



Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes

Editora:
María Teresa Pino

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

BOLETÍN INIA N° 360





Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes

Editora:
María Teresa Pino

INIA LA PLATINA
Santiago, Chile, 2018
BOLETÍN INIA Nº 360

ISSN 0717 - 4829



La presente publicación tiene como objetivo dar a conocer los resultados y avances tanto en el mejoramiento genético como en el manejo del pimiento para proyectarlo como materia prima para la Industria de Alimentos. Esta publicación se realiza en el marco del proyecto CORFO INNOVA PMGH-7244.

Editora:

María Teresa Pino, Ingeniera Agrónoma Ph.D., INIA La Platina

Revisores Técnicos:

Gabriel Selles, Ingeniero Agrónomo Dr., INIA La Platina

Juan Pablo Manzur, Ingeniero Agrónomo Ph.D., INIA La Platina

Andrea Torres, Ingeniera Agrónoma, INIA La Cruz

Revisor de Textos:

Federico Bierwirth M., Periodista, INIA La Platina

Director Responsable:

Francisco Tapia F., Ingeniero Agrónomo M.Sc.,

Director Regional INIA La Platina

Boletín INIA N° 360

Cita bibliográfica correcta:

Pino, María T.; Campos, Arturo; Saavedra, Javier; Álvarez, Francisco; Salazar, Carolina; Hernández, Cristián; Soto, Sylvana; Estay, Patricia; Vitta, Nancy; Escaff, Moisés; Pabón, Carolina; Zamora, Olga. (2018). Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 360, 110 p.

© 2018. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación La Platina, Avda. Santa Rosa 11.610. Comuna La Pintana. Santiago, Chile. Casilla 439, Correo 3. Teléfono 56-22 577 9100, Fax: 56 22 577 9106.

ISSN 0717 - 4829

Autorizada la reproducción total o parcial citando la fuente y/o autores.

Diseño y diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico.

Impresión: Impresos Raúl Gerardo León Abarzúa

Cantidad de ejemplares: 200

Santiago, Chile, 2018.



Asociados y Coejecutores



UNIVERSIDAD DE CHILE



Índice de contenidos

Prólogo	6
Capítulo 1. Situación de pimientos y ajíes en Chile, tendencias en el mercado fresco y en la industria	7
Capítulo 2. Origen y desafíos del mejoramiento genético del pimiento a nivel mundial y nacional	19
Capítulo 3. Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile	41
Capítulo 4. Respuesta a estrés hídrico controlado del pimiento durante la maduración del fruto	59
Capítulo 5. Principales enfermedades que afectan el pimiento en Chile	69
Capítulo 6. Insectos y ácaros asociados al pimiento en Chile	77
Capítulo 7. Polinización del pimiento con el abejorro nativo <i>Bombus dahlbomii</i>	91
Capítulo 8. Metabolitos secundarios del pimiento y su valorización en la industria de alimentos saludables e ingredientes	97
Anexos	109

Prólogo

Durante la última década el consumo de hortalizas y frutas, tanto frescas como procesadas, ha aumentado en forma sostenida en Chile. En la actualidad, el consumo per cápita es de 103 Kg de hortalizas al año, uno de los más altos en Latinoamérica. Esto ha sido provocado por cambios en los hábitos de consumo de la población y por la preferencia del consumidor por productos con menor contenido de carbohidratos, menos grasas saturadas y con mayor contenido de fibra, vitaminas y compuestos asociados a una alimentación saludable.

Entre las hortalizas, el pimiento, que cuenta con sólo 1.000 ha plantadas, es una especie que tiene un alto potencial para mejorar su competitividad y recuperar su participación en el mercado internacional. Esto se fundamenta en que el pimiento es una importante materia prima para la producción de jugos y extractos, tanto líquidos como en polvos, por su alto contenido de antioxidantes y de carotenoides específicos como la capsantina/capsorubina. Estos compuestos son sustancias que le otorgan el picor a los pimientos picantes ampliamente utilizados en la industria de alimentos, farmacéutica y cosméticos, teniendo alta demanda en países como Estados Unidos, Japón, Corea y Europa. Así, la agregación de valor y diversificación de productos a partir de pimiento podrían no sólo mejorar su competitividad, sino mejorar el abanico de productos para el mercado de exportación, ya sea en las categorías de semi procesados, procesados y refinados como ingredientes y aditivos especializados. Esta condición pone al pimiento en sintonía con las metas que se ha planteado nuestro país de diversificar y sofisticar la oferta de exportaciones agrícolas y específicamente de alimentos.

