
AVANCES RECIENTES EN LA TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE *Cucumis melo* L.: CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA AGRONÓMICA

MARISELA RIVERA-DOMÍNGUEZ, MARÍA F. LAZO-JAVALERA,
KAREN R. ASTORGA-CIENFUEGOS
y MARTÍN E. TIZNADO-HERNÁNDEZ

RESUMEN

El melón (*Cucumis melo* L.) pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, posee una amplia diversidad morfológica y es una de las especies más importantes económicamente en el mundo. Además de ser una excelente fuente de nutrientes tales como carbohidratos, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas, es posible cultivarlo durante gran parte del año. Por otro lado, crece en regiones tanto tropicales como subtropicales; dando un amplio margen a los países productores para mantener el abastecimiento del producto durante todo el año. Sin embargo, los productores de melón se enfrentan con problemas ocasionados principalmente por insectos, bacterias, virus y hongos. Estrategias biotecnológicas como la transformación genética de plantas pueden mejorar la tolerancia del melón a estreses bióticos que afectan a la producción, a través de la inserción de genes que ayudan

a combatir estos problemas. Se han realizado esfuerzos para crear plantas transgénicas a partir de muchas variedades de melón utilizando embriones somáticos, semillas, cotiledones, tubo polínico, hojas y yemas o nudos cotiledonarios mediante *Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*, biobalística e inoculación directa, para mejorar la calidad postcosecha del fruto, conferir tolerancia a factores abióticos como salinidad y estrés hídrico, así como resistencia a factores bióticos como virus y fitopatógenos. Como resultado, se han creado varias plantas transgénicas expresando diferentes características fenotípicas deseables. En este trabajo se compila y analiza la información disponible sobre el mejoramiento genético de melón, haciendo énfasis en el desarrollo de las estrategias utilizadas de manipulación genética con el objetivo de introducir características de interés agronómico.

El mejoramiento genético ha estado presente desde que se originó la agricultura hace alrededor de 10000 años, cuando los seres humanos encontraron en el sedentarismo su nueva forma de vida; lo cual generó la necesidad de utilizar nuevos métodos para abastecerse de alimentos. Así fue cuando el hombre empezó a cruzar plantas y animales para que aportaran ciertas características deseadas; los

cambios dependían de la variación genética disponible en las poblaciones naturales y de la estabilidad de los mismos a través de varias generaciones (Chrispeels y Sadava, 2003). Desde su inicio, el mejoramiento de cultivos ha buscado responder a requerimientos de producción, tales como el manejo de plagas y enfermedades, rendimiento y calidad del producto cosechado, respuesta a la aplicación de agroquímicos, características adecuadas para el pro-

cesamiento del producto, arquitectura de la planta, producción de compuestos nutricionales, y tolerancia a factores bióticos y abióticos, entre otros (Hodson, 2005).

El desarrollo de las técnicas derivadas de la tecnología del ADN recombinante permite la introducción de genes de especies no relacionadas filogenéticamente; es decir, permite superar las distancias entre los acervos genéticos, manifestadas en ba-

PALABRAS CLAVE / Biotecnología / Embriogénesis / Ingeniería Genética / Mejoramiento Genético / Melón / Organogénesis /

Recibido: 24/10/2012. Modificado: 14/03/2013. Aceptado: 25/03/2013.

Marisela Rivera-Domínguez. Doctora en Ciencias, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), Irapuato, México. Investigadora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD) Dirección: Laboratorio Biotecnología de Plantas. Departamento de Ciencias de los Alimentos, CIAD. CP. 83000. Hermosillo, Sonora México. e-mail: marisela@ciad.mx

María Fernanda Lazo-Javalera. Biotecnóloga en Alimentos, Instituto Tecnológico de Sonora, México. Estudiante de maestría, CIAD, México. e-mail: mafer_309@hotmail.com

Karen Rosalinda Astorga-Cienfuegos. Química Bióloga, Universidad de Sonora, México. Técnica, CIAD, México. e-mail: kastorga@ciad.mx

Martín Ernesto Tiznado-Hernández. PhD. en Fisiología de Plantas, Purdue University, EEUU. Investigador, CIAD, México. e-mail: tiznado@ciad.mx

rreras biológicas de reproducción sexual, las cuales impiden en condiciones naturales el intercambio de genes de interés agrícola (ONU, 2003). Para lograrlo se han desarrollado diversas formas de mejoramiento genético en las plantas, iniciando con la variación somaclonal hasta métodos más novedosos como lo son la biobalística, la microinyección de ADN y el uso de *Agrobacterium*, entre otros.

El melón (*Cucumis melo* L.) pertenece a la familia de las Cucurbitáceas y es una de las especies más importantes económicamente en el mundo. Sin embargo, los productores de melón enfrentan serios problemas ocasionados principalmente por plagas, bacterias, virus y hongos. Estrategias biotecnológicas, como lo es la transformación genética de plantas, pueden ayudar a resolver estos problemas. Empero, esta especie es considerada como una especie recalcitrante para la transformación genética. El primer trabajo realizado en este sentido en melón fue reportado por Fang y Grumet (1990). A partir de ese trabajo se han desarrollado numerosos estudios enfocados tanto para establecer los protocolos apropiados para la regeneración *in vitro* como para la transformación genética, con la finalidad de conferir ciertas características agronómicas importantes a este cultivo. En este contexto, el objetivo de esta revisión es compilar y analizar la información actual disponible sobre el establecimiento de protocolos de regeneración (desde el 2005) y mejoramiento genético de melón (desde el 2007), haciendo énfasis en el desarrollo de las estrategias de la manipulación genética para introducir características de interés agronómico en melón.

Transformación Genética de Plantas

Una de las formas mediante las cuales se puede modificar las plantas en un lapso de tiempo más corto con respecto a las técnicas de la genética tradicional (hibridación), es la ingeniería genética. Esta técnica implica la introducción de genes a una célula o tejido con el uso de un vector, el cual lleva integrado el o los genes que se desean transferir. Las células o los tejidos candidatos a la transformación deben poseer óptimas condiciones para la división celular y características de totipotencia; esto es, capacidad de regenerarse en una planta completa (Gutiérrez *et al.*, 2003). De igual manera, se pueden introducir en las plantas genes provenientes no sólo de las mismas

especies, sino también de otras especies vegetales alejadas desde el punto de vista evolutivo, tales como hongos, virus, bacterias y animales. Conviene destacar que la transformación de plantas es una tecnología que aporta variabilidad genética sin alterar el fondo genético. Este último aspecto es de gran importancia, ya que en la generación de nuevas líneas o cultivares lo que se desea es incorporar características favorables sin perder las características propias deseables del cultivo.

