Cucurbitaceae*). Econ. Bot.,: 44: 56- 68

Nepi M, Pacini E (1993) Pollination, pollen viability and pistil receptivity in *Cucurbita pepo*. Ann of Bot 72: 527-536

Nijs A, Balder J (1983) Growth of parthenocarpic and seed-bearing fruits of zucchini squash. Cucurbit Genet Coop Rep 6:84-85



Bibliografía

- Nijs A, Zanten N (1982) Parthenocarpic fruit set in glasshouse grown zucchini squash. *Cucurbit Genet Coop Rep* 5:44-45
- Nitsch JP, Kurtz EB, Liverman JL, Went FW (1952) The development of sex expression in cucurbit flowers. *Am J Bot* 39:32-43
- Om Y, Hong K (1989) Evaluation of parthenocarpic fruit set in zucchini squash. *Res Rep Rural Dev Adm (Suweon)* 31:30-33
- Orzáez D, Granell A (1997) DNA fragmentation is regulated by ethylene during carpel senescence in *Pisum sativum*. *Plant J* 11:137-144
- Owens K, Peterson C, Tolla G (1980) Production of hermaphrodite flowers on gynoecious muskmelon by silver nitrate and aminoethoxyvinylglycine. *HortSci* 15:654-655
- Pandolfini T, Molesini B, Spina A (2007) Molecular dissection of the role of auxin in fruit initiation. *Trends Plant Sci* 12:327-329
- Papadopoulou E, Grumet R (2005) Brassinosteroid-induced femaleness in cucumber and relationship to ethylene production. *HortSci* 40:1763-1767
- Paris HS, Janick J (2005) Early evidence for the culinary use of squash flowers in Italy. *Chronica Horticulturae* 45: 20-21
- Paris HS, Yonash N, Portnoy V, Mozes- Daube N, Tzuri G, Katzir N (2003) Assessment of genetic relationships in *Cucurbita pepo* (*Cucurbitaceae*) using DNA markers. *Theor Appl Genet* 106: 971-978
- Paris HS (2001) History of the cultivar- groups of *Cucurbita pepo*. *Horticultural Review* 25: 71-170
- París HS (1989) Historical records, origins, and development of edible cultivar groups of *Cucurbita pepo* (*Cucurbitaceae*). *Economic Botany* 43: 423-443
- Payán MC, Peñaranda A, Rosales R, Garrido D, Gómez P, Jamilena M (2006) Ethylene mediates the induction of fruits with attached flower in Zucchini squash. In: Holmes GJ (ed) *Proceedings of Cucurbitaceae 2006*. Universal Press, NC pp 171-179



Bibliografía

Peñaranda A, Payán MC, Garrido D, Gómez P, Jamilena M (2007) Production of fruits with attached flowers in zucchini squash is correlated with the arrest of maturation of female flowers. *J Hort Sci Biotech* 82:579-584

Pérez Parra J, Gázquez JC, López JC, Baeza E, Meca D, Pérez C (2010) Tecnología de invernaderos y control biológico. Técnicas de cultivo que afectan a la viabilidad del control biológico en los invernaderos de Almería. Cuadernos de estudios agroalimentarios pp 07-26

Perl-Treves R (1999) Male to female conversion along the cucumber shoot: approaches to studying sex genes and floral development in *Cucumis sativus*. In: Ainsworth C (ed) Sex determination in plants. BIOS Scientific Publishers, Oxford pp 189-215

Pierce LK, Wehner TC (1990). Review of genes and linkage groups in cucumber. *Hort Science* 25: 605-615

Puertas- Martín B (2008). Partenocarpia en calabacín: comparación del desarrollo temprano del fruto en diferentes variedades comerciales y locales. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Almería

Reche J (1997) Cultivo de calabacín en invernadero. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almería, pp: 35-37

Robinson RW, Decker- Walters RD (1997). Cucurbits. CAB International, New York.

Robinson RW, Reiners S (1999) Parthenocarpy in summer squash. *HortSci* 34:715-717

Robinson RW (1993) Genetic parthenocarpy in *Cucurbita pepo* L. *Cucurbit Genet Coop Rep* 16:55-57

Robinson, RW, Shannon, S, LaGuardia, MD (1969) Regulation of sex expression in cucumber. *BloScience* 19:141-142

Roeder AHK, Yanofsky MF (2005) Fruit development in *Arabidopsis*. *The Arabidopsis*

Book. (<http://aspb.org/publications/arabidopsis/>)

Ruan Y, Patrick JW, Bouzayen M, Osorio S, Fernie AR (2012) Molecular regulation of seed and fruit set. *Trends Plant Sci* 17:656-665