En el presente boletín se aborda la situación del pimiento en Chile, la tendencia de mercados y avances en el mejoramiento genético y manejo, con el fin de potenciar no sólo la producción de pimiento para el mercado fresco, sino también como materia prima para la industria de alimentos e ingredientes.

Francisco Tapia F.

Director Centro Regional de Investigación INIA La Platina

Capítulo 1.

Situación de pimientos y ajíes en Chile, tendencias en el mercado fresco y en la industria

María Teresa Pino

Ing. Agrónoma Ph.D.

mtpino@inia.cl

Arturo Campos

Ing. Agrónomo M.Sc.

acampos@inia.cl

El ají y el pimiento tienen un alto potencial de mejorar su competitividad y recuperar su participación en el mercado internacional.

En Chile, tanto el cultivo del pimiento como del ají se produce desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de la Araucanía. En los últimos años, Chile ha disminuido su participación en las exportaciones de pimientos y ajíes como productos procesados, motivado por una disminución en la producción a nivel nacional, bajas de rendimientos en las últimas temporadas (producto de factores climáticos como la sequía y heladas), y por los altos costos de energía asociados al procesamiento. La **Tabla 1.1**, muestra como la superficie de hortalizas a nivel nacional ha disminuido desde 84.336 hectáreas en 2009 a 69.845 hectáreas en 2016. Tanto en pimiento y en ajíes se ha observado una baja significativa durante el mismo periodo, lo cual se explica en particular por la sequía que afectó la región de Coquimbo entre los años 2012 y 2015 que disminuyó significativamente las plantaciones y los rendimientos.

En Chile, el principal destino de la producción de ajíes y pimientos es el mercado fresco. Sin embargo, también exporta pimiento como conserva, deshidratado, y jugo. El jugo del pimiento tipo Bell o cuatro cascós (rojo, verde y amarillo) se exporta como jugo concentrado y filtrado, para ser usado como ingrediente para varias aplicaciones, como por ejemplo en bebidas vegetales, industria de pastas, smoothies, entre otros. También se exporta el pimiento rojo tipo Bell como

Tabla 1.1. Estimación de superficie plantada con pimientos y ajíes en Chile entre 2009 y 2016.

Cultivo	Superficie (Hectáreas)								Variación (%)
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2015 2016
Total, hortalizas*	84.335,9	81.721,0	83.149,0	78.755,0	67.297,1	69.651,9	63.775,5	69.845,0	9,5
Ají	1.431,2	965,1	1.173,8	1.006,3	639,5	696,6	480,2	521,6	8,6
Pimiento	1.489,2	1.473,5	1.153,1	1.006,4	1.075,9	913,1	652,8	962,1	47,3

Fuente INE 2016, ODEPA 2017.

*Sin considerar el tomate destinado a la industria.

deshidratado en distintos formatos (escamas o flakes, gránulos y en polvo) para sopas, condimentos y otras aplicaciones en la industria alimentos. Otro formato de exportación es el pimiento rojo, verde y amarillo congelado en IQF en discos para ser usado como ingrediente en servicios de comida, y en la industria de productos Ready-To-Eat (Invertecfood, 2017).

El valor total de las exportaciones de hortalizas frescas en el mes de enero 2017 alcanzó los USD 9,4 millones, lo que significa un aumento de un 21% respecto al mismo mes del año 2016 donde se registraron exportaciones por un valor de USD 7,8 millones. Respecto a las exportaciones procesadas en 2016, la Tabla 1.2 muestra que en pimiento se exportaron USD 3,08 millones como conserva, deshidratado, y jugo; mientras que en ají se exportaron USD 1,8 millones en 2016 en su totalidad como deshidratado. En relación con el destino de las exportaciones chilenas de ajíes y pimientos, éstos se exportan principalmente como productos procesados a los mercados de México, Estados Unidos y Alemania.

