

Estudios comparativos sobre la biología floral en especies cultivadas del género *Capsicum*

Resumen

Capsicum es un género de la familia *Solanaceae*, nativo de Centro y Sudamérica que comprende alrededor de 35 especies, de las cuales se cultivan prioritariamente *Capsicum chinense* Jacq., *C. baccatum* L., *Capsicum annuum* L., *C. frutescens* L., y *C. pubescens* Ruiz. & Pavon las cuales son sembradas en todo el mundo, por la diversidad de formas, colores, nivel de pungencia y tamaños que presentan los frutos. Por lo tanto, como parte de un estudio exhaustivo sobre la biología floral de las especies de *Capsicum*, la finalidad de este trabajo fue recopilar información sobre la morfología floral, biología y viabilidad del polen en las especies cultivadas del género *Capsicum* para desarrollar un programa eficiente de mejora genética de estas especies. Esta revisión incluyó la búsqueda sistemática de 99 referencias bibliográficas en las bases de datos: Springer, Scopus, Scielo, Latindex, entre otras.

Palabras clave: *Capsicum*; viabilidad; longevidad; especie; mejoramiento

Introducción

Los recursos fitogenéticos, tienen una función cada vez más importante en la seguridad alimentaria y en el desarrollo económico mundial. Son esenciales para incrementar la producción agrícola sostenible y asegurar el medio de subsistencia de una gran proporción de mujeres y hombres que dependen de la agricultura (FAO, 2011).

El género *Capsicum* forma parte de la gran familia *Solanaceae*, es nativo de Centro y Sudamérica (Barbara Pickersgill, 1991), comprende alrededor de 35 especies (Deng et al., 2020; Martins et al., 2010; Onus & Pickersgill, 2004) de las cuales se cultivan cinco (*Capsicum annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. pubescens* Ruiz. & Pavon y *C. baccatum* L. Ruiz. & Pavon) (Bosland, 1992) ; siendo, *C. annuum* la más cultivada.

Los *Capsicum* son sembrados en todo el mundo, porque son una fuente importante de vitaminas C y E, minerales y fitoquímicos como carotenoides y flavonoides (Kaur et al., 2017; Maoka et al., 2011), así como de nutrientes (Shetty et al., 2013). Estas especies presentan gran diversidad de formas, colores y tamaños (Castro et al., 2020), pueden consumirse frescos

o secos (Barbara Pickersgill, 1997) y están estrechamente relacionadas con la papa, el tomate, la berenjena, el tabaco y la petunia, que también son ejemplos de Solanáceas.

Los caracteres relacionados con las hojas, flores y especialmente los frutos son los descriptores de mayor utilidad para los estudios de diversidad de esta familia, porque han sido el principal objetivo en los procesos de domesticación de estas especies. Knapp et al. (2004) reportan otros caracteres morfológicos que muestran diferencias significativas entre las solanáceas que corresponden la ausencia o presencia de tricomas o espinas en diferentes órganos, a la altura de la planta y la longitud de sus partes u órganos.

Los estudios de biología floral se ocupan en gran medida de la forma en que las flores funcionan para promover la polinización (Lloyd et al., 1996). El conocimiento de la biología reproductiva se sustenta en la estructura floral de una especie para determinar la naturaleza de su proceso reproductivo. Los avances más importantes obtenidos en el mejoramiento genético de las plantas están asociados al conocimiento de su sistema reproductivo, a través de estudios relacionados con la antesis, la viabilidad del polen y la receptividad del estigma, entre otros (López-Gómez et al., 2017; Zhang et al., 2018). Diversos componentes influyen en la viabilidad del polen presentándose variación intra e interespecífica (Yeaman et al., 2014). Factores ambientales (humedad y temperatura) y genéticos (morfología, capacidad para la germinación y crecimiento del tubo polínico) son importantes en la formación de polen fértil (Davarynejad et al., 2012).

Las especies de *Capsicum* son diploides ($2n=2x=24$) y predominantemente realizan la autopolinización, tiene flores perfectas donde las estructuras reproductivas masculinas y femeninas están en la misma flor (Jain & Allard, 1960) (Barbara Pickersgill, 1997), en este género, ha sido complicado la obtención de híbridos interespecíficos de especies pertenecientes a diferentes complejos genéticos debido a problemas de incompatibilidad entre especies, incompatibilidad unilateral, aborto del embrión después de la fecundación y esterilidad masculina (Onus & Pickersgill, 2004; Barbara Pickersgill, 1997). Conocer la estructura floral y la reproducción de toda especie vegetal, es fundamental para el mejoramiento de plantas. La viabilidad del polen en estas especies depende de condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa del ambiente) y del genotipo principalmente. Y ocupa un lugar importante entre los principales factores que influyen en el éxito de los programas de mejoramiento mediante la hibridación, beneficiando la formación de gametos

viables, lo que influye directamente en el éxito posterior del proceso de fertilización (Martins et al., 2010). La relación entre el vigor del polen, la germinación y la formación de frutos (Sulusoglu et al., 2014), permitirá establecer las técnicas de emasculación e hibridación para el proceso de polinización (Gomes et al., 2001). Por ello este estudio tiene como finalidad recopilar información sobre la morfología floral, biología y viabilidad del polen en las especies cultivadas del género *Capsicum* para desarrollar un programa eficiente de mejora genética por hibridación. Para lo cual se abordarán los siguientes temas:

- 1) Morfología floral en especies cultivadas de *Capsicum*
 - a) Estructura floral
 - b) Inducción floral, polinización y fecundación
- 2) Morfología del polen
- 3) Viabilidad y longevidad del polen en especies cultivadas de *Capsicum*
 - a) Pruebas de germinación *in vitro*
 - b) Longevidad del polen

DESARROLLO

1) *Morfología floral de Capsicum*

a) *Estructura floral*

En las especies de *Capsicum* las flores son hermafroditas, están unidas al tallo por un pedúnculo de 10 a 20 mm de longitud, con 5 a 8 costillas. Cada flor está constituida por un eje o receptáculo y apéndices foliares que constituyen las partes florales: el cáliz constituido por 5-8 sépalos, la corola formada por 5-8 pétalos, el androceo por 5-8 estambres y el gineceo por 2-4 carpelos (Nuez et al., 1996). Esta estructura se representa de manera abreviada por la fórmula floral típica de la familia *Solanáceae*:

$$K(5 - 8), [C(5 - 8), A(5 - 8)]G(2 - 4)$$

Los pétalos están soldados por la base, el color y moteado es un indicador diferenciador de especies en *Capsicum*.

Augustin (1907) fue uno de los primeros que discutió la anatomía y morfología de la flor y el fruto de la húngara paprika (*Capsicum annuum*). Rao & Lakshmi,(1980) reportaron que *C. annuum* contiene flores solitarias, raramente en parejas, son de color blanco puro a blanco azulado, muy raramente violeta. Souza-Macedo et al. (2017) indican que el diámetro de la

flor estuvo entre 53,5 a 60 mm, la longitud del pedúnculo entre 53,9 a 62 mm, se encontraron entre 5 a 7 pétalos variando de violeta a color blanco y que el número de estambres al igual que los pétalos se estuvo en un rango de 5 a 7.

Pickersgill (1971) reportó que en *Capsicumbaccatum* las flores miden de 9-15 mm, la corola contiene de 5-7 lóbulos, 8-15 mm de diámetro. El pistilo está compuesto por un ovario con un diámetro longitudinal de 2-5 mm que contiene 2-4 carpelos (lóculos), un estilo de 3,5-6,5 mm de largo (Quagliotti, 2006).

