

CAPSICUM SP.: DIVERSIDAD Y CAPSICINOIDES

El género Capsicum, originario del continente americano (Andrews, 1984), comprende 33 especies (GRIN, 2014), de las cuales cinco, Capsicum annum L., C. baccatum L., C. chinense Jacq., C. frutescens L., y C. pubescens Ruiz & Pav., han sido domesticadas (Bosland, 1994; Bosland y Votava, 2000). De ellas, C. annum es la especie más cultivada en todo el mundo. Los restos más antiguos identificados como C. annum, que podrían corresponder a las primeras evidencias de su domesticación, se encontraron en dos estados de México: Puebla y Tamaulipas, en el Valle de Tehuacán (Smith 1967, 1987) y en las cuevas de Ocampo (Mangelsdorf et al., 1965), respectivamente. Recientemente, se ha propuesto que la domesticación de esta especie pudo tener lugar en una o dos áreas de México, concretamente en la zona noroeste y central-este de México (Kraft et al., 2014).

ANA GARCÉS-CLAVER, DRA. INGENIERO AGRÓNOMO E INVESTIGADORA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN (CITA)

Diversidad de Capsicum sp.

Las diferentes especies de *Capsicum* comenzaron a ser introducidas en Europa a finales del siglo XV. Llegaron primero a la Península Ibérica, desde donde se distribuyeron, primero, hacia el resto de Europa y posteriormente, a África, a India y a China (Bosland y Votava, 2000). La domesticación y selección a la que fueron sometidas las distintas especies por los agricultores durante cientos de años, así como, el amplio abanico de condiciones agro-ambientales en las que fueron cultivadas, ha hecho, que en la actualidad, haya una gran variabilidad morfológica de cultivares de pimiento en cuanto a su forma, tamaño y colores, entre otras características (Nuez et al., 1996). En los programas de mejora de pimiento se aprovecha esta amplia variabilidad para obtener nuevas variedades que respondan a las demandas del sector agrícola y de los consumidores. Para ello, es esencial, disponer de una detallada caracterización geográfica, morfológica y molecular de la diversidad de *Capsicum*. En este sentido, se han realizado trabajos de caracterización de distintas colecciones de germoplasma de pimiento. A nivel morfológico se han analizado los principales descriptores cuantitativos y cualitativos

para este género (Villota-Cerón et al 2012; Occhiuto et al 2014; Carvalho et al 2014; Bozokalfa y Eiyok, 2011).

A nivel molecular se han utilizado distintos tipos de marcadores moleculares, como RFLPS, RAPDS, AFLPS y SSRs, para estudiar el nivel de variabilidad genética, así como las relaciones genéticas, de entradas de *Capsicum* de distintas colecciones de germoplasma (Lefebvre et al., 1993; Paran et al., 1998; Ibiza et al. 2011; González-Pérez et al., 2014). La reciente secuenciación del genoma del pimiento (Qin et al., 2014; Kim et al., 2014) es una oportunidad para los mejoradores para continuar los estudios de variabilidad genética y evolución de las especies, así como, para profundizar en el conocimiento del control genético de importantes caracteres de mejora como la calidad y las resistencias a estreses bióticos y abióticos.

Los capsicinoides son los responsables de picor de los pimientos

Los capsicinoides son compuestos alcaloides que pertenecen al metabolismo secundario de la planta de pimiento. La

biosíntesis de estos compuestos es única del género *Capsicum* y comienza a partir de los 20 días post-antesis, acumulándose en unas vesículas localizadas a lo largo de la epidermis del tejido placentario de los frutos de pimiento (Iwai et al., 1979; Ohta, 1962; Suzuki et al., 1980; Zamski et al., 1987). Estos compuestos son los responsables del carácter picante de los frutos y aunque se han descrito al menos 11 compuestos, la capsicina es el mayoritario, seguido por la dihidrocapsicina (Reilly et al. 2001; Maillard et al. 1997). Ambos compuestos pueden representar hasta el 80% del total del contenido de capsicinoides. La condensación catalizada, por la capsicina sintetasa (CS), entre un anillo aromático y una cadena de ácidos grasos de entre 9 y 11 C da lugar a estos compuestos. El anillo aromático es la vanililamina, que deriva de la fenilalanina. La cadena de ácidos grasos se biosintetiza a partir de los aminoácidos valina y leucina (Bennett and Kirby, 1968; Leete y Loudon, 1968; Sukrasno y Yeoman, 1993; Suzuki et al., 1981). Los distintos capsicinoides difieren en la longitud de la cadena, su saturación y la posición del metilo terminal (Figura 1).