Tabla 1.2. Exportaciones e importaciones de pimiento y ajíes chilenos en 2016.

Especies	Exportaciones Valor FOB (USD) 2016				Importaciones Valor CIF (USD) 2016			
	Conserva	Deshidratado	Jugo	Total	Conserva	Deshidratado	Jugo	Total
Pimiento	350	2.694.724	385.883	3.080.957	1.155.910	1.463.936	56	2.619.903
Ají	0	1.815.744	0	1.815.744	0	1.430.696	0	1.430.696

Fuente: ODEPA.2017

En el marco del mercado global de pimientos, China es el primer productor mundial. Sin embargo, México, España y Holanda tronzaron en el año 2016 el 63% del volumen total de la exportación de pimientos en el mundo. Mientras que en China e India la estrategia de producción se basa en el volumen y bajos precios, Holanda basa su estrategia de producción y exportación en la oferta de un producto de alta calidad y de un producto fresco durante los meses invernales. Además, estos países cuentan con tecnologías avanzadas de procesamiento (Mulderij, 2017).

A pesar de esto, Chile tiene alto potencial de mejorar su competitividad y recuperar su participación en el mercado internacional si focaliza su oferta en mercados de alta calidad y altos precios, para lo cual es necesario que desarrolle productos con valor agregado capaces de competir en mercados más exigentes.

El aumento en el consumo de pimientos y ajíes a nivel mundial está asociado a cambios en las preferencias de los consumidores hacia una alimentación más saludable.

En la última década, el consumo de hortalizas y frutas tanto frescas como procesadas ha aumentado en forma sostenida; gatillado por cambios en los hábitos de consumo de la población y por la preferencia del consumidor por productos con menor contenido de carbohidratos y grasas saturadas, mayor contenido de fibra, y de compuestos asociados a una alimentación saludable como los antioxidantes. Los pimientos y ajíes han sido reconocidos como alimentos saludables. Existen diferentes tipos de pimientos, sin embargo, el pimiento tipo Bell o cuatro cascotes es el más preferido entre los consumidores. Respecto a los colores, el pimiento se consume de colores amarillos, naranjos, rojos, café, morados y negros. Éstos últimos son más difíciles de producir, por lo tanto, se obtiene un plus en el precio en algunos países y nichos de mercados. Un estudio de tendencias de mercado en Estados Unidos arrojó resultados interesantes de destacar, como por ejemplo que el pimiento tipo Bell ha sido categorizado como la quinta hortaliza fresca más comprada en los últimos seis años. Además, este estudio destaca que el consumo de este tipo de pimiento es más alto en mujeres que en hombres y también es más consumido en los niveles socioeconómicos más altos, en particular en la población caucásica, y en familias con tres o más niños (Fresh Trends, 2016). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha descrito el pimiento tipo Bell (cuatro cascotes en español) como un alimento libre de grasas saturadas, libre de sodio, libre de colesterol y bajo en calorías, ya que contiene un 90% de agua, y alto en vitamina C. Otros estudios

destacan al pimiento, además, por su alto contenido de betacarotenos, precursores de la vitamina A y vitaminas del grupo B6, los cuales han sido asociados al fortalecimiento del sistema inmunológico y a la prevención de enfermedades degenerativas y crónicas (Maoka et al. 2001, Vera-Guzmán et al. 2013).

Es importante destacar que betacarotenos como capsantina y capsorubina, presentes sólo en pimientos y ajíes rojos, son premiados por ciertos compradores que pueden pagar entre un 1% a 3% más, por mayor contenido de estos metabolitos específicos (Ha et al. 2007, Del Rocío Gómez-García y Ochoa-Alejo, 2013). Extractos naturales como capsantina (presentes en pimientos y ajíes) y capsaicina (sólo presente en ajíes) son ampliamente utilizados en diferentes industrias, tales como alimentos, farmacéutica, química y de cosméticos. Particularmente, en países desarrollados como Estados Unidos, Japón, Corea y Europa la demanda por estos extractos va en aumento.