Peña-Yam et al. (2019) mencionan que *C. chinense* es una planta autopolinizada, hermafrodita, de flores perfectas y completas, cuya estructura floral facilita la emasculación y la polinización. Aleemullah et al. (2000) coinciden en que esta especie se caracteriza por presentar una flor muy pequeña. Mientras que Souza-Macedo et al. (2017) reportan que el diámetro en la flor comprendió entre 39,4 y 58,5 mm, el pedúnculo osciló entre 58,2 y 69,2 mm y el número de sépalos y pétalos fue de 4 a 7.

Olatunji & Afolayan (2019), observaron que la floración en *C. frutescens*, se presentó a los 64 días después de la siembra, las flores se encontraron en posición erecta, corolas color blanco con longitud de 80 mm y diámetro de 33 mm, las anteras eran de color verde y midieron alrededor de 27 mm, las plantas en general presentaron más de dos flores por nudo. Mientras que, Souza-Macedo et al. (2017) reportan valores diferentes porque la flor en genotipos de *C. frutescens* presentó diámetros comprendidos entre 39,4 y 58,5, el pedúnculo osciló entre 58,2 y 69,2 el número de sépalos y pétalos fue de 5 a 7 y este último presentó coloración blanca. Cochran (1934) observó que la flor en *C. frutescens* se produce de forma aislada. Tiene un cáliz minúsculo de 5 lóbulos y una corola rota que también es de 5 lóbulos. El estilo es lineal, recto, más largo que los estambres y terminado por un estigma subcapitado. Amamoto et al. (2013) observó en *Capsicum pubescens* una corola púrpura, flores que miden de 9-12 mm que normalmente son solitarias con un cáliz de 5 a 6 dientes conspicuos alrededor de 1 mm de largo.

En términos generales, las especies domesticadas del género *Capsicum* presentan ciertas características en cuanto a su morfología floral, que permite hacer una diferenciación entre ellas. En relación al número de flores por nudo: *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*, presentan generalmente flores solitarias, mientras que *C. chinense*

suele presentarse dos o más flores en cada nudo. Otra característica importante es la constricción anular que se presenta frecuentemente en *C. chinense* (Tabla 1).

Tabla 1. Características principales de la flor de las especies cultivadas del género *Capsicum*

Especie	Número de flores /nudo	Color y forma de corola.	Color de antera y número de estambres	Posición del pedicelo	Forma del cáliz	Referencia
<i>C. annuum</i>	1	Blanca brillante raramente purpura, en forma de campana	Azules o púrpuras. 5 a 7 estambres	Erectos o pendientes	Con dientes cortos, acampanulado	(Nuez et al., 1996) (Rêgo et al., 2011) (Bosland et al., 2012)
<i>C. baccatum</i>	1	Blancas con manchas amarillas	Amarillenta o purpura. 5 estambres	Erectos o pendientes	Con dientes prominentes	(J. A. Mercado et al., 1994); (Nuez et al., 1996)
<i>C. chinense</i>	2 o más	Blanca verdosa (ocasionalmente blanca o púrpura)	Amarillenta verdosa. 5 a 6 estambre	Erectos	Sin dientes	(Medina-Hoyos et al., 2020); (Nuez et al., 1996); (Peña-Yam et al., 2019)
<i>C. frutescens</i>	1	Blanca verdosa	Blanca amarillo claro 5 a 6 estambres	Erecto con flores pendientes	Sin diente	(Rêgo et al., 2011); (Peña-Yam et al., 2019); (Nuez et al., 1996).
<i>C. pubescens</i>	1	Purpura	Purpura a violeta 5 a 6 estambre	Erectos	Con diente pequeños	(Montes, 2010) (Rêgo et al., 2011); (Wang & Bosland, 2006)

Con base en las relaciones entre especies de *Capsicum*, han sido varios autores que han llevado a cabo estudios taxonómicos logrando determinar que: existen dos grupos de especies de acuerdo con el color de la corola: blanca y púrpura. En el primer grupo existen dos subgrupos, en las especies *C. annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense* la coloración varía de blanca lechosa a verdosa, mientras que en *C. baccatum* se presenta coloración blanca con manchas amarillas. En el grupo de corola púrpura se encuentran *C. pubescens*, *C. eximium* y *C. cardenassi*. La cruzabilidad entre especies de corola blanca y púrpura ha sido reportada

en varias investigaciones (Bosland et al., 2012; Pickersgill, 1997; Zijlstra et al., 1991), donde se han detectado tres tipos de barreras al realizar los cruces entre estas especies (Figura 1).

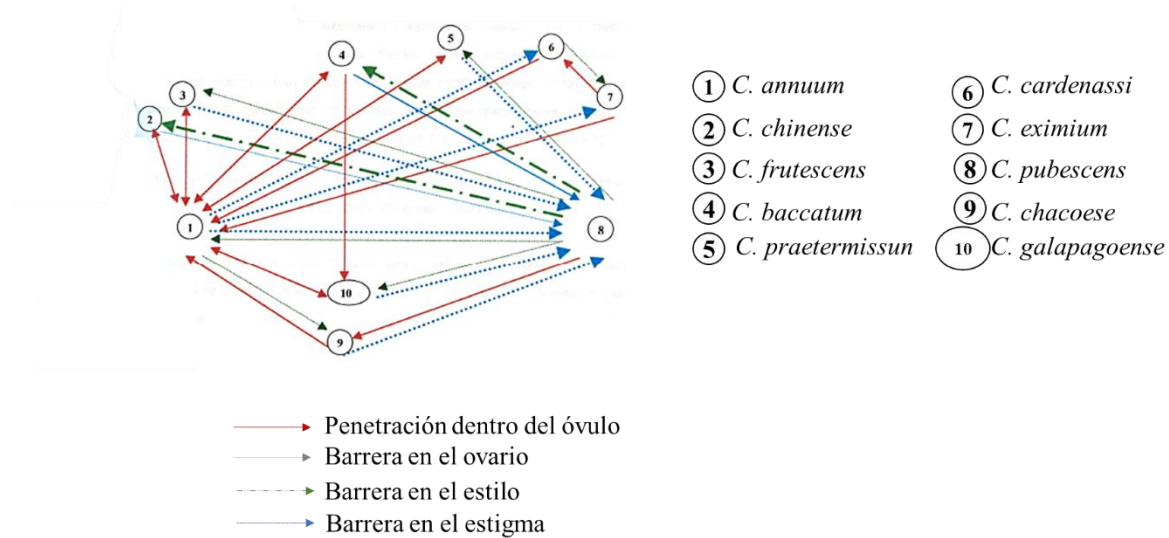


Figura 1. Polígono de cruzabilidad entre especies de *Capsicum* según Zijlstra et al (1991)

b) *Inducción floral*

El estudio de la fisiología floral de *Capsicum* empieza en el primer nudo de la planta ya que generalmente corresponde a la primera flor, se puede apreciar antesis hasta 7-10 días. La mayoría de las flores abren a las 5 am. El estigma se vuelve receptivo desde el día anterior a la antesis y permanece hasta 2 días después de la antesis. La abertura de las anteras tiene lugar durante las horas de la mañana hasta las 11 am, dependiendo de la temperatura. Los granos de polen se vuelven fértiles un día antes de la antesis, con máxima fertilidad el día de la antesis (Raw, 2000). El inicio diario de la antesis aparentemente está controlado por la duración del día (Aleemullah et al., 2000).