La presencia de estos compuestos en los frutos podría haber facilitado la dispersión de las especies de *Capsicum*, ya que actúa como un mecanismo de defensa y disuasivo contra los pequeños mamíferos que intentan comerse los frutos, evitando su desaparición. No sucede lo mismo con los pájaros, que al no percibir el picor, los consumen y distribuyen las semillas consumidas, siendo la tasa de germinación de estas semillas similar a la de las semillas sin consumir y nula para aquellas consumidas por pequeños mamíferos (Tewksbury y Nabhan, 2001).

El carácter picante, así como el nivel de picor, depende de la especie de *Capsicum* y de la variedad. Aunque hay que tener en cuenta que el perfil de capsicinas no es un criterio taxonómico para distinguir las especies de *Capsicum* (Zewdie y Bosland, 2001). Hay algunas especies de *Capsicum* que son polimórficas para el carácter picante, ya que producen tanto frutos picantes como no picantes, como sucede con *C. chacoense*. Estudios realizados por Haak et al., (2011), en diferentes poblaciones naturales de frutos picantes y no picantes de *C. chacoense*, proponen que la presencia de plantas picantes está limitada por su adaptación a la regiones secas y depende de la eficiencia del uso del agua y de la densidad de estomas. Es decir, la relación densidad de estomas/picor limitaría la evolución del carácter picante en las poblaciones. Por otro lado, el contenido de capsicinoides varía a lo largo del desarrollo del fruto (Díaz et al., 2004; Estrada et al., 2000) y está fuertemente influenciado por el ambiente (Blum et al., 2003; Garcés-Claver et al., 2007b; Harvell y Bosland, 1997; Zewdie y Bosland, 2000b).

El control genético del carácter picante está determinado por el gen dominante C, localizado en el mapa de pimiento en el cromosoma 2 (Blum et al., 2002) y co-localizado con el gen *Pun1/AT3*. Este gen codifica para una aciltransferasa, la cual ha sido propuesta para ser la *capsicina sintetasa* (CS), responsable del último paso catalítico de la biosíntesis de los capsicinoides (Arce-Rodríguez y Ochoa-Alejo, 2015; Stewart et al., 2005, 2007). Del gen *Pun1*, se han identificado tres

alelos mutantes que confieren la característica de no picante: *pun1¹*, *pun1²* y *pun1³*. El alelo, *pun1¹*, se ha identificado exclusivamente en *C. annuum* y es el utilizado habitualmente en los programas de mejora para seleccionar los genotipos no picantes (Stewart et al., 2005). Los alelos *pun1²* (Stewart et al., 2007) y *pun1³* no llegan a traducirse a proteínas (Stellari et al., 2010) y se han encontrado en otras especies. Para la identificación molecular del carácter picante se han desarrollado distintos marcadores moleculares. El marcador