Se han utilizado varias estrategias para la obtención de plantas transgénicas, que incluyen métodos biológicos como la utilización de la bacteria *Agrobacterium*, o métodos físicos y químicos como biobalística (bombardeo de partículas), electroporación, abrasión con fibras, tratamiento con polietilenglicol (PEG), utilización de láser y microinyección (Birch, 1997). Sin embargo, a la fecha los métodos más utilizados tradicionalmente son la transformación mediante biobalística y la mediada por *Agrobacterium*, las cuales se han usado en una gran variedad de plantas dicotiledóneas (Fraley *et al.*, 1986; Tepfer y Case-Delbart, 1987) y algunas monocotiledóneas (May *et al.*, 1995; Songstad *et al.*, 1995).

Mejoramiento de Melón Utilizando Ingeniería Genética

Como se ha mencionado anteriormente, son dos los métodos más utilizados para la transformación genética en plantas. En melón, los eventos de transformación genética se han realizado en su mayoría utilizando *Agrobacterium tumefaciens* con la excepción de tres eventos de transformación donde se ha reportado la utilización de *A. rhizogenes* (Toyoda *et al.*, 1991; Sol *et al.*, 2011; Mohiuddin *et al.*, 2011), dos eventos mediante bombardeo (Gaba *et al.*, 1992; Gray *et al.*, 1995), un evento utilizando virus (Shiboleth *et al.*, 2001) y un experimento donde se utilizó la inoculación directa al tubo polínico (Hao *et al.*, 2011). Después del primer reporte exitoso de mejoramiento genético de melón vía *A. tumefaciens* (Fang y Grumet, 1990), se han realizado varios ensayos en melón, obteniendo así líneas resistentes a virus (Fang y Grumet, 1993; Yoshioka *et al.*, 1993; Gonsalves *et al.*, 1994; Huttner *et al.*, 2001), resistentes al ataque de hongos (Taler *et al.*, 2004), tolerantes a estrés salino (Bordas *et al.*, 1997; Serrano *et al.*, 1999), con mejores características del fruto (Ayub *et al.*,

1996; Ezura *et al.*, 1997; Shellie, 2001; Silva *et al.*, 2004; Nuñez-Palenius *et al.*, 2006) y con alteración en el crecimiento de las plantas y desarrollo del fruto (Yu *et al.*, 2008; Tian *et al.*, 2010). Sin embargo, la mayoría de los ensayos realizados se han enfocado en el establecimiento de las condiciones idóneas para que la transformación sea exitosa y obtener así un mayor porcentaje de eficiencia de transformación, ya que esto depende del genotipo, del tipo de tejido, de las condiciones del cultivo *in vitro* y del método de transformación (Dong *et al.*, 1991; Yoshioka *et al.*, 1992; Vallés y Lasa, 1994; Bordas *et al.*, 1997).

Son muchos los factores que influyen en la transformación genética de una planta. Por lo tanto, es de vital importancia antes de cualquier ensayo de mejoramiento genético, tener bien establecidas las condiciones del método de transformación y de la manipulación *in vitro* del cultivar. En este contexto, en la Tabla I se resumen algunas de las condiciones de cultivo de tejidos vegetales *in vitro* utilizadas por varios autores desde el 2005 a la fecha, para obtener la regeneración de diferentes cultivares de *C. melo* L. Cabe mencionar que información anterior al 2005 ha sido compilada, analizada por Nuñez Palenius *et al.* (2008). En la tabla mencionada, es posible observar que existen 14 reportes donde se establecen protocolos de regeneración a partir de embriones somáticos, cotiledones, hojas y yemas o nudos. No existe un medio de cultivo óptimo establecido para la regeneración de los distintos cultivares de melón, por lo que se hace imperante el establecimiento de un medio diferente para cada cultivar.

Optimización de las Condiciones para la Transformación Genética en Melón

El melón es considerado como una especie recalcitrante para la transformación genética. El primer trabajo realizado en melón en este sentido fue reportado por Fang y Grumet (1990). A partir de entonces, se han realizado varios ensayos (Toyoda *et al.*, 1991; Dong *et al.*, 1991; Gaba *et al.*, 1992; Vallés y Lasa, 1994; Gray *et al.*, 1995; Nuñez-Palenius *et al.*, 2002; Galperin *et al.*, 2003; Akasaka-Kennedy *et al.*, 2004). Nuñez Palenius *et al.* (2008) han compilado y analizado la información reportada hasta 2004. El presente trabajo muestra los reportes posteriores a dicha fecha.

TABLA I
CONDICIONES DE REGENERACIÓN *IN VITRO* DE *Cucumis melo* L.