La dehiscencia de las anteras ocurre ya pasada la mañana, entre las 10 am y el medio día (Hirose, 1957). Las anteras abren normalmente una hora después de la apertura floral, incluso permanecen abiertas 10 horas después, con frecuencia su dehiscencia es incompleta, o puede continuar 24 horas después si fuese el caso que la flor se hubiese abierto por la tarde (Aleemullah et al., 2000). Dependiendo de las condiciones ambientales y la variedad, el período de receptividad del estigma es 5 a 8 días, desde varios días antes de la antesis a pocos días después de ella, con su fertilidad máxima el día de la antesis (Cochran, 1966; Aleemullah et al., 2000).

Según Dhall et al. (2011) en varios genotipos de *Capsicum annuum*, las flores abren antes de las 6:00 am. pero las anteras se deshicieron antes de las 7am. Y argumentan que la

irregularidad en el momento de la antesis y la dehiscencia se debe probablemente a la respuesta genotípica al clima situación que es reportada en varias investigaciones (Legesse et al., 1999; Ogbadu et al., 1989; Padda et al., 1971). Según Ofosu-Anim et al. (2006), el estigma de las flores de *C. annuum* mantiene su receptividad durante tres días (el día de la antesis y los dos días posteriores a la antesis). Crispim et al. (2017) reportan las flores en *C. annuum* ornamental mostraron una receptividad del estigma desde la fase de capullo, pero el mayor nivel de receptividad se observó después de la antesis. da Silva (2010) evaluó la biología floral y el papel de la abeja sin aguijón *Melipona subnitida* Ducke en la polinización de *Capsicum annuum* L., y observó que las flores empezaron a derramar polen a primera hora de la mañana, pronto a la apertura, y aumentaron su tasa progresivamente hasta alcanzar un pico a las 11:00h, los estigmas fueron aparentemente receptivos desde las 7:00 hasta las 15:00 h.

Idowu-Agid et al. (2012) observaron que en *C. frutescens* la antesis comienza 30-42 días después de la siembra y alcanza un pico de 39 flores por semana y los primeros frutos están listos para la cosecha 30 días después. El intervalo antesis-cuajado osciló entre 9 y 15,9 días. Mientras que en *Capsicum chinense*, el mayor número de flores en antesis se registró a las 8:00 horas. El pistilo fue exserto entre todas las flores evaluadas. La dehiscencia de las anteras se produjo longitudinalmente con la observación de los granos de polen una hora después de la apertura de la flor. La receptividad más significativa se presentó un día después de la antesis para la mayoría de los genotipos evaluados, fue positiva desde un día antes de la antesis, hasta un día después de la misma (Peña-Yam et al., 2019).

c) Polinización y fecundación

En *C. annuum* se evaluó la eficiencia de la polinización de *Bombus atratus* en plantas de pimentón, observando que la receptividad del estigma estuvo influenciada por el estadio de desarrollo floral y que el volumen de néctar en el estadio de flor abierta 2 (pétalos totalmente abiertos) fue mayor que el producido en los estadios flor abierta 1 (pétalos parcialmente abiertos) y 3 (inicio de la senescencia) (Riaño et al., 2015). Mientras que Ashfaq et al. (2020) reportan baja fertilidad del polen (69%) en esta especie.

En *C. chinense*, Ayala Arias et al. (2017) realizaron la polinización mediante el desprendimiento de anteras del progenitor masculino y fricción de éstas en el estigma del

progenitor femenino. Concluyendo que, el aislamiento de flores polinizadas manualmente afectó en más de 50% el prendimiento de fruto y que la posición del estigma con respecto a las anteras tanto en progenitores como en los híbridos fue heteromórfica, lo que sugiere un alto porcentaje de autopolinización.

Kamvorn et al. (2014), investigaron las barreras interespecíficas en un cruce directo y recíproco entre *Capsicum chinense* y *Capsicum baccatum* en prepolinización, prefertilización y postfertilización. En la prepolinización, obtuvieron mayor germinación del polen cuando éste se recogió el día de la floración y germinó inmediatamente sin almacenarlo. Tanto en los cruces directos como en los recíprocos, los tubos de polen pudieron crecer y alcanzar los óvulos en 48 h. En la postfecundación, la investigación microscópica del desarrollo del embrión reveló características normales del embrión durante varias etapas de desarrollo dando lugar a semillas maduras y sanas.

Onus & Pickersgill (2004), autofecundaron las flores de *C. pubescens* para determinar el tiempo que tardan los tubos polínicos en llegar a los óvulos y 24 horas después de la polinización, los tubos polínicos habían alcanzado la base del estilo en todos los pistilos y habían alcanzado los óvulos en algunos pistilos.

2) Morfología del polen

En *Capsicum pubescens*, Bo & Carrizo García (2015) observaron granos de polen de forma esférica tricolporados, de tamaño pequeño, con un diámetro medio de $22,71 \pm 0,81 \mu\text{m}$ en condiciones de hidratación. Mientras que Murry & Hardy Eshbaugh (1971) observaron forma subprolatada a prolata.

En *C. annuum*, Mercado et al. (1997) observaron que los granos presentaban formas triangulares y elípticas cuando se observaron en vistas polares y ecuatoriales, respectivamente y que la longitud media del eje polar fue de 25,5 y el diámetro ecuatorial de 20,2. Erickson & Markhart (2002) reportaron que la longitud de los botones florales recolectados osciló entre 2,5-3 mm y que la mayoría de los meiocitos observados estaban en la etapa de díada o tétrada. Las flores recolectadas justo antes de la antesis, contenían granos de polen maduros. Mientras que Ashfaq et al. (2020), observaron polen de tamaño medio, de forma elíptica, tricolporado.

Adedeji & Akinniyi (2015), en un estudio para determinar la importancia de la morfología del polen en la sistemática de algunas especies de la familia Solanaceae, observaron en *Capsicum chinense* granos de polen monocolpados, bicolpados y tricolpado de forma prolato-esferoidal, con diámetro medio de $24,27 \pm 0,80\mu\text{m}$. Mientras que en *Capsicum frutescens*, los tipos de polen presentes fueron acolpados, bicolpados y tricolpados, de forma prolato-esferoidal, con diámetro medio de $24,73 \pm 0,34\mu\text{m}$.

3) Viabilidad y longevidad del polen en *Capsicum*

La viabilidad del polen se puede evaluar mediante técnicas diferentes, que se pueden clasificar como directas (con observaciones visuales de *in vitro* o en vivo germinación del polen, confirmación del crecimiento del tubo polínico dentro del estigma y formación de semillas) o indirecto (basado en pruebas colorimétricas o histoquímicas) (Abdelgadir et al., 2012; Dafni & Firmage, 2000). Otra prueba de viabilidad del polen implica la polinización manual y la observación posterior del cuajado de frutos; sin embargo, debido a los plazos más prolongados involucrados en esas evaluaciones, se utilizan con mayor frecuencia otros métodos (Karayaya, 2011).

Los métodos de tinción histoquímica que se pueden utilizar para estimar la viabilidad del polen incluyen acetato de orceína, acetato de carmín, colorante Alexander, yodo de Lugol, fucsina básica, cloruro de 2,3,5 trifeniltetrazolio (TTC), Sudan IV, etc. (Alexandre, 1980; Munhoz et al., 2008). Estas manchas reaccionan con los componentes celulares de los granos de polen maduros, provocando un cambio de color para distinguir entre semillas viables y no viables. La prueba colorimétrica es más rápida, más barata y más conveniente que otros métodos, pero a menudo sobreestima la viabilidad del polen, por lo que se intentan diferentes técnicas de tinción para lograr la viabilidad. Es importante determinar el método más cercano a su valor.

Quagliotti (2006) también reporta que la formación del polen en especies de *Capsicum* está afectada por temperaturas altas superiores a 30°C , produciéndose esterilidad de las microsporas, mientras que la temperatura del aire 15 días antes de la apertura de la flor está estrictamente relacionada con el porcentaje de polen estéril.