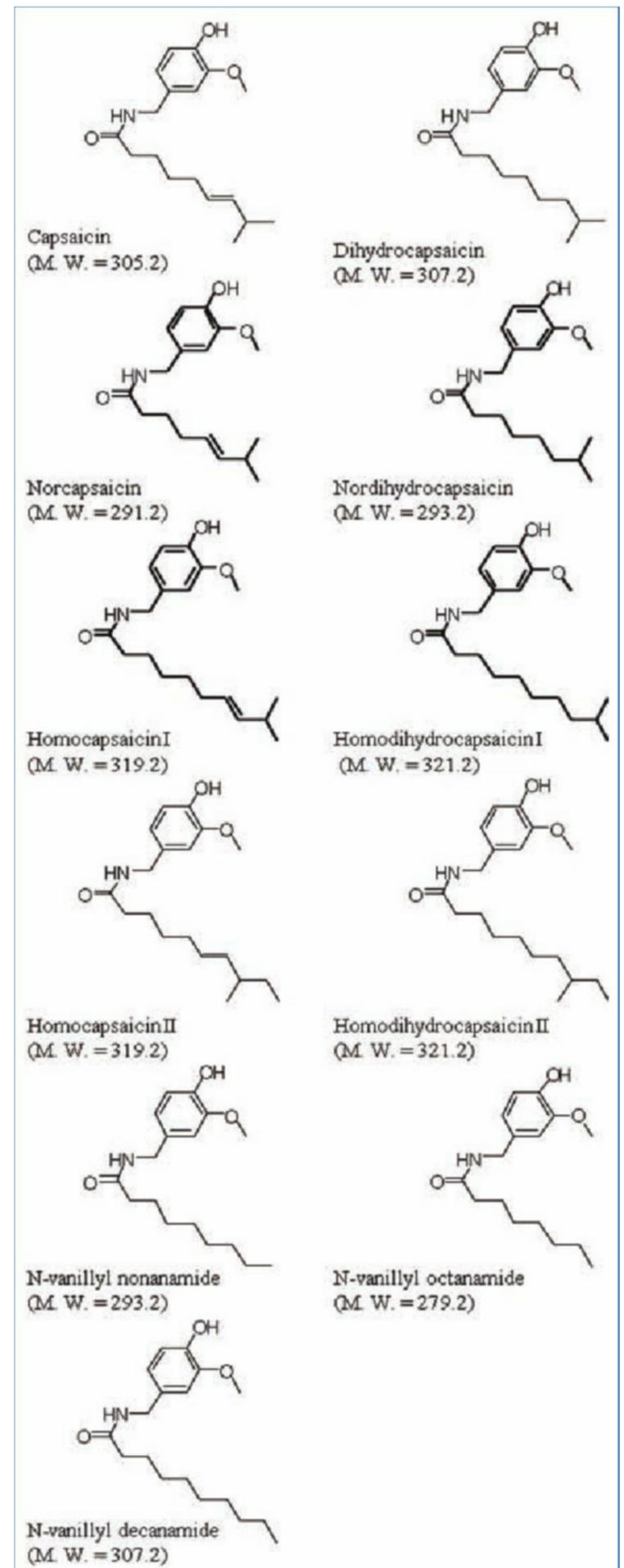


Figura 1. Estructura química y peso molecular (M.W.) de los capsicinoides.

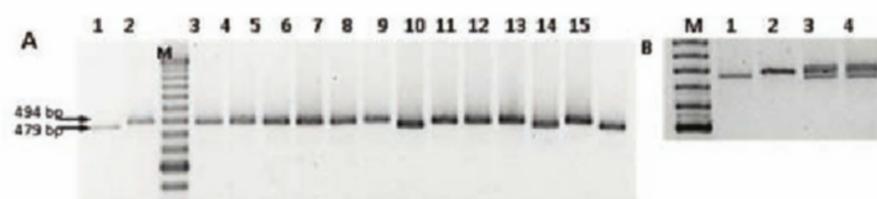


Figura 2. Fragmentos amplificados con el marcador alelo específico MAP1. Los genotipos no picantes presentan el fragmento de 479 pb y los picantes de 494 bp. (A) Genotipos 1: 'Yolo Wonder'; 2: 'Serrano Criollo de Morelos-334'; M: marcador de tamaño 50 bp; 3: 'C-234'; 4: 'C-235'; 5: 'C-236'; 6: 'C-237'; 7: 'C-238'; 8: 'C-261'; 9: 'Doux D'Alger'; 10: 'C-306'; 11: 'C-323'; 12: 'Agridulce'; 13: 'UF15'; 14: 'C-342'; 15: 'Morrón de Fresno'. (B) Amplificación con MAP1 de los parentales 'Yolo Wonder' (no picante) y 'Serrano Criollo de Morelos-334' (picante) y dos individuos de su descendencia F1; 1: 'Yolo Wonder'; 2: 'Serrano Criollo de Morelos-334'; 3 y 4: F1.

molecular alelo específico Map1 discrimina entre individuos picantes y no, pertenecientes a distintas especies de *Capsicum* (Rodríguez-Maza et al., 2012; Garcés-Claver et al., 2007a). También, se han desarrollado marcadores para identificar los distintos alelos de *Pun1* (Wyatt et al., 2012).