Cultivar	Explanse	Tiempo de desarrollo	Medio regeneración (MR)	Tiempo en MR	Medio elongación (ME)	Tiempo en ME	Medio y condiciones de enraizamiento (Men)	Tiempo en Men	Referencia
Honey Dew	Segmentos nodales		MS BA 8,0mg ⁻¹ Sacarosa 2% Agar 0,8%	1 sem	MS BAP 0,5mg ⁻¹ Sacarosa 2% Agar 0,8%	3 sem	MS Sacarosa 2% Agar 0,8%		Chan y Lok, 2005
Amarillo Oro	Cotiledones	7 días	MS Sacarosa 3% Inositol 0,1g ⁻¹ Tiamina-HCL 1,0g ⁻¹ IAA 1,5mg ⁻¹ BA 1,0mg ⁻¹ CuSO ₄ 1,0mg ⁻¹ Agar 0,8%						Souza, 2006
Galia	Cotiledones	2 días	MS Sacarosa 3% Mio inositol 0,1g ⁻¹ Tiamina HCl 0,001 g ⁻¹ Piridoxina HCl 0,05g ⁻¹ Ac. nicotínico 0,05g ⁻¹ Glicina 2mg ⁻¹ BA 1mg ⁻¹ NAA 0,001mg ⁻¹ Agar 7g ⁻¹	4 sem	MS Sacarosa 3% Mio inositol 0,1g ⁻¹ Tiamina HCl 0,001g ⁻¹ Piridoxina HCl 0,05g ⁻¹ Ac. Nicotínico 0,05g ⁻¹ Glicina 2mg ⁻¹ BA 0,025mg ⁻¹ Agar 8g ⁻¹	3 sem	MS IAA 1mg ⁻¹ Sacarosa 3% Agar 8g ⁻¹	3 sem	Nuñez-Palenuis <i>et al.</i> , 2006
Galia	Embriones		E-20A Agua de coco 5% Xilosa 0,02mg ⁻¹ Glutamina 1mg ⁻¹ Putrescina 0,25mM IBA 0,01mg ⁻¹ BA 0,1mg ⁻¹ Sacarosa 2% Agar 0,8%	5 sem	E-20A (50%) Agua de coco 5% Xilosa 0,02mg ⁻¹ Glutamina 1mg ⁻¹ Putrescina 0,25mM IBA 0,01mg ⁻¹ BA 0,01mg ⁻¹ Sacarosa 2% Agar 0,8%		Fotoperiodo 16h, 25°C	2-5 sem	Nuñez-Palenuis <i>et al.</i> , 2006
Maazoum	Cotiledones	10 días	MS Agar 0,7% NAA 0,01mg ⁻¹ IAA 1,5mg ⁻¹ BAP 0,10mg ⁻¹ Cinetina 6mg ⁻¹ Sacarosa 2% 22°C		MS Sacarosa 7% Agar 0,7% NAA 0,01mg ⁻¹ BAP 0,1 mg ⁻¹		Fotoperiodo 16h, 25°C		Rhimi <i>et al.</i> , 2007
Hale's Best Jumbo	Cotiledones		MS BAP 5uM ABA 1uM Agar 2,5g ⁻¹ Sacarosa 2% 26°C	3 días- oscuridad	MS BAP 2uM Agar 0,8% Sacarosa 2%	4-5 Sem	MS Sacarosa 2% Agar 0,8%		Little <i>et al.</i> , 2007
Pile de Sapo	Cotiledones		MS sales B5 vitaminas Sacarosa 3% MES 0,6g ⁻¹ CuSO ₄ 1mg ⁻¹ Agar 0,8%		MS sales B5 vitaminas Sacarosa 3% MES 0,6g ⁻¹ CuSO ₄ 1mg ⁻¹ BA 0,5mg ⁻¹ Agar 0,8%		Fotoperiodo 16 h, 28°C		Castelblanque <i>et al.</i> , 2008
Védrantis Paul	Hojas	13 días	MS BAP 0,2mg ⁻¹ 2iP 0,2mg ⁻¹ Sacarosa 3% Agar 0,7%		MS BAP 0,2mg ⁻¹ GA3 0,1mg ⁻¹ Sacarosa 30g ⁻¹ Agar 7g ⁻¹	2-3 sem	MS Agar 7g ⁻¹ Sacarosa 30g ⁻¹ Fotoperiodo 16h, 25-28°C		Chovelon <i>et al.</i> , 2008
Silver lighth	Cotiledones		MS NAA 0,02mg ⁻¹ BA 0,5mg ⁻¹ Agar 0,8% Sacarosa 2%	2-4 sem	MS NAA 0,01mg ⁻¹ BA 0,1mg ⁻¹ Agar 0,8 % Sacarosa 2%	2 sem	MS BA 0,5mg ⁻¹ Agar 0,8% Sacarosa 2%	1 sem	Wu <i>et al.</i> , 2009
Líneas criollas OSO-1, OSO-2, OSO-3, PQRG-1, PQRG-2, PQRG-3, EM1	Cotiledones	3 días	MS BAP 1mg ⁻¹ Sacarosa 30g ⁻¹ Agar 8g ⁻¹				MS Sacarosa 30g ⁻¹ Agar 8g ⁻¹		Valdez y Gatica, 2009
							Fotoperiodo 16h, 25°C		

(continúa)

TABLA I

Cultivar	Explante	Tiempo de desarrollo	Medio regeneración (MR)	Tiempo en MR	Medio elongación (ME)	Tiempo en ME	Medio y condiciones de enraizamiento (Men)	Tiempo en Men	Referencia
Snake melon 46KSU	Cotiledones	7 días	MS BA 1,0mg·l ⁻¹ IAA 0,25mg·l ⁻¹ Agar 0,75% Sacarosa 3%	4 sem					Yalcin-Mendi <i>et al.</i> , 2010
Líneas híbridas CM15, CM23	Nudos cotiledonarios		MS Agar 0,8% Sacarosa 3% BA 1,5mg·l ⁻¹ IAA 0,5mg·l ⁻¹		MS BA 0,5mg·l ⁻¹ Sacarosa 3% Agar 0,8%		MS (50%) Sacarosa 3% Agar 0,8%		Zhang <i>et al.</i> , 2011
Védrantis	Hojas	13 días	MS BAP 0,2mg·l ⁻¹ 2iP 0,2mg·l ⁻¹ Sacarosa 3% Agar 0,7%		MS BAP 0,2mg·l ⁻¹ GA3 0,1mg·l ⁻¹ Agar 0,8% Sacarosa 3%	2-3 sem	MS Agar 0,8% Sacarosa 3%		Chovelon <i>et al.</i> , 2011
Cantaloupe, Heneydew	Nudos cotiledonarios	7 días	MS BA 1mg·l ⁻¹ ABA 0,26mg·l ⁻¹ IAA 0,8mg·l ⁻¹ Sacarosa 30g·l ⁻¹ Agar 7g·l ⁻¹		MS BA 0,01mg·l ⁻¹ Sacarosa 30g·l ⁻¹ Agar 8g·l ⁻¹		MS Sacarosa 30g·l ⁻¹ Agar 8g·l ⁻¹		Ren <i>et al.</i> , 2012

MS: medio Murashige and Skoog (1962), sem: semanas, IAA: ácido indol acético, BAP: bencil aminopurina, NAA: ácido naftalenacético, BA: bencil adenina, 2iP: 2-isopentenil adenina, CuSO₄: sulfato de cobre, ABA: ácido absícico, E20: medio E20 (Sauton, 1987), IBA: ácido indolbutírico, B5: medio B5 (Gamborg, 1968), MES: buffer ácido 2-(N-morfolino) etanosulfónico.

Cürük *et al.* (2005) reportaron la transformación genética de los cultivares 'Kirkagac 637' y 'Noi Yarak', mediante *Agrobacterium* utilizando la cepa EHA105 conteniendo el plásmido pME504 con los genes de selección *nptII*, *bar* y *uidA*, probando diversos medios y concentraciones de kanamicina. Un trabajo similar fué realizado por Rhimi *et al.* (2007) con el cultivar 'Maazoun' utilizando la cepa GV3101. Nuñez-Palenius *et al.* (2007) y Castelblanca *et al.* (2008) probaron las cepas de *Agrobacterium* ABI, AGI-1 y AGL0, EHA101 y EHA105 en las variedades de melón 'Galia', 'piel de sapo', 'Vedrantais' y 'PI 161375', para determinar el mayor porcentaje de regeneración y transformación. En otro estudio, Chovelon *et al.* (2008) probaron diferentes tipos de tejidos (hipocotilo y cotiledón) de las variedades 'Vedrantais' y 'Paul' con *Agrobacterium* cepa C58 expresando el plásmido pBI101, que incluye los genes *uidA* y *nptII*. Yu *et al.* (2008) clonaron el gen *MAD* en antisen-tido en el vector pBI121 y fue introducido vía directa a cotiledones de melón línea M01-3 utilizando la cepa LBA4404 de *A. tumefaciens*. Wu *et al.* (2009) obtuvieron plantas transgénicas de cv 'Silver light' resistentes al virus del mosaico amarillo del calabacín mediante la agroinfección de cotiledones utilizando la cepa LBA4404 conteniendo el vector pBI2CP3'UTR. Tian *et al.* (2010) utilizaron la cepa de *A. tumefaciens* LBA4404 conteniendo el gen