En *Capsicum*, la viabilidad del polen almacenado depende principalmente de la temperatura, la humedad relativa del ambiente y el genotipo. A temperatura ambiente entre $20-30^{\circ}\text{C}$, la

viabilidad no se conserva más de 1 o 2 días; a 0 °C puede conservarse durante 5-6 días, siendo necesario mantener un ambiente seco para mayores periodos Cochran & Dempsey, (1966). Métodos como pruebas de germinación *in vitro*, medición de la actividad enzimática y la tinción del citoplasma del grano de polen se han empleado para estimar la viabilidad del polen en diversas especies vegetales (Demir et al., 2015; Estrada et al., 2002; Figueiredo et al., 2020; Gozlekci & Uzun, 2011; Maiti, 2015; Moura & Machado, 2015; Shekari et al., 2016) .Sin embargo, varias investigaciones coinciden en que las pruebas de germinación son más confiables y proporcionan mejores resultados que los métodos de tinción (Kundu et al., 2014; Shekari et al., 2016; Soares et al., 2008).

Villalón (2002), para evaluar la viabilidad inicial del polen de *Capsicum annuum*, utilizó el método indirecto (tinción vital) y el método directo (germinación *in vivo*). Para esta evaluación de la viabilidad del polen a través del método indirecto se utilizó tinción de Alexander (verde malaquita y fucsina), para lo cual se tomaron 10 flores de cada una de las especies, y se extrajo el polen, en condiciones de laboratorio, y se procedió al conteo respectivo, se consideraron granos de polen viables cuando su pared celular se tiñó de verde y el citoplasma de color fucsia.

Martins et al. (2010) y Pozzobon et al. (2015), observaron una viabilidad del polen superior al 90% para las especies *C. chinense* y *C. annuum*, *C. frutescens*. Sin embargo, Pozzobon et al. (2011) encontraron un gran número de granos de polen inviables, lo que sugiere que, debido a la alta temperatura y los factores físicos, puede influir en la baja viabilidad de esta especie.

En *Capsicum annuum*, Kolo et al. (2021), consiguieron 96,78% de polen viable luego de disolver 0,01g de azul de metileno en 10ml de agua destilada. Los granos de polen que se tiñeron de color azul oscuro se contaron como viables. Souza-Macedo et al. (2017) encontraron una fertilidad de polen igual al 94,6% usando carmín acético al 2%. Sin embargo, da Guia et al. (2018) reportan una viabilidad superior al 90% con todas las tinciones ensayadas (Acetic carmine (2%), Acetic orcein (2%), Fuchsin y Lugol). Dhall et al. (2011) reportan que la viabilidad del polen varió de 39,42 a 75,42% cuando tiñó granos de polen en una solución de cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio (TTC) al 0,2%.

En *Capsicum chinense*, Souza-Macedo et al. (2017), reportan 97,0% de polen viable cuando se maceraron las anteras en una gota de solución de Carnoy I y se tiñeron en carmín acético

al 2%. Mientras que Peña-Yam et al. (2019) utilizando acetocarmine al 1% obtuvieron 95% de viabilidad de polen.

En *Capsicum frutescens*, Fernandes et al. (2017) determinaron que el 72,5% de granos de polen fueron viables luego de teñirse color rojo intenso en una solución triple de Alexander. Mientras que Souza-Macedo et al. (2017) reportan 19,8% de polen viable en una solución de carmín acético al 2%. En *Capsicum pubescens* Bo & Carrizo García (2015) cultivaron polen en MTT (3,[4,5-dimetiltiazolil-2]-2,5-difeniltetrazoliobromuro 1 mg/ml en agua destilada) logrando 80% de viabilidad de polen.

a) Pruebas de germinación *in vitro*

La germinación *in vitro* es uno de los métodos más comunes para determinar la calidad de granos de polen (Figueiredo et al., 2020).

Cerović et al. (2014) sustenta que los métodos *in vitro* son el principal determinante de la viabilidad del polen.

La germinación del polen *in vitro* permite hacer estimaciones confiables de la fertilidad. Esta técnica aparenta el desarrollo del tubo polínico en los tejidos estilares, ya que el medio de cultivo utilizado muestra en su composición al mucílago del estigma (Dafni & Firmage, 2000; Leite et al., 2016; Van Marrewijk, 1993).

Sharma et al. (2008) demostraron el éxito de la transformación del polen obtenido de las flores *in vitro* de *Capsicum frutescens* en medios de cultivo con nitrato de plata (AgNO_3) y del cloruro de cobalto (CoCl_2).

En *Capsicum chinense* Yamazaki et al. (2020) empleó un medio líquido que contenía 5% de sacarosa y 100 ppm de ácido bórico y 1% de agar para germinar granos de polen a 20°C en oscuridad, se examinaron las tasas de germinación del polen de individuos F2. Las tasas de germinación de polen mínima y máxima fueron de 0% y 59,8%, con una media de $23.3 \pm 15.6\%$.

Reddy & Kakani (2007) desarrollaron un protocolo para evaluar la germinación del polen y la longitud del tubo polínico en *Capsicum annum*, *C. frutescens* y *C. pubescens* en un medio *in vitro* que consistía en 100 g de sacarosa, 500 mg de nitrato de calcio, 120 mg de sulfato de magnesio, 100 mg de nitrato de potasio y 120 mg de ácido bórico, disueltos en 1000 ml de agua desionizada. que implicó el tratamiento térmico del polen a temperaturas que oscilaron entre 15 y 44°C e incubar el polen durante 24 h. Los autores lograron en *Capsicum annum*

80% de germinación en *C. frutescens* 59% y en *C. pubescens* 76% con temperaturas óptimas de 30,7 y 31,2 °C para la germinación del polen y la longitud máxima del tubo polínico, respectivamente. Sin embargo, otros autores han estudiado la viabilidad y germinación *in vitro* del polen en las especies cultivadas del género empleando métodos y medios de cultivo que son detallados en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos y medios empleados para determinar la viabilidad y germinación de polen en especies cultivadas del género *Capsicum*