La industria requiere frutos de pimiento con mayor grosor de pericarpio, contenido de materia seca y de valor agregado.

Es importante destacar que la industria en Chile utiliza variedades de pimiento para mercado fresco, pero no cuenta con variedades dedicadas o especializadas para una industria, que requiere frutos con mayor grosor de pericarpio para lograr mayor producción de pulpa o kilos de materia seca por hectárea (Galmarini 1999).

A pesar de esto, Chile tiene alto potencial para mejorar su competitividad y recuperar su participación en el mercado internacional, siempre y cuando focalice su oferta en mercados de alta calidad y altos precios. Para lograr esto es necesario que desarrolle productos con valor agregado capaces de competir en diferentes mercados. En este contexto, INIA está desarrollando un programa de mejoramiento genético en pimiento rojo con financiamiento CORFO para la agroindustria. En la actualidad, se cuenta con varias líneas avanzadas, con grosor de pericarpio superior a 6.0 mm, materia seca superior al 12%, sólidos solubles superiores a 8°Brix y mayor concentración de carotenoides como capsantina y capsorubina.

Además del mercado fresco, de pulpa congelada, jugo o deshidratado de pimiento, existen mercados para otros productos a partir de esta materia prima, como el extracto de capsantina, con valor de color E50 a E150 y peso molecular 584.85. este extracto se caracteriza por ser utilizado principalmente en farmacéutica, en varios tipos de alimentos y como colorante en productos acuáticos, cárnicos,

pastelería, alimentos enlatados, bebidas, etc. Se puede tranzar como producto en polvo, con un precio FOB2017 de referencia (en China), que fluctúa entre US\$39.8 y US\$183.6 por kilo. Es importante considerar que el precio final de este tipo de extracto dependerá del formato (líquido o polvo), concentración, calidad (punto o valor de color), entre otros factores.



Costos de producción del pimiento en Chile

En la **Tabla 1.3** que se muestra a continuación, se establecen los costos de producción por hectárea de pimiento. Los valores indicados están sin IVA y los productos químicos a los cuales se hace mención son sólo referenciales y en ningún caso una recomendación de los autores.

Tabla 1.3. Costos de Producción de 1 ha de pimiento.

Costos Directos	Época	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (\$/Un)	Valor (\$)
MANO DE OBRA					
Limpiar terreno	Septiembre	2	JH	18.000	36.000
Riegos	Octubre-Marzo	10	JH	18.000	180.000
Trasplante	Octubre	9	JH	18.000	162.000
Encabezar melgas	Octubre	1	JH	18.001	18.001
Aplicación de fertilizantes	Octubre-Enero	3	JH	18.000	54.000
Pasada de cultivador	Octubre	2	JH	18.000	36.000
Segunda limpia manual	Noviembre	3	JH	18.000	54.000
Aplicación de agroquímicos	Noviembre	3	JH	18.000	54.000
Acarreo de insumos de cosecha	Octubre-Marzo	3	JH	18.000	54.000
Cosecha de frutos Verdes	Febrero	6.150	Kilos	40	246.000
Cosecha de frutos rojos	Marzo	34.850	Kilos	40	1.394.000
Total, Mano de Obra		41.000			2.288.001
MAQUINARIA					
Aradura	Septiembre	1	ha	60.000	60.000
Rastraje	Septiembre-Octubre	2	ha	50.000	100.000
Melgadura y aplicación de fertilizantes	Octubre	1	ha	25.000	25.000
Acequiadura	Octubre-Noviembre	2	ha	25.000	50.000
Aplicaciones de pesticidas	Octubre-Febrero	2	ha	24.000	48.000
Cultivación entre hileras	Octubre-Noviembre	2	ha	25.000	50.000
Fletes predio a galpón	Abril	41.000	Kilos	3	123.000
Total, Maquinaria					456.000
Plantas de vivero	Octubre	35.000	Unidades	11	385.000

Continuación Tabla 1.3.