SPSI en el plásmido pBI121 para transformar cotiledones de melón línea M01-3 y así suprimir la expresión de la enzima sacarosa fosfato sintasa. Hao *et al.* (2011) reportan una metodología donde se logra la introducción del constructo en antisen-tido del gen *ACC oxidasa* bajo el promotor CaMV35S (libre de marcador de selección) vía introducción directa al tubo polínico de melón cultivar 'Hetao'. Chovelon *et al.* (2011) lograron la transformación de cotiledones y hojas jóvenes del cultivar 'Vedrantais' utilizando las cepas de *A. tumefaciens* GV2260, AGL-1, con el plásmido pBI101 y la cepa LBA4404 con pBI121. Ambos plásmidos incluyendo el gen reportero *uidA* y el de resistencia *npt II* bajo el promotor CaMV35S. Ren *et al.* (2012) utilizaron las cepas de *A. tumefaciens* EHA105 y LBA4404 con el vector pCNL56 que incluyen los genes marcadores *nptII* y *uidA* bajo el promotor del CaMV35S para transformar cotiledones de melón líneas 'F39' y '150' y establecer los protocolos de transformación. Rodríguez *et al.* (2012) generaron líneas transgénicas de melón BGV-130 utilizando hipocotilos y la cepa de *A. tumefaciens* EHA105 y la estrategia de RNA de interferencia para silenciar al gen *Cm-elf4E* y generar resistencia viral.

En resumen, y considerando lo reportado por Nuñez-Palenius *et al.* (2008), son 47 el número de protocolos de transformación genética a partir de cotiledones, peciolos, hojas,

raíz, semillas, tallos y polen, siendo la transformación genética mediada por *A. tumefaciens* y los cotiledones, la metodología y el tipo de tejido más utilizados respectivamente, en los protocolos reportados. En este trabajo de revisión, ~92% de los eventos de transformación aquí compilados se realizaron utilizando *A. tumefaciens* y el 78% de los mismos utilizaron cotiledones como explante. Más aún, la mayoría de las características manipuladas en los ensayos de transformación genética en melón han sido el mejoramiento en la calidad y la resistencia a virus. Sin embargo, es muy claro que todavía es necesario establecer las condiciones óptimas de transformación genética para cada cultivar de melón. Lo anterior debido a que de 14 reportes al respecto aquí mencionados, el 42% se refieren al establecimiento de las condiciones óptimas de transformación utilizando vectores o plásmidos conteniendo únicamente genes marcadores de selección y/o reporteros (sin transgen). En la Tabla II se listan una serie de distintas condiciones reportadas para la transformación genética de *Cucumis melo* L, a partir del 2007 a la fecha.

Resistencia a Virus

El primer ensayo de resistencia a virus en cultivares de melón fue realizado por Yoshioka *et al.* (1992), seguido de los trabajos publicados por Fang y Grumet (1993), Gonsal-

TABLA II
CONDICIONES DE LA TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE *Cucumis melo* L.

Transgen	Control de la expresión	Vector	Característica expresada	Explantante	Cultivar	Método de transformación	Referencia
CP4 sintasa, <i>nptII</i> , <i>uidA</i> , <i>gpf</i>	P-FMV P-CaM35S	pMON17204, pCAMBIA	Resistencia a herbicidas, marcador de selección	Cotiledones, hipocotilos y hojas no expandidas	Galia	<i>A. tumefaciens</i> ABI y AGL-1	Núñez-Palenius <i>et al.</i> , 2007
<i>etr1-1</i> , <i>nptII</i>	P-CaM35S	PGA643	Insensibilidad al etileno, marcador de selección	Cotiledones	Hale Best Jumbo	<i>A. tumefaciens</i> EHA105	Little <i>et al.</i> , 2007
<i>etr1-1</i> , <i>nptII</i>	P-AP3 P-CRC	pCAMBIA	Insensibilidad al etileno, marcador de selección	Cotiledones	Hale Best Jumbo	<i>A. tumefaciens</i> C58	Little <i>et al.</i> , 2007
<i>nptII</i>	P-CaM35S	pADI	Marcador de selección	Cotiledones	Maazoun	<i>A. tumefaciens</i> GV3101	Rhimi <i>et al.</i> , 2007
cDNA MAI1 en antisentido, <i>nptII</i>	P-CaM35S	pBI121	Alteración en crecimiento de la planta y desarrollo del fruto, marcador de selección	Cotiledones	Linea MOI-3	<i>A. tumefaciens</i> LBA4404	Yu <i>et al.</i> , 2008
<i>nptII</i> , <i>uidA</i>	P-CaM35S	pBI121	Marcador de selección	Cotiledones	Védrantais	<i>A. tumefaciens</i> C58	Chovelon <i>et al.</i> , 2008
<i>uidA</i> , <i>nptII</i> <i>pmi</i> , <i>bar</i> , <i>ALS</i>	P-CaM35S	pIRTA-2 pIRTA-C21 pBIN35S pGiPTV pIRTA-5	Marcador de selección	Cotiledones	Védrantais	<i>A. tumefaciens</i> LBA4404 AGLO AGL1 EHA105 EHA101	Castelblanque <i>et al.</i> , 2008
cDNA CP3'UTR, <i>nptII</i>	P-CaM35S T-Nos	pBI-ZCP3' UTR	Resistencia a virus, marcador de selección	Cotiledones	Silver lighth	<i>A. tumefaciens</i> LBA4404	Wu <i>et al.</i> , 2009
cDNA SPS1 en antisentido, <i>nptII</i>	P-CaM35S	pBI121	Alteración en crecimiento de la planta y desarrollo del fruto, marcador de selección	Cotiledones	Linea MOI-3	<i>A. tumefaciens</i> LBA4404	Tian <i>et al.</i> , 2010
ACCO en antisentido	P-CaM35S T-Nos	pPZCO-ACO1	Mejora de la calidad, sin marcador de selección	Tubo polínico	Hetao	Inoculación Directa	Hao <i>et al.</i> , 2011
			Tumorogénesis-callos (crown gall) Oncogénesis-(pelos radiculares)	Tallos y peciolos	Birdie	<i>A. tumefaciens</i> LBA4404, A737, C58, A348 y A281 <i>A. rhizogenes</i> 15834, 9402, A4, 8196 y A105	Mohiuddin <i>et al.</i> , 2011
<i>uidA</i> , <i>nptII</i>	P-CaM35S T-Nos	pBI121	Marcador de selección	Cotiledones y hojas	Védrantais, Paul, Gynadou, Vidrinski-Koravci, Gaucho 1, Chadaljak, China 51, Smith-perfect, Casaba-Golden B, Kirkagac, Carosello, URS 187	<i>A. tumefaciens</i> , LBA4404, AGL-1 y GV2260	Chovelon <i>et al.</i> , 2011
<i>nptII</i> , <i>uidA</i>	P-CaM35S	pCNL56	Marcador de selección	Cotiledones	Lineas 'F39', '150', 'TMS'	<i>A. tumefaciens</i> LBA4404 y EHA105	Ren <i>et al.</i> , 2012
(RNAi) <i>cm-eIF4E</i> , <i>nptII</i>	P-CaM35S T-OCS	pART27	Resistencia a virus, marcador de selección	Hipocotilo	Accesión BGV-130	<i>A. tumefaciens</i> EHA105	Rodríguez-Hernández <i>et al.</i> , 2012