Especie	Método	% viabilidad	Referencia
<i>Capsicum annuum</i>	Tinción Alexander	85,4 a 97%	da Silva Monteiro et al., (2011)
		96,53 a 98,91%	Martins et al., (2010)
	Acetocarmin (1%)	64.63- 96.77%	Gulyas et al., (2006)
	Carmín propónico	96,70%	Corrêa et al., (2007)
	4% de acetocarmina y glicerina (1:1)	95.2%	Arnaoudova & Arnaoudov (2020)
<i>Capsicum baccatum</i>	Tinción Alexander	96,1 - 98,3%	da Silva Monteiro et al., (2011)
		< 70%	Magalhães- Souza et al.,(2012)
	96,69 a 96,89%	Martins et al., (2010)	
	Carmín propónico	73,20%	Corrêa et al., (2007)
<i>Capsicum chinenses</i>	Tinción Alexander	98%	da Silva Monteiro et al., (2011)
	Carmín propónico	>80%	Magalhães- Souza et al.,(2012)
<i>Capsicum frutescens</i>	Tinción Alexander	86,80%	da Silva Monteiro et al., (2011)
	Carmín propónico	63,20%	Corrêa et al., (2007)
	Acetocarmin (1%)	36,93 a 55,71%	Prince et al., (1992)
<i>Capsicum pubescens</i>	Tinción Alexander	27%	da Silva Monteiro et al., (2011)
	MTT	80%	Bo & Carrizo García, (2015)
Especie	Medio	% germinación	Referencia
<i>Capsicum annuum</i>	Sucrose (10%) + H ₃ BO ₃ (100mg/L) + Ca(NO ₃) ₂ (300mg/L) + MgSO ₄ (200mg/L) + KNO ₃ (100mg/L)	19,98 a 64,23%	Dhall et al. (2011)
	Agar + sacarosa + H ₃ BO ₃ y CaCl ₂	49,1 a 56,7%	Arnaoudova & Arnaoudov (2020)
<i>Capsicum baccatum</i>	sacarosa (10%) + H ₃ BO ₃ (1%) + CaCl ₂ (0,1 mM)	50%	Mercado et al., (1994)
<i>Capsicum chinenses</i>	Sucrosa + H ₃ BO ₃ (100 ppm) + agar (1%)	59,8%	Yamazaki et al. (2020)
	Sucrosa (5%) + H ₃ BO ₃ (100 ppm) + agar (1%)	36.2%	Yamazaki & Hosokawa (2019)
<i>Capsicum frutescens</i>	sacarosa (100g), + Ca (NO ₃) (500mg) + MgSO ₄ (120mg) + H ₃ BO ₃ (100 mg) + agar (10g)	95% a 78%	Reddy & Kakani, (2007)
<i>Capsicum pubescens</i>	Sacarosa (5-10%) + H ₃ BO ₃ (0,1mM) + CaCl ₂ (1 mm.)	50%	Mercado et al., (1994)
	H ₃ BO ₃ (0,1mM) + CaCl ₂ (1 mm.)	40-55 %	Bo & Carrizo García, (2015)

b) Longevidad del polen

Por otra parte, la longevidad del polen, es el periodo de tiempo durante el cual el polen se mantiene viable. Sin embargo, de acuerdo a la especie vegetal esa capacidad de germinación, fertilización y de almacenamiento puede variar mucho (Dafni & Firmage, 2000).

La duración de la viabilidad del polen es variada de acuerdo a la especie de vegetal. En algunas plantas es relativamente corto cuando se conserva a temperatura ambiente (Dafni & Firmage, 2000).

Al respecto Wang et al. (2019), reportaron que en *Capsicum annuum*, en días nublados se ha observado viabilidad del polen hasta por 240 minutos, con 5% de viabilidad después de 150 minutos de almacenamiento. Mientras que, en ambientes soleados la viabilidad se reduce al 5% en solo 30 minutos, con una pérdida completa de viabilidad en 90 minutos. Sin embargo, Khan et al. (2014), señalan que cuando se almacenó el polen de *Capsicum chinense* en condiciones de refrigeración (4°C) después de 48 semanas, este perdió alrededor de 50% de la capacidad germinativa *in vitro* en comparación con el polen fresco. Aleemullah et al. (2000) mostraron que la longevidad en un grupo de especies de *Capsicum* fue de corta duración. También demostró que el estrés hídrico resultó en un aumento en el tiempo requerido para que el tubo polínico alcance los óvulos, y sugirió que la degeneración del óvulo durante este tiempo condujo a la falla de la fertilización y menores rendimientos.

Se ha entendido que la longevidad del polen aumenta cuando se almacena a bajas temperaturas y bajo contenido de humedad (Akond et al., 2012; Dutta et al., 2013; Mortazavi et al., 2010). Para que el polen tolere la desecación, es fundamental que el polen se seque a un contenido de humedad objetivo poco después de la cosecha (Volk - R, 2011). Las anteras o los granos de polen también se pueden secar sobre gel de sílice a temperatura ambiente (Parton et al., 2002).

En *Capsicum pubescens* Bo & Carrizo García (2015) evaluaron la longevidad mediante la viabilidad del polen a los tres, siete, diez y 14 días después de la apertura de la flor. Y reportaron que la longevidad del polen fue mayor que la de las flores en todas las plantas de analizadas.

Conclusiones

A partir de la revisión realizada se concluye que el estudio de la biología floral es fundamental para los programas de mejoramiento genético de las especies cultivadas del género *Capsicum*. Las especies de *Capsicum* tienen flores perfectas y se reproducen preferentemente por autofecundación espontánea.

La floración parece ser controlada por múltiples caminos, influenciados por el ambiente en que las plantas crecen, también como el estado de desarrollo, lo que indica la desuniformidad del género respecto a la iniciación de los primordios florales.

Varios genotipos de *C. annuum* y *C. chinense*, por presentar alta tasa de fertilidad de polen, son recomendados como parentales en los programas de mejoramiento genético. Mientras que genotipos de *C. frutescens* pueden ser considerados como machos estériles.

La polinización efectiva, es un prerrequisito para la fructificación y la producción de semillas, por ende, la viabilidad y germinabilidad del polen son importantes para aumentar la productividad en las especies de *Capsicum*.

La viabilidad del polen en las especies de *Capsicum* depende de varios factores ambientales y genéticos.

Las pruebas de tinción colorimétricas y germinación *in vitro* son las más empleadas para determinar la viabilidad del polen en las especies de *Capsicum*.

Referencias bibliográficas

1. Abdelgadir, H. A., Johnson, S. D., & Van Staden, J. (2012). Pollen viability, pollen germination and pollen tube growth in the biofuel seed crop *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). *South African Journal of Botany*, 79, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.10.005>
2. Adedeji, O., & Akinniyi, T. (2015). Pollen Morphology of Some Species in the Family Solanaceae. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 6(4), 125–129. www.sospublication.co.in
3. Akond, A. S. M. G. M., Pounders, C. T., Blythe, E. K., & Wang, X. (2012). Longevity of crapemyrtle pollen stored at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 139, 53–57. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2012.02.021>
4. Aleemullah, M., Haigh, A. M., & Holford, P. (2000). Anthesis, anther dehiscence, pistil receptivity and fruit development in the Longum group of *Capsicum annuum*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(5), 755–762. <https://doi.org/10.1071/EA99038>
5. Amamoto, Jarwaningsih, & Iriadinata. (2013). *Notes on Economic Plants Capsicum pubescens (Solanaceae) in Indonesia : Its History*, . 67(2), 161–170.
6. Arnaoudova, Y., & Arnaoudov, B. (2020). Screening Capsicum Genotypes for Increased Drought Tolerance By in Vitro Pollen Germination and Pollen Tube Length. *Trakia Journal of Sciences*, 23(1), 52–58. <https://doi.org/10.15547/tjs.2020.01.010>
7. Ashfaq, S., Ahmad, M., Zafar, M., Sultana, S., Bahadur, S., Ahmed, S., Gul, S., & Nazish, M. (2020). Pollen morphology of family Solanaceae and its taxonomic significance. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 92(3), 1–16. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181221>
8. Augustin, B. (1907). *Historisch-kritische und anatomische-entwicklungsgeschichtliche untersuchungen über den paprika*.
9. Ayala Arias, B., Mejía Carranza, J., Martínez Estrada, I., Rubí Arriaga, M., & Vázquez García, L. M. (2017). Caracterización morfológica de híbridos de chile manzano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 836.