Costos Directos	Época	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (\$/Un)	Valor (\$)
INSUMOS					
Fertilizantes:					
Urea	Octubre-Noviembre	300	Kg	261	78.300
Superfosfato Triple	Octubre	200	Kg	297	59.400
Sulfato de potasio	Octubre	150	Kg	555	83.250
Fungicidas:					
Fungizeb	Octubre-Enero	5	Kg	6.110	30.550
Bellis	Noviembre-Enero	0,8	Kg	149.552	119.642
Captan 80% WP	Octubre-Enero	2	Kg	40.000	80.000
Insecticidas:					
Mageos	Noviembre-Diciembre	0,1	Kg	51.891	5.189
Proclaim	Diciembre-Enero	0,45	Kg	148.244	66.710
Herbicidas:					
Farmon (desmanche)	Noviembre	2	L	10.887	21.774
Hache 1 Super 2000 (desmanche)	Noviembre-Enero	2	L	34.608	69.216
Otros:					
Análisis de suelo (completo)	Septiembre	1	Unidad	25.000	25.000
Cajas Plataneras	Mayo	700	Unidades	400	280.000
Total, Insumos					919.031
TOTAL, COSTOS DIRECTOS					4.048.032

Si a los costos directos indicados, añadimos los costos indirectos, a los cuales se les agregan aquellos que son de carácter monetario como los de oportunidad, éstos ascienden a M\$ 909 por hectárea. Se asume un valor de imprevistos a los costos directos de un 5% y un costo financiero equivalente a los meses de duración del cultivo. Los gastos de administración son, por lo general, muy variables al ser estimados a nivel de campo. En este caso, se ha asumido un valor de M\$ 150 por hectárea.

Tabla 1.4. Costos Indirectos de producción de pimientos por hectárea.

Otros costos	Observación	Porcentaje	Valor(\$)
Imprevistos	Porcentaje sobre el total de los costos directos	0,05	202.402
Costo financiero	Tasa de interés de las casas de distribución de insumos	0,12	141.681
Costo oportunidad (arriendo)	Valores equivalentes a una hectárea, no sobre la totalidad del predio		400.000
Administración			150.000
Impuestos y contribuciones			15.000
Total, otros costos			909.083

Al sumar los costos directos con los costos indirectos, el costo total de producción por hectárea de pimientos alcanza a M\$4.957 aproximadamente. De acuerdo a lo anterior, un resumen de costos y su estructura se muestra en la **Tabla 1.5**.

Tabla 1.5. Estructura de los costos de producción de pimiento por hectárea.

Ítem	\$/ha	% Costos Directos	% Costos Totales
Mano de obra	2.288.001	56,5	46,2
Maquinaria	456.000	11,3	9,2
Plantas	385.000	9,5	7,8
Fertilizantes	220.950	5,5	4,5
Fungicidas	230.192	5,7	4,6
Insecticidas	71.899	1,8	1,5
Herbicidas	90.990	2,2	1,8
Otros	305.000	7,5	6,2
Costos Directos	4.048.032	100,0	
Costos Indirectos	909.083		18,3
Total, Costos	4.957.114		100,0

El principal costo de producción está dado por la mano de obra, el cual representa un 56,5 % del total de los costos directos y un 46,2 % cuando consideramos los costos totales. El segundo ítem en importancia corresponde a los costos de la

maquinaria. Estos costos fueron estimados a su valor de arriendo, ya que el uso que se le da en el predio determina una variabilidad importante en su estimación del costo horario de uso. Los costos de los agroquímicos como pesticidas, fungicidas y herbicidas representan en conjunto el 9,7 % de los costos directos.

Ingresos por hectárea y análisis de sensibilidad

Las tablas que se presentan a continuación muestran los ingresos que eventualmente podría tener un productor considerando la venta de pimentones frescos, orientados al mercado mayorista o bien a la industria. Cabe hacer notar que se trata de precios referenciales, obtenidos del mercado mayorista, a los cuales se les ha descontado un porcentaje de los registrados en feria, considerando el transporte y el pago de los derechos de entrada y gastos de alimentación de chofer y peoneta en el proceso de comercialización en feria mayorista. Los ingresos brutos se muestran en el cuadro siguiente.