Bibliografía

- Rudich J (1990). Biochemical aspects of hormonal regulation of sex expression in Cucurbits. Bates DM, Robinson RW (eds.) In *Biology and utilization of the Cucurbitaceae*. Cornell University Press, NY pp 269–280
- Rudich J, Halevy A, Kedar N (1972a) Ethylene evolution from cucumber plants related to sex expression. *Plant Physiol* 49:998-999
- Rudich J, Halevy AH, Kedar N (1972b) The level of phytohormones in monoecious and gynoecious cucumbers as affected by photoperiod and ethephon. *Plant Phys* 50:585-590
- Rudich J, Halevy A, Kedar N (1969) Increase in femaleness of three cucurbits by treatment with Ethrel, an ethylene releasing compound. *Planta* 86(1):69-76
- Ruiz- Platt L (2013). Comparación de la partenocárpica, la calidad poscosecha y la producción de etileno en el fruto de diferentes variedades de calabacín (*Cucurbitata pepo* L.) Morfotipo zucchini . Proyecto Fin de Carrera. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Almería.
- Rylski I, Aloni B (1990) Parthenocarpic fruit set and development in Cucurbitaceae and Solanaceae under protected cultivation in a mild winter climate. *Acta Hort* 287: 117-126
- Rylski I (1974a) Fruit set and development of several vegetable crops grown under low temperature conditions. *Proc Int Hort Congr* 3:375-385
- Rylski I (1974b) Effects of season on parthenocarpic and fertilized summer squash (*Cucurbita pepo* L.). *Expt Agr* 10:39-44
- Sanz M (1995) Fitorreguladores para el calabacín. *Hortofruticultura* 33:46-48
- Sato T, Oeller PW, Theologis A (1991) The 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase of *Cucurbita*: Purification, properties, expression in *Escherichia coli*, and primary structure determination by DNA sequence analysis. *J Biol Chem* 266:3752-3759
- Schwabe W, Mills JJ (1981) Hormones and parthenocarpic fruit set: a literature survey. *Hortic. Abstr.* 51: 661-699.
- Serrani JC, Carrera E, Ruiz-Rivero O, Gallego-Giraldo L, Peres LEP, García-Martínez JL (2010) Inhibition of auxin transport from the ovary or from the apical shoot induces parthenocarpic fruit-set in tomato mediated by gibberellins. *Plant Physiol* 153:851-862



Bibliografía

Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC): <http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

Smith BD (1997) The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10.000 years ago. *Science* 276: 932- 934

Srivastava A, Handa AK (2005) Hormonal regulation of fruit development: A Molecular perspective. 24:67-82. *J Plant Growth Regul* 24:67-82

Strassburger E (1994) Tratado de Botánica. 8va. Edició. Omega, Barcelona.

Stepanova AN, Robertson-Hoyt J, Yun J, Benavente LM, Xie D, Doležal K, Schlereth A, Jürgens G, Alonso JM (2008) TAA1-mediated auxin biosynthesis is essential for hormone crosstalk and plant development. *Cell* 133:177-191

Sturtevant EL (1890) Seedless fruit. *Mem Torrey Bot Club* 1:141-181

Takashima S, Hatta S (1955) Effect of phytohormones on parthenocarpy in cucurbits. *J Hort Assn Japan* 24:59-61

Trebitsh T, Rudich J, Riov J (1987) Auxin, biosynthesis of ethylene and sex expression in cucumber (*Cucumis sativus*). *Plant Growth Regul* 5:105-113

Varoquaux F, Blanvillain R, Delseny M, Gallois P (2000) Less is better: new approaches for seedless fruit production. *Trends Biotechnol* 18:233-242

Wang H, Schauer N, Usadel B, Frasse P, Zouine M, Hernould M, Latché A, Pech J, Fernie AR, Bouzayena M (2009) Regulatory features underlying pollination-dependent and-independent tomato fruit set revealed by transcript and primary metabolite profiling. *Plant Cell* 21:1428-1452

Wang S, Tiwari SB, Hagen G, Guilfoyle TJ (2005) AUXIN RESPONSE FACTOR7 restores the expression of auxin-responsive genes in mutant *Arabidopsis* leaf mesophyll protoplasts. *Plant Cell* 17:1979-1993

White PJ (2002) Recent advances in fruit development and ripening: An overview. *J Exp Bot* 53:1995-2000



Bibliografía

Wien HC, Stapleton SC, Maynard DN, McClurg C, Riggs D (2004) Flowering, sex expression, and fruiting of pumpkin (*cucurbita* sp.) cultivars under various temperatures in greenhouse and distant field trials. *HortScience* 39:239-242.

Wien HC (2002) The cucurbits: Cucumber, melón, squash and pumpkin. In: H.C. Wien (ed) *The physiology of vegetable crops*. CABI, NY pp 345-386

Wien HC (1997) The cucurbits: cucumber, melon, squash and pumpkin. En: Wien HC (ed) *The Physiology of vegetable Crops*. CAB International, New York, U.S.A., pp: 345-386

Yamasaki S, Fujii N, Takahashi H (2003) Characterization of ethylene effects on sex determination in cucumber plants. *Sex Plant Reprod* 16:103-111

Yamasaki S, Fujii N, Matsuura S, Mizusawa H, Takahashi H (2001) The M locus and ethylene-controlled sex determination in andromonoecious cucumber plants. *Plant and Cell Physiol* 42:608-619