<https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V8I4.10>

10. Bo, M. L., & Carrizo García, C. (2015). Pollen phenotyping and performance in rocoto chili (*Capsicum pubescens* Ruiz et Pav., Solanaceae). *Grana*, 54(1), 37–44. <https://doi.org/10.1080/00173134.2014.985606>
11. Bosland, P. (1992). Chiles: a diverse crop. *Hort Technol*, 2, 6–10.
12. Bosland, P., Votava, E., & Votava, E. (2012). *Pimientos: pimientos de verduras y especias* (Vol. 22).
13. Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums* (Vol. 22). [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UIrC1Qx4QfEC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Bosland,+PW,+Votava,+E.,+%26+Votava,+E.+\(2012\).&ots=I3NUS0G70s&sig=N8Nq8b5H8_iTSFIPs09CVrRhJ0o#v=onepage&q=Bosland%2C PW%2C Votava%2C E.%2C %26 Votava%2C E. \(2012\).&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UIrC1Qx4QfEC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Bosland,+PW,+Votava,+E.,+%26+Votava,+E.+(2012).&ots=I3NUS0G70s&sig=N8Nq8b5H8_iTSFIPs09CVrRhJ0o#v=onepage&q=Bosland%2C PW%2C Votava%2C E.%2C %26 Votava%2C E. (2012).&f=false)
14. Castro, A., Herbin, A., Cordoba, J., Perez, R., Motta, L., & Cavanna, F. (2020). Tamberos familiares del oeste del conurbano bonaerense: sus lógicas de producción, reproducción y sus estrategias pluriactivas. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 119(1), 033. <https://doi.org/10.24215/16699513e033>
15. Cerović, R., Pajić, Z., Filipović, M., Fotirić-Aksić, M., Radičević, S., Nikolić, D., & Đorđević, M. (2014). Pollen germination and pollen tube growth in zp maize lines. *Genetika-Belgrade*, 46(3), 935–947. <https://doi.org/10.2298/GENSR1403935C>
16. Cochran, & Dempsey. (1966). *Stigma structure and period of receptivity in pimiento Capsicum Frutescens L.*
17. Cochran, H. (1934). Abnormalities in the flower and fruit of *Capsicum frutescens*. *Journal of Agricultural Research*, 48(8), 737–748.
18. Cochran, H. L. y D. A. h. (1966). *Stigma structure and period of receptivity in pimiento Capsicum Frutescens L.*
19. Corrêa, L., Barbieri, R., & da Silva. (2007). Caracterização da viabilidade polínica em acessos de *Capsicum* (Solanaceae). *Revista Brasileira de Biociências*, 5, 660–662.
20. Crispim, J., Rêgo, E., Rêgo, M., Nascimento, N., & Barroso, P. (2017). Stigma receptivity and anther dehiscence in ornamental pepper. *Horticultura Brasileira*, 35,

609–612. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170421>

21. da Guia, L., Oliveira, N., da Costa, M., dos Santos, S., Ferreira, R., de Almeida, A., & Ferreira, M. (2018). Efficiency of colorimetric tests to determine pollen viability in peppers. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 8(2), 77–82.
22. da Silva, E. (2010). Polinização do Pimentão (*Capsicum annum*). In *III Semana dos Polinizadores: Palestras e Resumos*.
23. da Silva Monteiro, C. E., Pereira, T. N. S., & de Campos, K. P. (2011). Reproductive characterization of interspecific hybrids among *Capsicum* species. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11(3), 241–249. <https://doi.org/10.1590/s1984-70332011000300006>
24. Dafni, A., & Firmage, D. (2000). Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution*, 222(1–4), 113–132. <https://doi.org/10.1007/BF00984098>
25. Davarynejad, G. H., Szabo, Z., Nyeki, J., & Szabo, T. (2012). Phenological Stages, Pollen Production Level, Pollen Viability and in vitro Germination Capability of Some Sour Cherry Cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(7), 672–676. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012050761>
26. Demir, G., Turgutoglu, E., & Kurt, S. (2015). Assessment of pollen viability and germination in seven varieties of lemon. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 1(1), 17–19. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ekinjournal/243170>
27. Deng, M. H., Zhao, K., Lv, J. H., Huo, J. L., Zhang, Z. Q., Zhu, H. S., Zou, X. X., & Wen, J. F. (2020). Flower transcriptome dynamics during nectary development in pepper (*Capsicum annum* l.). *Genetics and Molecular Biology*, 43(2), 1–9. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2018-0267>
28. Dhall, R., Hundal, J., & Saxena, A. (2011). Floral biology studies in Chilli (*Capsicum annum* L.). *Vegetable Science*, 38(2), 221–224.
29. do Rêgo, E. R., do Rêgo, M. M., Cruz, C. D., Finger, F. L., & Casali, V. W. D. (2011). Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(6), 909–918. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9628-7>
30. Dutta, S., Srivastav, M., Chaudhary, R., Lal, K., & (2013). Low temperature

- storage of mango (*Mangifera indica* L.) pollen. *Elsevier*, 161, 193–197.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.022>
31. Erickson, A., & Markhart, A. (2002). Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, 25(1), 123–130. <https://doi.org/10.1046/J.0016-8025.2001.00807.X>
 32. Estrada, B., Bernal, M. A., Díaz, J., Pomar, F., & Merino, F. (2002). Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* L. in Relation to fruiting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5), 1188–1191.
<https://doi.org/10.1021/jf011270j>
 33. Fernandes, N., Santana, T., & Martins, K. (2017). Meiotic analysis of interspecific hybrids between *Capsicum frutescens* and *Capsicum chinense* Meiotic analysis of interspecific hybrids between *Capsicum frutescens* and *Capsicum chinense* NOTE. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 159–163.
<https://doi.org/10.1590/1984>
 34. Figueiredo, M. C. C., Passos, A. R., Hughes, F. M., Santos, K. S. dos, Silva, A. L. da, & Soares, T. L. (2020). Reproductive biology of *Physalis angulata* L. (Solanaceae). *Scientia Horticulturae*, 267(November 2019), 109307.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109307>
 35. Gomes, J. E., Maria Do Carmo, ;, Pavani, M. D., Dilermando Perecin, ;, Baldo, A., & Martins, G. (2001). Morfologia floral e biologia reprodutiva de aceroleira MORFOLOGIA FLORAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA DE GENÓTIPOS DE ACEROLEIRA. *Scientia Agricola*, V, 58(3), 519–523.
 36. Gozlekci, S., & Uzun, H. (2011). Determination of pollen viability, germination, and quantity in loquat cultivars. *Cabdirect.Org*, 887, 281–284.
 37. Gulyas, G., Pakozdi, K., Lee, J. S., & Hirata, Y. (2006). Analysis of fertility restoration by using cytoplasmic male-sterile red pepper (*Capsicum annuum* L.) lines. *Breeding Science*, 56(3), 331–334. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.56.331>
 38. Hirose, T. (1957). Studies on related species in *Capsicum*. *Ci.Nii.Ac.Jp*, 9, 13–22.
 39. Idowu-Agid, O., Ogunniyan, D. ., & Ajayi, E. . (2012). Flowering and Fruiting Behavior of Long Cayenne Pepper (*Capsicum frutescens* L.). *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 6(4), 228–237.