NR: no reportado, P-: promotor, T-: terminador.

ves *et al.* (1994), Clough y Ham, (1995) y Fuchs *et al.* (1997). Esta información ha sido compilada y analizada por Núñez Palenius *et al.* (2008).

Posteriormente, Kottearachi *et al.* (2000) trabajaron con el cv 'Thai Jumbo' para inducir la resistencia contra el virus de la mancha anular de la papaya (PRV; *Papaya Ringspot Virus*) mediante el co-cultivo por tres días con *Agrobacterium* conteniendo el plásmido pSA1039 que lleva los genes *nptII*, *gus* y *nib* (resistencia a PRV). Huttner

et al. (2001) lograron desarrollar la resistencia contra el virus mosaico de la sandía y virus del mosaico amarillo del calabacín a los cultivares 'US patent 442' y 'US patent 259' vía *Agrobacterium* utilizando el plásmido pBRL3754. Yalcin-Mendi *et al.* (2004) confirieron resistencia contra virus del mosaico amarillo del calabacín a un cultivar ya resistente a cepas 0 y 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis a *Cucumis melo* var. *inodorus* cv 'Kirkagaed 637'. Además, Wu *et al.* (2009) obtuvieron

plantas transgénicas de cv 'Silver light' resistente al virus del mosaico amarillo del calabacín mediante *Agrobacterium* cepa LBA4404 y Rodríguez Hernández *et al.* (2012) obtuvieron plantas transgénicas con el gen *Cm-eIF4E* silenciado mediante la técnica del RNAi, las cuales mostraron resistencia a la infección con los virus amarillo de pepino (CVYV), virus de la mancha necrótica de melón (MNSV), virus de mosaico de sandía Moroccan (MWMV) y virus del mosaico amarillo de calabaza (ZYMV)

indicando que éste gen controla la susceptibilidad de melón a estos virus.

Resistencia contra Fitopatógenos

En lo referente al ataque por fitopatógenos, se han realizado muy pocos ensayos de mejoramiento genético para conferirle al melón resistencia contra hongos. Taler *et al.* (2004) utilizaron *A. tumefaciens* cepas LBA4404 y EHA105, obteniendo plantas transgénicas de melón que sobreexpresan los genes de resistencia enzimática *At1* y *At2*. También, Souza (2006) realizó transformación genética de melón con los genes *chin* y *bgn* para obtener plantas resistentes a hongos.

Mejoramiento de Calidad Postcosecha del Melón

Para la selección de los frutos, los consumidores se basan principalmente en la apariencia, lo cual incluye la firmeza, el color característico del melón y la ausencia de daños físicos o indicios de alguna contaminación. Por lo tanto, es de importancia tratar de extender al máximo la vida postcosecha del fruto retardando los procesos de la maduración y manteniendo la buena calidad para su comercialización. Las primeras plantas de melón transgénicas, que contienen los genes involucrados en el proceso de maduración de los frutos, fueron desarrolladas por Ayub *et al.* (1996). Posterior a esto y con este mismo fin, varios autores (Clendennen *et al.*, 1999; Guis *et al.*, 2000; Nora y Peters, 2001; Silva *et al.*, 2004; Nuñez-Palenius *et al.*, 2006) han desarrollado ensayos de transformación genética en diferentes cultivares de melón. Dicha información ha sido reportada por Nuñez Palenius *et al.* (2008). Hubo un periodo en el cual no se realizaron trabajos de transformación genética relacionados con la maduración o aspectos de calidad en poscosecha en esta especie debido, tal vez, a que las investigaciones se enfocaron en otros aspectos agronómicos. No fue sino hasta que Hao *et al.* (2011) reportan la transformación de melón vía tubo polínico utilizando un vector libre de marcador de selección, incorporando mediante esta técnica al gen de la *ACC oxidasa* en antisentido en el cv 'Hetao'. La transformación mediante esta vía no requiere de métodos de regeneración *in vitro* de los tejidos transgénicos. Los frutos obtenidos mostraron bajos niveles de etileno, mejor firmeza y la vida de anaquel se extendió hasta 30 días en contraste con 12 días para los frutos no transgénicos.

Tolerancia a Factores Abióticos

Muy pocos reportes han sido publicados sobre la generación de líneas transgénicas de melón que muestran el fenotipo de tolerancia a factores ambientales. En este contexto, Bordas *et al.* (1997) introdujeron en melón el gen *hall*, brindando tolerancia a salinidad. Posteriormente Serrano *et al.* (1999) insertaron el gen *hall* y *tps1* para brindar tolerancia a salinidad y sequía. También, Shibolet *et al.* (2001) desarrollaron plantas transgénicas de melón cv 'Arava' que presentaran resistencia a herbicidas, utilizando como vector al virus del mosaico amarillo del calabacín, el cual fue insertado mediante bombardeo de microproyectiles. Nuñez-Palenius *et al.* (2006, 2007) reportaron la transformación de melón cv 'Galia' con el gen de resistencia al herbicida glifosato *CP4 syn* como gen marcador de selección de las líneas transgénica obtenidas.

Otras Características

Papadopoulou *et al.* (2005) incorporaron el gen de la enzima ACC sintasa de petunia en el melón cv 'Hale's Best Jumbo' mediante *Agrobacterium* cepa EHA105, para regular la producción de etileno endógeno y así aumentar la feminidad en las flores y por lo tanto obtener mayor número de frutos.