Tabla 1.6. Ingreso por venta de pimientos frescos (\$).

Ventas	Kilos	Precio/U	Ingreso
Primera cosecha (verde)	6.150	25	768.750
Segunda cosecha (rojo)	34.850	50	8.712.500
Total, Ventas			9.481.250

En este caso, el precio por unidad es de \$25 para la primera cosecha y de \$50 la unidad de la cosecha en rojo. Se asume una producción de 41.000 unidades en promedio. El total de los ingresos asciende a M\$ 9.481 aproximadamente. Las tablas que se muestran a continuación señalan los ingresos netos, provenientes de la diferencia entre los ingresos brutos y los costos totales de producción (Directos más Indirectos). Los rendimientos están expresados en unidades por hectárea, mientras que los precios en pesos por unidad. En los cuadros que se muestran a continuación se consideran dos aspectos: los márgenes netos por hectárea y el precio de equilibrio de los precios de la unidad de pimiento a venta en fresco.

Los márgenes varían desde M\$ 2.723 hasta M\$ 6.515 al considerar variaciones en el precio promedio ponderado de la venta de pimentones (verdes y rojos), y los rendimientos por hectárea. Es interesante considerar que en todas las situaciones los márgenes alcanzados son positivos cuando las condiciones agronómicas de manejo del cultivo son las adecuadas.

Tabla 1.7. Márgenes netos de la producción de pimientos por hectárea (\$).

Rendimiento	Precio por unidad		
	42	46	51
36.900	2.722.698	3.576.011	4.429.323
41.000	3.576.011	4.524.136	5.472.261
45.100	4.429.323	5.472.261	6.515.198

Los precios de equilibrio para las condiciones establecidas para este análisis, muestra que en la medida de que los rendimientos suben desde 36.900 kilos por hectárea a \$ 45.100 kilos por hectárea, el precio de equilibrio, es decir el precio en que los costos y los ingresos se hacen igual a cero, disminuye desde \$134 a \$ 110. Estos valores son significativamente mayores a los estimados por la venta en fresco de este análisis.

Tabla 1.8. Precio de equilibrio en función del rendimiento por hectárea. (\$/unidad).

Rendimiento (unidades)	36.900	41.000	45.100
Precio Equilibrio (\$)	134	121	110

En conclusión, la producción de pimientos es una buena alternativa para la venta en fresco. Sin embargo, desde el punto de vista de los costos, la mano de obra es uno de los principales aspectos a considerar, ya sea por la cantidad requerida en el proceso de producción y también por su valor a nivel de mercado. Por otra parte, si bien éste no es un aspecto considerado en este capítulo, el manejo agronómico que recibe el cultivo es de vital importancia para alcanzar niveles

de rendimientos adecuados y obtener los beneficios aquí estimados. El clima y manejo fitosanitario es clave y esto explica, de alguna manera, las fuertes fluctuaciones en los precios registrados a nivel del mercado mayorista, ya que la oferta es muy variable, posiblemente por variaciones en los niveles de rendimiento que se alcanzan a nivel de campo.

Por otra parte, el gran impulso que Chile está dando a la industria de alimentos procesados, ingredientes y aditivos, abren otras alternativas de mercados para el cultivo del pimiento. No obstante, esto requerirá no sólo de variedades con características industriales, pensando en el concepto de materias primas dedicadas, sino también se necesitará adecuar el manejo agronómico, mecanizar la cosecha y trabajar bajo una agricultura de contrato.