<https://doi.org/10.3923/IJPBG.2012.228.237>

40. Jain, S., & Allard, R. (1960). Population Studies in Predominantly Self-Pollinated Species, I. Evidence for Heterozygote Advantage in a Closed Population of Barley. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 46(10), 1371–1377. <https://doi.org/10.1073/pnas.46.10.1371>
41. Kamvorn, W., Techawongstien, S., Techawongstien, S., & Theerakulpisut, P. (2014). Compatibility of inter-specific crosses between *Capsicum chinense* Jacq. and *Capsicum baccatum* L. at different fertilization stages. *Scientia Horticulturae*, 179, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.003>
42. Kaur, D., Jindal, S. K., Dhaliwal, M. S., & Meena, O. P. (2017). Improving fruit traits in chilli pepper through heterosis breeding. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 49(1), 26–43. <https://www.researchgate.net/publication/315047500>
43. Khan, K., Naz, F., Taha, M., & (2014). Synthesis and in vitro urease inhibitory activity of N,N'-disubstituted thioureas. *Elsevier*, 74, 314–323.
44. Knapp, S., Bohs, L., Nee, M., & Spooner, D. M. (2004). Solanaceae - A model for linking genomics with biodiversity. *Comparative and Functional Genomics*, 5(3), 285–291. <https://doi.org/10.1002/cfg.393>
45. Kolo, J., Falusi, O., Daudu, O., Adebola, M., Abubakar, A., & Gado, A. (2021). Evaluation of Agro-morphological and Pollen Parameters of M 2 Generation of *Capsicum annum* Exposed to Fast Neutron Irradiation (FNI) Evaluation of Agro-morphological and Pollen Parameters of M 2 Generation of *Capsicum annum* Exposed to Fast Neutron Irradiation. *American Journal of Plant Biology*, 6(2), 34–38. <https://doi.org/10.11648/j.ajpb.20210602.13>
46. Kundu, M., Dubey, A., Srivastav, M., Malik, S., & Singh, B. (2014). Effect of gamma ray irradiation and cryopreservation on pollen stainability, in vitro germination, and fruit set in Citrus. *Turkish Journal of Biology*, 38(1), 1–9. <https://doi.org/10.3906/biy-1303-55>
47. Legesse, G., Zelleke, A., & Bejiga. (1999). Character association and path analysis of yield and its components in hot pepper. *Character Association and Path Analysis of Yield and Its Components in Hot Pepper. (Acta Agronomica Hungarica)*.
48. Leite, P. S. S., Rodrigues, R., Silva, R. N. O., Pimenta, S., Medeiros, A. M., Bento,

- C. S., & Gonçalves, L. S. A. (2016). Molecular and agronomic analysis of intraspecific variability in *Capsicum baccatum* var. *pendulum* accessions. *Genetics and Molecular Research*, *15*(4), 1–16. <https://doi.org/10.4238/gmr.15048482>
49. Lloyd, D., Barrett, S., & Barrett, S. (1996). Floral biology: studies on floral evolution in animal-pollinated plants. In *Springer Science & Business Media*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HgFA7mFHp2QC&oi=fnd&pg=PR7&dq=https://doi.org/10.1600/036364411x583718+Barrett,+S.+\(1996\).+Flora+biology:+studies+on+flora+evolution+in+animal-pollinated+plants.+Springer+Science+%26+Business+Media.&ots=5IqRZBZcjZ&sig=x3FS2v2700T0kREj_k7Pndyqm6o](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HgFA7mFHp2QC&oi=fnd&pg=PR7&dq=https://doi.org/10.1600/036364411x583718+Barrett,+S.+(1996).+Flora+biology:+studies+on+flora+evolution+in+animal-pollinated+plants.+Springer+Science+%26+Business+Media.&ots=5IqRZBZcjZ&sig=x3FS2v2700T0kREj_k7Pndyqm6o)
50. López-Gómez, Daniel, J., Villegas-Torres, Gabriel, O., Nava, S., Andrade, H., Maria, R., & Martínez Fernández, E. (2017). Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *8*(8), 1717. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.699>
51. Magalhães Souza, M., Nair, T., Pereira, S., Sudré, C. P., & Rodrigues, R. (2012). Meiotic irregularities in *Capsicum* L. species. *SciELO Brasil*, *12*, 138–144.
52. Maiti, R. y R. H. G. (2015). Phenology, morphology and variability in pollen viability of four woody species (*Cordia boissieri*, *Parkinsonia texana*, *Parkinsonia aculeate* and *Leucophyllum*. *Cabdirect.Org*.
53. Maoka, T., Mochida, K., Kozuka, M., Ito, Y., Fujiwara, Y., Hashimoto, K., Enjo, F., Ogata, M., Nobukuni, Y., Tokuda, H., & Nishino, H. (2001). Anti-krebs keto karotenoide.pdf. In *Elsevier Science Ireland Ltd* (pp. 103–109).
54. Martins, K. C., Pereira, T. N. S., Souza, S. A. M., & Costa, F. R. da. (2010). Meiose e viabilidade polínica em acessos de *Capsicum annum* e *Capsicum baccatum*. *Ciência Rural*, *40*(8), 1746–1751. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010000800012>
55. Medina-Hoyos, A., Narro-León, L. A., & Chávez-Cabrera, A. (2020). Purple corn (*Zea mays* L.) crop in the Peruvian Highlands: Adaptation and identification of high-yield and high anthocyanin content cultivars. *Scientia Agropecuaria*, *11*(3), 291–299. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
56. Mercado, J. A., Fernández-Muñoz, R., & Quesada, M. A. (1994). In vitro germination

- of pepper pollen in liquid medium. *Scientia Horticulturae*, 57(4), 273–281. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90110-4)
57. Mercado, J., Trigo, M., Reid, M., Valpuesta, V., & Quesada, M. (1997). Effects of low temperature on pepper pollen morphology and fertility: Evidence of cold induced exine alterations. *Journal of Horticultural Science*, 72(2), 317–326. <https://doi.org/10.1080/14620316.1997.11515518>
58. Montes, S. (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México. *Inifap*, 5–7.
59. Mortazavi, S., Arzani, K., & Moeini, A. (2010). Optimizing storage and in vitro germination of date palm (*Phoenix dactylifera*) pollen. *J. Agr. Sci. Tech*, 12, 181–189.
60. Moura, C., & Machado, C. (2015). Germinação in vitro e viabilidade de grãos de pólen de acessos de coqueiro. *SciELO Brasil*, 46, 421–427.
61. Murry, L. E., & Hardy Eshbaugh, W. (1971). A Palynological Study of the Solaninae (Solanaceae). *Grana*, 11, 65–78. <https://doi.org/10.1080/00173137109429859>
62. Nuez, F., Ortega, G., & Costa, R. (1996). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. *El Cultivo de Pimiento, Chiles y Ajíes*, 633.
63. Ofosu-Anim, J., Offei, S. K., & Yamaki, S. (2006). Pistil receptivity, pollen tube growth and gene expression during early fruit development in sweet pepper (*Capsicum annuum*). *Internal Journal of Agriculture and Biology*, 8(5), 576–579.
64. Ogbadu, G., Aina, M., & Olarewaju, J. D. (1989). Total capsaicinoid content of some capsicum species grown in Northern Nigeria. *Tropical Science*.
65. Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2019). Contributions to the classification of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. in West Africa using morphological traits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 135–142. <https://doi.org/10.15835/nbha47111204>
66. Onus, A. N., & Pickersgill, B. (2004). *Incompatibilidad unilateral en Pimiento (Solanaceae): ocurrencia y Distribución taxonómica Onus y Pickersgill: incompatibilidad unilateral en Pimiento*. 289–295.
67. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). (2011). Segundo Informe sobre El Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en el Mundo. In *Comisión de Recursos Genéticos para*

la Alimentación y la Agricultura.