Conclusiones

Debido a la gran importancia económica del melón (*Cucumis melo* L.) y la variedad de cultivares existentes en el mundo, se han desarrollado varias estrategias biotecnológicas con la finalidad del mejoramiento genético para el aumento de la producción, conferir resistencia y/o mejorar la calidad de los mismos, haciéndolos más disponibles para su comercialización y finalmente para el consumo humano. En los últimos años se han realizado esfuerzos al respecto y tomando en consideración lo reportado por Nuñez Palenius *et al.* (2008), actualmente existen 21 reportes donde se establecen protocolos de regeneración *in vitro* a partir de embriones somáticos, cotiledones, hojas y yemas o nudos. Así como, 47 protocolos de transformación genética utilizando cotiledones, peciolas, hojas, raíz, semillas, tallos y polen. La transformación genética mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y los cotiledones es la metodología y el tipo de tejido más utilizados en los protocolos reportados ya que ~90% de los

eventos de transformación se realizaron utilizando *A. tumefaciens* y el 78% utilizó cotiledones. Además, se encontró que de los eventos de transformación genética de melón compilados en el presente trabajo, el 42% han sido realizados introduciendo plásmidos conteniendo únicamente genes marcadores de selección y/o reporteros (sin el transgen), el 21% con la finalidad de mejorar la calidad postcosecha, el 14% para conferir resistencia al ataque de virus, el 7% con el fin de aumentar la resistencia a fitopatógenos y el 7% con el fin de alterar el crecimiento de la planta. Sin embargo, aún cuando se han obtenido varias líneas de melón genéticamente mejoradas de importancia agronómica, todavía es necesario establecer cada uno de los protocolos y estrategias de mejoramiento para los cultivares que son importantes en determinadas regiones del mundo.

REFERENCIAS

- Akasaka-Kennedy Y, Tomita KO, Ezura H (2004) Efficient plant regeneration and *Agrobacterium*-mediated transformation via somatic embryogenesis in melon (*Cucumis melo* L.). *Plant Sci.* 166: 763-769.
- Ayub R, Guis M, BenAmor M, Gillot L, Roustan JP, Latche A, Bouzayen M, Pech JC (1996) Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. *Nature Biotechnol.* 14: 852-866.
- Birch RG (1997) Plant transformation: Problems and strategies for practical application. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48: 297-326.
- Bordas M, Montesinos C, Dabauza M, Salavador A, Roig LA, Serrano R, Moreno V (1997) Transfer of the yeast salt tolerance gene HAL1 to *cucumis melo* L. cultivars and *in vitro* evaluation of salt tolerance. *Transgén. Res.* 6: 41-50.
- Castelblanque L, Marfa V, Claveria E, Martínez I, Perez-Grau L, Dolcet-Sanjuan R (2008) Improving the genetic transformation efficiency of *cucumis melo* subsp. *melo* "Piel de Sapo" via *Agrobacterium*. En Pitrat M (Ed.) *Proc. IX EUCARPIA Meet. on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae* INRA. Avignon, Francia. pp. 627-631.
- Cürük S, Çetiner S, Elman C, Xia X, Wang Y, Yeheskel A, Zilberstein L, Perl-Treves R, Wated A, Gaba V (2005) Transformation of recalcitrant melon (*Cucumis melo* L.) cultivars is facilitated by wounding with carborundum. *Eng. Life Sci.* 5: 10.1002.
- Chan LK, Lok KH (2005) *In vitro* plantlets regeneration from nodal segments of musk melon (*Cucumis melo* L.). *Biotechnol.* 4: 354-357.
- Chovelon V, Restier V, Dogimont C, Aarouf J (2008) Histological study of shoot organogenesis in melon (*Cucumis melo* L.) after genetic transformation. En Pitrat M (Ed.) *Proc. IX EUCARPIA Meet. on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae* INRA. Avignon, Francia. pp. 633-637.