Referencias

- Del Rocío Gómez-García, M., & Ochoa-Alejo, N. (2013).** Biochemistry and Molecular Biology of Carotenoid Biosynthesis in Chili Peppers (*Capsicum spp.*). *International Journal of Molecular Sciences*, 14(9), 19025-19053. <http://doi.org/10.3390/ijms140919025>.
- Fresh Trends. (2016).** Peppers, Specialty-P eppers_Fresh-Trends, p:70-71. https://www.producemarketguide.com/sites/default/files/fresh%20trend%20files.tar/fresh%20trend%20files/peppers-and-specialty-peppers_fresh-trends.pdf (último acceso noviembre 2017).
- Galmarini, C.R. (1999).** El género capsicum y las perspectivas del mejoramiento genético de pimiento en Argentina. *Avances en Horticultura* 4(1), 24-32. Edición on-line
- Ha, S. H., Kim, J. B., Park, J. S., Lee, S. W., & Cho, K. J. (2007).** A comparison of the carotenoid accumulation in Capsicum varieties that show different ripening colours: deletion of the capsanthin-capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58(12), 3135-3144.
- HORTOINFO. (2017).** Informe pimiento. Agosto 2017. <http://www.hortoinfo.es/index.php/informes/cultivos/6011-inf-pim-2017> (último acceso noviembre 2017).

INVERTEC FOOD. (2017). Productos, en <http://www.invertecfoods.cl/p/page/products> (último acceso diciembre 2017).

Maoka, T., Mochidaa, K., Kozukaa, M., Itoa Y., Fujiwarab, Y., Hashimotob, K., Enjoc, F., Ogata, M. C., Nobukunic, Y., Tokudac, H., & Nishino, H. (2001). Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annuum* L. *Cancer letters*, 172(2), 103-109.

Mulderij R. (2017). Overview global pepper market. Julio 2017. <http://www.freshplaza.com/article/178545/OVERVIEW-GLOBAL-PEPPER-MARKET>.

ODEPA. (2017). Avance por producto - país de exportaciones/importaciones. <http://www.odepa.cl/avance-por-producto-pais-de-importacion-y-exportacion>. (último acceso noviembre 2017).

Valdés Q. P. & López G. A. (2017). Evolución de las exportaciones chilenas en acuerdos: período 2007-2016. ODEPA <http://www.odepa.cl/wp-content/uploads/2017/08/evolExpor.pdf> (último acceso noviembre 2017).

Vera-Guzmán, Araceli Minerva, Chávez-Servia, José Luis, Carrillo-Rodríguez, José Cruz, & G. López, Mercedes. (2011). Phytochemical Evaluation of Wild and Cultivated Pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean journal of agricultural research*, 71(4), 578-585. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000400013>

Capítulo 2.

Origen y desafíos del mejoramiento genético del pimiento a nivel mundial y nacional

María Teresa Pino

Ing. Agrónoma Ph.D.

mtpino@inia.cl

Javier Saavedra

Biotechnólogo Mg.

javier.saavedra.romero@gmail.com

Origen del pimiento

El género *Capsicum*, de la familia de las solanáceas, tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América (México, Perú y Bolivia). En el siglo XV fue introducido a Europa y luego al resto del mundo. A la fecha se han identificado sobre 25 especies, aunque las más conocidas se restringen sólo a cinco; *Capsicum annuum* (pimiento y ajíes), *Capsicum chinense* (ají habanero), *Capsicum frutescens* (ají Tabasco), *Capsicum baccatum* (ají Andino), y *Capsicum pubescens* (Rocoto) (Bosland *et al.* 2012). El pimiento (*Capsicum annuum* L.) se caracteriza porque su fruto es dulce y no contiene los compuestos pungentes característicos de los ajíes, tales como capsaicina ($C_{18}H_{27}NO_3$) u otros capsai-noides (Bosland *et al.* 2012).

Es importante destacar que el grado de pungencia de los ajíes depende del cultivar y de las condiciones ambientales, particularmente durante el desarrollo y la maduración del cultivo. En la **Figura 2.1** se muestra el grado de pungencia en diferentes tipos de ajíes, en comparación con el pimiento dulce y la capsaicina pura.

15.000.000-16.000.00	Capsaicina Pura
2.000.000- 5.300.000	Gas Pimienta- U.S grade
800.000- 1.400.000	Trinidad Escorpio
350.000-577.000	Red Sabina
100.000-350.000	Scotch Bonnet - Habanero
30.000-50.000	Cayenne - Tabasco
3.500-8.000	Jalapeño
1.000-2.000	Poblano
500-750	Ají Rojo
0	Pimiento Dulce



Figura 2.1. Escala de pungencia en diferentes tipos de ajíes (en unidades Scoville) comparado con el pimiento dulce y capsaicina pura.