68. Padda, D., Saimbhi, M., & Singh, K. (1971). Variabilidades y correlaciones genotípicas y fenotípicas en caracteres de calidad del tomate en caracteres de calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Indian J Agr Sci*.
69. Parton, E., Vervaeke, I., Delen, R., Vandenbussche, B., Deroose, R., & De Proft, M. (2002). Viability and storage of bromeliad pollen. *Euphytica*, *125*(2), 155–161. <https://doi.org/10.1023/A:1015884019619>
70. Peña-Yam, L. P., Muñoz-Ramírez, L. S., Avilés-Viñas, S. A., Canto-Flick, A., Guzmán-Antonio, A., & Santana-Buzzy, N. (2019). Floral biology studies in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) to implement in a cross-breeding program. *Agriculture (Switzerland)*, *9*(12). <https://doi.org/10.3390/agriculture9120249>
71. Pickersgill, B. (1971). Relaciones entre formas de malezas y cultivadas en algunas especies de chiles (género *Capsicum*). *JSTOR*, *25*(4), 683–691. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1971.tb01926.x>
72. Pickersgill, Barbara. (1991). Cytogenetics and evolution of *Capsicum* L. *Elsevier, Amsterdam*, 139–160. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Zyxg7YXJKy0C&oi=fnd&pg=PA139&dq=Pickersgill,+B.+\(1991\).+Cytogenetics+and+evolution+of+Capsicum+L.+En+Chromosome+Engineering+in+Plants:+Genetics,+Breeding.+Recuperado+de+https://books.google.com.co/books%3Fhl%3Des](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Zyxg7YXJKy0C&oi=fnd&pg=PA139&dq=Pickersgill,+B.+(1991).+Cytogenetics+and+evolution+of+Capsicum+L.+En+Chromosome+Engineering+in+Plants:+Genetics,+Breeding.+Recuperado+de+https://books.google.com.co/books%3Fhl%3Des)
73. Pickersgill, Barbara. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica*, *96*(1), 129–133. <https://doi.org/10.1023/A:1002913228101>
74. Pozzobon, M. T., Bianchetti, L. D. B., Santos, S., De, S. I. C., José, F., Reifschneider, B., & Ribeiro, C. (2015). Comportamento meiótico em acessos de *Capsicum chinense* Jacq. do Banco de Germoplasma da Embrapa, Brasil. *Revista Brasileira de Bio-ciências*, *09*(2), 96–100.
75. Pozzobon, M. T., Carvalho, S., & Reifschneider, F. (2011). Meiose e viabilidade polínica em linhagens avançadas de pimento. *Horticultura Brasileira*, *29*(2), 212–216. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000200013>
76. Pozzobon, M. T., Schifino-Wittmann, M. T., & De Bem Bianchetti, L. (2006).

- Chromosome numbers in wild and semidomesticated Brazilian *Capsicum* L. (Solanaceae) species: Do $x = 12$ and $x = 13$ represent two evolutionary lines? *Botanical Journal of the Linnean Society*, 151(2), 259–269. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00503.x>
77. Prince, J. P., Loaiza-Figueroa, F., & Tanksley, S. D. (1992). Restriction fragment length polymorphism and genetic distance among Mexican accessions of *Capsicum*. *Genome*, 35(5), 726–732. <https://doi.org/10.1139/G92-112>
78. Quagliotti, 1979. (2006). *Section 12 - Capsicum Annuum Complex*. 293–322. <https://doi.org/10.1787/9789264095380-15-en>
79. Rao, N. B., & Lakshmi, N. (1980). Gamma ray induced meiotic abnormalities in *Capsicum annuum* L. *Caryologia*, 33(4), 509–518. <https://doi.org/10.1080/00087114.1980.10796866>
80. Raw, A. (2000). Foraging behavior of wild bees at hot pepper flowers (*Capsicum annuum*) and its possible influence on cross pollination. *Annals of Botany*, 85(4), 487–492. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1090>
81. Reddy, K., & Kakani, V. (2007). Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. *Scientia Horticulturae*, 112(2), 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.014>
82. Reddy, K. R., & Kakani, V. G. (2007). Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. *Scientia Horticulturae*, 112(2), 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.014>
83. Riaño, D., Pacateque, J., Cure, J. R., & Rodriguez, D. (2015). Pollination behavior and efficiency of *Bombus atratus* Franklin in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.) grown in a greenhouse Comportamiento y eficiencia de polinización de *Bombus atratus* Franklin en pimentón (*Capsicum annuum* L.) sembrado bajo invernadero TT. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 259–267.
84. Sharma, A., Kumar, V., Giridhar, P., & Ravishankar, G. A. (2008). Induction of in vitro flowering in *Capsicum frutescens* under the influence of silver nitrate and cobalt chloride and pollen transformation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 11(2).

<https://doi.org/10.2225/vol11-issue2-fulltext-8>

85. Shekari, A., Nazeri, V., & Shokrpour, M. (2016). Pollen viability and storage life in *Leonurus cardiaca* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 3(3), 101–104. <https://doi.org/10.1016/J.JARMAP.2016.02.004>
86. Shetty, A. A., Magadum, S., & Managanvi, K. (2013). Vegetables as Sources of Antioxidants. *J Food Nutr Disor*, 2(1), 5. <https://doi.org/10.4172/2324-9323.1000104>
87. Soares, T., Silva, S., Costa, M., dos Santos-Serejo, J., Souza, A., Souza, M., de Souza, E., & de Jesús, O. (2008). In vitro germination and viability of pollen grains of banana diploids enxerto View project Active germplasm bank of fruit species View project. *Cropp Breeding and Applied Biotechnology*, 8, 111–118. <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v08n02a03>
88. Souza-Macedo, V. de, García-Dávila, M. A., Castro, G. R. de, Garzón-Bautista, Y. M., & Caetano, C. M. (2017). Cytogenetic evaluation of chili (*Capsicum* spp., Solanaceae) genotypes cultivated in Valle del Cauca, Colombia TT - Evaluación citogenética de genotipos de ají (*Capsicum* spp., Solanaceae) cultivados en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 66(4), 612–617. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122017000400612&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/acag/v66n4/0120-2812-acag-66-04-00612.pdf
89. Sulusoglu, M., Cavusoglu, A., Dede, N., & Unver, H. (2014). Viabilidad del polen in vitro y germinación del polen en laurel cerezo (*Prunus laurocerasus* L.). *The Scientific World Journal*, 2014.
90. Van Marrewijk, G. (1993). *Flowering biology and hybrid varieties*.
91. Villalón, J. (2002). *Determinación de la viabilidad en la carga polínica de insectos, que visitan flores de avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol.)*.
92. Volk - R. (2011). Recolección de polen para la conservación de recursos genéticos. *Cropgenebank.Sgrp.Cgiar.Org*, 1–10.
93. Wang, D., & Bosland, P. W. (2006). The Genes of *Capsicum*. *HortScience*, 41(5), 1169–1187. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1169>
94. Wang, Y., Tao, H., Tian, B., Sheng, D., & Xu, C. (2019). Flowering dynamics, pollen,

and pistil contribution to grain yield in response to high temperature during maize flowering. *Elsevier*, 158, 80–88.

95. Yamazaki, A., & Hosokawa, M. (2019). Increased percentage of fruit set of F1 hybrid of *Capsicum chinense* during high-temperature period. *Scientia Horticulturae*, 243(August 2018), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.049>
96. Yamazaki, A., Shirasawa, K., & Hosokawa, M. (2020). Transgressive segregation and gene regions controlling thermotolerance of fruit set and pollen germination in *Capsicum chinense*. *Euphytica*, 216(11). <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02712-9>
97. Yeamans, R. L., Roulston, T. H., & Carr, D. E. (2014). Pollen quality for pollinators tracks pollen quality for plants in *Mimulus guttatus*. *Ecosphere*, 5(7), 1–8. <https://doi.org/10.1890/ES14-00099.1>
98. Zhang, J., Lin, M., Chen, H., Zhu, Q., Linh, V. N., & Chen, X. (2018). Floral biology and pistil receptivity of the drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.). *Archives of Biological Sciences*, 70(2), 299–305. <https://doi.org/10.2298/ABS170205046Z>
99. Zijlstra, S., Purimahua, C., & Lindhout, P. (1991). *Pollen Tube Growth in Interspecific Crosses between Capsicum Species*. 26(5), 585–586.