- Chovelon V, Restier V, Giovinazzo N, Dogimont C, Aarrouf J (2011) Histological study of organogenesis in *Cucumis melo* L. after genetic transformation: why is it difficult to obtain transgenic plants? *Plant Cell Rep.* 30: 2001-2011.
- Chrispeels MJ, Sadava DE (2003) *Plants, Genes and Crop Biotechnology*. 2ª ed. American Society of Plant Biologists. Bartlett. Salisbury, MA, EEUU. 562 pp.
- Clendennen S, Kellogg JA, Wolf KA, Matsu-mura W, Peters S, Vanwinkle JE., Copes B, Pieper M, Kramer MG (1999) Genetic engineering of cantaloupe to reduce ethylene biosynthesis and control ripening. En Kanellis, A, Chang C, Klee H, Bleecker AB, Pech, JC, Grierson D (Eds.) *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp. 371-379.
- Clough GH, Hamm PB (1995) Coat protein transgenic resistance to watermelon mosaic and zucchini yellows mosaic-virus in squash and cantaloupe. *Plant Dis.* 79: 1107-1109.
- Dong JZ, Yang MZ, Jia SR, Chua NH (1991) Transformation of melon (*Cucumis melo* L.) and expression from the cauliflower mosaic virus-35S promoter in transgenic melon plants. *Bio-Technol.* 9: 858-863.
- Ezura H, Hitomi A, Higashi K, Sato T, Kubota M (1997) Introduction of ACC synthase antisense gene to muskmelon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*). En Abak K, Büyükalaca S (Eds.) *First Int. Symp. on Cucurbits*. Adana, Turquía. p. 52.
- Fang GW, Grumet R (1990) *Agrobacterium tumefaciens* mediated transformation and regeneration of muskmelon plants. *Plant Cell Rep.* 9: 160-164.
- Fang GW, Grumet R (1993) Genetic-engineering of potyvirus resistance using constructs derived from the zucchini yellow mosaic-virus coat protein gene. *Mol. Plant Microbe Interact.* 6: 358-367.
- Fralely RT, Roger SG, Horsch RB (1986) Genetic transformation in higher plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 4: 1-46.
- Fuchs M, McFerson JR, Tricoli DM, McMaster JR, Deng RZ, Boeshore ML, Reynolds JF, Russell PF, Quemada HD, Gonsalves D (1997) Cantaloupe line CZW-30 containing coat protein genes of cucumber mosaic virus, zucchini yellow mosaic virus, and watermelon mosaic virus-2 is resistant to these three viruses in the field. *Mol. Breed.* 3: 279-290.
- Gaba V, Kless H, Antignus L (1992) Transformation of melon by particle acceleration. *Suppl. Plant Physiol.* 99: 137.
- Galparin M, Patlis L, Ovadia A, Wolf D, Zeller A, Kenigsbuch D (2003) A melón genotype with superior competence for regeneration and transformation. *Plant Breed.* 122: 66-69.
- Gonsalves C, Xue B, Yepes M, Fuchs M, Ling KS, Namba S, Chee P, Slightom JL, Gonsalves D (1994) Transferring cucumber mosaic virus-white leaf strain coat protein gene into *cucumis melo* L. and evaluating transgenic plants for protection against infections. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119: 345-355.
- Gray D, Hiebert E, Kelley KT, Compton ME, Gaba VP (1995) Comparison of methods to transform embryogenic cotyledons of melon. *HortScience* 30: 788.
- Guis M, BenAmor M, Latche A, Pech JC, Roustan JP (2000) A reliable system for the transformation of cantaloupe Charentais melón (*cucumis melo* L. var. *cantalupensis*) leading to a majority of diploid regenerants. *Sci. Hort.* 84: 91-99.
- Gutiérrez MA, Santacruz RF, Cabrera PJ, Rodríguez GB (2003) Mejoramiento genético vegetal in vitro. *e-Gnosis. I*: 1665-5745.
- Hao J, Niu Y, Yang B, Gao F, Zhang L, Wang J, Hasi A (2011) Transformation of a marker-free and vector-free antisense ACC oxidase gene cassette into melon via pollen tube pathway. *Biotechnol. Lett.* 33: 55-61.
- Hodson JE (2005) Transformación genética de plantas para resistencia a virus. *Rev. Acad. Col. Cienc.* 29: 5-24.
- Huttner E, Toker W, Vermeulen A, Ignart F, Sawyer B, Birch R (2001) Ribozyme genes protecting transgenic melon plants against potyviruses. *Curr. Iss. Mol. Biol.* 3: 27-34.
- Kottearachchi NS, Kertbundi, Juricek M (2000) *Agrobacterium* mediated transformation of *Cucumis melo* with replicase gene from papaya ringspot virus and regeneration of transformed plants. *Trop. Agric. Res. Extens.* 3: 2.
- Little HA, Papadopoulou E, Hammar SA, Grumet R (2007) The influence of ethylene perception on sex expression in melon (*Cucumis melo* L.) as assessed by expression of the mutant ethylene receptor, *At-etr1-1*, under the control of constitutive and floral targeted promoters. *Sex. Plant Repr.* 20: 123-136.
- May GD, Afza HS, Manson A, Weicko FJN, Arntzen CJ (1995) Generation of transgenic banana (*Musa acuminata*) plants via *Agrobacterium*-mediated transformation. *Bio/Technology*, 13: 486-492.
- Mohiuddin AKM, Cabdullah Z, Chowdhury K, Harikrishna K, Napis S (2011) Enhanced virulence gene activity of *Agrobacterium* in Muskmelon (*Cucumis melo* L.) cv. 'Birdie'. *Not Sci. Biol.* 3: 71-79.
- Nora FR, Peters JA (2001) Melon regeneration and transformation using an apple ACC oxidase antisense gene. *Rev. Bras. Agrocienc.* 7: 201-204.
- ONU (2003) Efectos de las nuevas biotecnologías, prestando particular atención al desarrollo sostenible, incluida la seguridad alimentaria, la salud y la productividad económica. Informe del Secretario General. 58º periodo de Sesiones de la Asamblea General. Organización de las Naciones Unidas. Documento A/58/76.
- Núñez-Palenius H, Cantliffe DJ, Klee HJ (2002) Effect of explant source on regeneration and transformation efficiency in Galia melon (*Cucumis melo* L.). In: *10th IAPTC&B Congress Plant Biotechnology and Beyond*, pp. 100-A. Vasil, I. Ed., The International Association for Plant Tissue Culture & Biotechnology, Orlando, FL.
- Núñez-Palenius H, Huber DJ, Klee HJ, Cantliffe DJ (2007) Fruit ripening characteristics in a transgenic 'Galia' male parental muskmelon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Ser.) line. *Postharv. Biol. Tec.* 44: 95-100.
- Núñez-Palenius HG, Cantliffe D, Huber J, Ciardi J, Klee H (2006) Transformation of a muskmelon 'Galia' hybrid parental line (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Ser.) with an antisense ACC oxidase gene. *Plant Cell Rep.* 25: 198-205.
- Núñez-Palenius HG, Gomez-Lim MA, Ochoa-Alejo N, Grumet R, Lester G, Cantliffe DJ (2008) Melon fruits: Genetic diversity, physiology and biotechnology features. *Crit. Rev. Biotechnol.* 28: 13-55.
- Papadopoulou K, Little HA, Hammar SA, Grumet R (2005) Effect of modified endogenous ethylene production on sex expression, bisexual flower development, and fruit production in melón (*Cucumis melo* L.). *Sex. Plant Repr.* 18: 131-142.
- Ren Y, Bang H, Curtis IS, Gould J, Patil BS, Crosby KM et al., (2012) *Agrobacterium*-mediated and shoot regeneration in elite breeding lines of western shipper cantaloupe and honeydew melons (*Cucumis melo* L.). *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 108: 147-158
- Rhimi A, Hernould M, Boussaid M (2007) *Agrobacterium* mediated transformation of Tunisian *Cucumis melo* cv. Maazoun. *Afr. J. Biotechnol.* 6: 2162-2165.
- Rodríguez-Hernández AM, Gosalvez B, Sempere RN, Burgos L, Aranda MA, Truniger V (2012) Melon RNA interference (RANI) lines silenced for *Cm-elf4E* show broad virus resistance. *Mol. Plant Pathol.* 13: 755-763.
- Serrano R, Culiánz-Macia FA, Moreno V (1999) Genetic engineering of salt and drought tolerance with yeast regulatory genes. *Sci. Hort.* 78: 261-269.
- Shellie KC (2001) Reduced ethylene concentration and postharvest quality of transgenic netted melon (*Cucumis melo* L.) expressing S-adenosylmethionine hydrolase. *Hort-Science* 36: 467-467.
- Shibolet Y, Arazi T, Wang Y, Gal-On A (2001) A new approach for weed control in a cucurbit field employing an attenuated potyvirus-vector for herbicide resistance. *J. Biotechnol.* 92: 37-46.
- Silva JA, Da Costa TS, Luchetta L, Marini LJ, Zanuzo MR, Nora L, Nora FR, Twyman RM, Rombaldi CV (2004) Characterization of ripening behavior in transgenic melons expressing an antisense 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase gene from apple. *Postharv. Biol. Technol.* 32: 263-268.
- Sol K, Hemavathi A, Hyun-Hui S, Joon-Soo S, Sang-Hong Y, Bon-Sung K, Yong-Hwan K, Sukchan L, Bum-Soo H. (2011) Expression of the human tissue-plasminogen activator in hairy roots of oriental melon (*Cucumis melo*). *Plant Mol. Biol. Rep.* 29: 919-926.
- Songstad DD, Somers DA, Griesbach RJ (1995) Advances in alternative DNA delivery techniques. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 40: 1-15.
- Souza FVD (2006) *Transformación Genética en Melón* (*Cucumis melo* L.) y *Tomate* (*Lycopersicon esculentum*) con los Genes *chit 42* y *bgn 16.2* para la Obtención de Plantas Resistentes a Enfermedades Fúngicas. Tesis ETSIA, Universidad Politécnica de Valencia, España. 179 pp.
- Taler D, Galparin, Benjamin I, Cohen Y, Kenigsbuch D (2004) Plant *eR* genes that encode photorespiratory enzymes confer resistance against disease. *Plant Cell* 16: 172-184.
- Tepfer M, Casse-Delbart F (1987) *Agrobacterium*