El contenido de capsicinoides es un carácter que se hereda cuantitativamente (Zewdie y Bosland, 2000a, b). Pocos estudios se han llevado a cabo para comprender mejor el control genético de la biosíntesis de los capsicinoides. En uno de ellos, se detectó el QTL mayor, *cap*, en el cromosoma 7 (Blum et al., 2003), que posteriormente, fue relacionado con el QTL *ndhc7a.1*, identificado por afectar al contenido de la nordihidrocapsicina (Ben-Chaim et al., 2006). En este mismo trabajo también se detectó el QTL *cap3.1*, afectando a los contenidos de capsicina y total de capsicinoides.

La evaluación del contenido de capsicinoides es de gran interés, en primer lugar, para los mejoradores de pimiento, ya que es un carácter a tener en cuenta en los procesos de selección de los programas de mejora de *Capsicum*. En segundo lugar, para las industrias del sector agroalimentario, dado el interés que despierta el picante y que ha hecho que los pimientos sean tan populares y consumidos. Y finalmente, en el sector farmacéutico, por sus características analgésicas y antitumorales (Caterina et al., 1997, 2000; Huang et al., 2013).

El primer método que se utilizó para evaluar el picante en pimiento fue el Test Scoville (Scoville, 1912), que estimaba, a través de medidas organolépticas, el contenido total de capsicinoides utilizando las denominadas Unidades Scoville. Este método, aunque popular, es impreciso y subjetivo. Pos-

teriormente, una vez se identificaron las principales moléculas responsables del picor, la capsicina y la dihidrocapsicina (Bennett y Kirby, 1968), se desarrollaron metodologías analíticas para cuantificarlas, como la colorimetría (Gibbs y O'Garro 2004), espectrofotometría (Mori et al., 1976; Ramos, 1979; Bajaj, 1980; Rymal et al., 1984) y la cromatografía de papel (Trejo-González y Tamirano, 1973). El desarrollo y aplicación de otras técnicas analíticas ha permitido separar e identificar otros capsicinoides, como la nordihidrocapsicina y los isómeros de la homocapsicina y homodihidrocapsina, entre otros. Estas técnicas analíticas son: la cromatografía de gases (Todd et al., 1977; Iwai et al., 1979; Hawer et al., 1994); y, principalmente, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) acoplada a distintas técnicas de detección como ultravioleta visible (UV-vis) (Collins et al., 1995; Maillard et al., 1997) y espectrometría de masas (Garcés-Claver et al., 2007b). Esta última técnica es la que permite una mayor selectividad y sensibilidad en la detección de los distintos capsicinoides. La aplicación de este método ha permitido cuantificar la variabilidad de este carácter, encontrando valores desde 2,3 mg de dihidrocapsicina/kg de fruto seco y cero de capsicina, para la variedad 'Sincap' (*C. annuum*), hasta 6.639 mg de capsicina/ kg de fruto seco y 3.725 mg de dihidrocapsicina/ kg de fruto seco en la variedad 'Habanero naranja' (*C. chinense*)./



Fruto abierto de la variedad Habanero naranja (*C. chinense*). Su estado de desarrollo es de 20 días postantesis, donde ya se han comenzado a biosintetizar los capsicinoides. En la foto se observa la placenta y septos.



Eppendorf con una solución de extracto de capsicinoides, preparado para su análisis por HPLC-MS.

Pueden consultar todas las referencias bibliográficas referentes a este artículo en el siguiente enlace:
www.interempresas.net/A141438