- rhizogenes* as a vector for transforming higher plants. *Microbiol. Sci.* 4: 24-28.
- Tian H, Ma L, Zhao C, Hao H, Gong B, Yu X, Wang X (2010) Antisense repression of sucrose phosphate syntase in transgenic muskmelon alters plant growth and fruit development. *Biochem. Biophys. Comm.* 393: 365-379.
- Toyoda H, Hosoi Y, Yamamoto A, Nishiguchi T, Maeda K, Takebayashi T, Shiomi T, Ouchis S (1991) Transformation of Melon (*Cucumis melo* L.) with *Agrobacterium rhizogenes*. *Plant Tiss. Cult. Lett.* 8: 21-27.
- Valdez MM, Gatica AAM (2009) Effect of BAP and IAA on shoot regeneration in cotyledonary explants of Costa Rican melon genotypes. *Agron. Costarric.* 33: 125-131.
- Vallés MP, Lasa J. (1994) *Agrobacterium*-mediated transformation of commercial melon (*Cucumis melo* L., cv. Amarillo Oro). *Plant Cell Rep.* 13: 145-148.
- Wu H, Yu T, Raja J, Wang H, Yeh S (2009) Generation of transgenic oriental melon resistant to Zucchini yellow mosaic virus by an improved cotyledon-cutting method. *Plant Cell Rep.* 28: 1053-1064.
- Yalcin-Mendi Y, Ipek M, Serbest-Kobaner S, Curuk S, Aka Kacar Y, Cetiner S, Gaba V, Grumet R (2004) *Agrobacterium*-mediated transformation of Kirkagac 637 a recalcitrant melon (*Cucumis melo*) cultivar with ZYMV coat protein encoding gene. *Eur. J. Hort. Sci.* 69: 258-262.
- Yalcin Mendi Y, Comlekcioglu N, Ipek M, Kocaman E, Izgul T, Tekdal D, Curuk P (2010) The effect of different hormone concentrations and dark pretreatment on adventitious shoot regeneration in snake melon (*Cucumis melo* var. *flexuosus*). *Rom. Biotechnol. Lett.* 15: 5392-5395.
- Yoshioka K, Hanada K, Nakazaki Y, Minobe Y, Yakuwa T, Oosawa K (1992) Successful transfer of the cucumber mosaic-virus coat protein gene to *Cucumis melo* L. *Jap. J. Breed.* 42: 277-285.
- Yoshioka K, Hanada K, Harada T, Minobe Y, Oosawa K (1993) Virus-resistance in transgenic melon plants that express the cucumber mosaic-virus coat protein gene and in their progeny. *Jap. J. Breed.* 43: 629-634.
- Yu X, Wang X, Zhang W, Qian T, Tang G, Guo Y, Zheng C (2008) Antisense suppression of an acid invertase gene (MA11) in muskmelon alters plant growth and fruit development. *J. Exp. Bot.* 59: 2969-2977.
- Zhang H, Peng G, Feishi L (2011) Efficient plant regeneration from cotyledonary node explants of *Cucumis melo* L. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 6757-6761.

ADVANCES IN GENETIC TRANSFORMATION OF *Cucumis melo* L.: IMPORTANT AGRONOMIC TRAITS

Marisela Rivera-Domínguez, María F. Lazo-Javalera, Karen R. Astorga-Cienfuegos and Martín E. Tiznado-Hernández

SUMMARY

The melon (*Cucumis melo* L.) belongs to the Cucurbitaceae family, shows a large morphological variation and it is one of the most important species from the economic point of view. Besides being a rich source of nutrients such as carbohydrates, organic acids, minerals and vitamins, it can be grown throughout the year. It grows in tropical and subtropical regions, giving a wide margin to producing countries to maintain an adequate supply all the year. However, melon producers have to deal with yield reductions due to the attack of insects, bacteria, virus and fungi. Biotechnological strategies such as genetic transformation can improve the tolerance of this crop to biotic stresses by the insertion of genes that help in the struggle against these problems. Efforts have been carried out to create

transgenic plants from different melon cultivars using somatic embryos, seeds, cotyledons, polinic tube, leaf and buds or cotyledonary leaves in early stages of development using *Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*, particle bombardment and direct inoculation, with the goal to improve the postharvest quality, develop tolerance to abiotic stresses like salinity and dehydration, and resistance to biotic stresses such as viruses and phytopathogens. As a result, several transgenic plants have been created showing different desirable phenotypic characteristics. In this paper the available information about genetic improvement of melon is reviewed and analyzed, focusing on the different strategies of genetic manipulation that had been utilized with the aim to introduce agronomic important traits.

AVANÇOS RECENTES NA TRANSFORMAÇÃO GENÉTICA DE *Cucumis melo* L.: CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA AGRONÔMICA

Marisela Rivera-Domínguez, María F. Lazo-Javalera, Karen R. Astorga-Cienfuegos e Martín E. Tiznado-Hernández

RESUMO

O melão (*Cucumis melo* L.) pertence à família das Cucurbitáceas, possui uma ampla diversidade morfológica e é uma das espécies mais importantes economicamente no mundo. Além de ser uma excelente fonte de nutrientes tais como carboidratos, ácidos orgânicos, minerais e vitaminas, é possível cultivá-lo durante grande parte do ano. Por outro lado, cresce em regiões tanto tropicais como subtropicais; dando uma ampla margem aos países produtores para manter o abastecimento do produto durante todo o ano. No entanto, os produtores de melão se enfrentam com problemas ocasionados principalmente por insetos, bactérias, vírus e fungos. Estratégias biotecnológicas como a transformação genética de plantas podem melhorar a tolerância do melão a estresses bióticos que afetam à produção, a través da inserção de genes que ajudam a combater estes problemas.

Tem-se realizado esforços para criar plantas transgênicas a partir de muitas variedades de melão utilizando embriões somáticos, sementes, cotilédones, tubo polínico, folhas e gemas ou nós cotilédones mediante *Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*, biobalística e inoculação direta, para melhorar a qualidade pós-colheita do fruto, conferir tolerância a fatores abióticos como salinidade e estresse hídrico, assim como resistência a fatores bióticos como vírus e fitopatógenos. Como resultado, se tem criado varias plantas transgênicas expressando diferentes características fenotípicas desejáveis. Neste trabalho se compila e analisa a informação disponível sobre o melhoramento genético do melão, fazendo ênfases no desenvolvimento das estratégias utilizadas de manipulação genética com o objetivo de introduzir características de interesse agrônomo.