Tipos de pimientos más conocidos en Chile

Existen diferentes tipos de pimientos y los más conocidos en Chile son: **Pimiento para paprika** que se caracteriza por su forma cónica, alargada, de tamaño medio a grande, de color rojo intenso en su madurez y de pericarpio grueso, es dulce y no pungente. Este se comercializa como producto deshidratado y molido (pimentón). **Pimiento cuatro cascos, blocky o tipo Bell**, se caracteriza porque su fruto es de forma cúbica-cuadrado, de cuatro cascos, de tamaño medio (10 cm de largo), de color verde cuando son inmaduros y que pasan a rojo, amarillo o anaranjado en su madurez. **Pimiento cuadrado alargado o tipo Lamuyo**, se caracteriza porque su fruto es de forma cúbica alargada, grande (15 a 20 cm de largo), de color verde (inmaduro) a rojo (maduro) y con un pericarpio grueso. **Pimiento trompito o morrón**, se caracteriza por la forma de su fruto acorazonado o trompo, de tamaño medio (10 cm de largo), de color verde (inmaduro) a rojo intenso (maduro), con un pericarpio grueso y dulce.

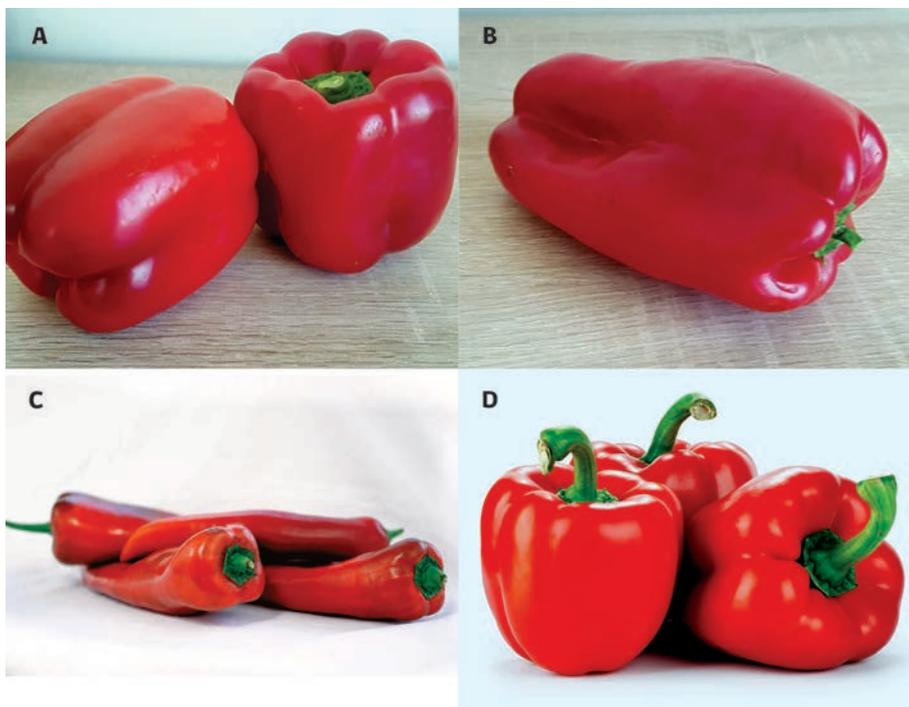


Figura 2.2. Tipos de pimientos más conocidos en Chile: (A) Pimiento cuatro cascós, blocky o tipo Bell, (B) Pimiento cuadrado alargado o tipo Lamuyo, (C) Pimiento Paprika, (D) Pimiento trompito o morrón.

Objetivos del mejoramiento genético del pimiento a nivel mundial

Los principales objetivos del mejoramiento genético en pimiento a nivel mundial se focalizan mayoritariamente en variedades tipo Bell y Lamuyo, en sus colores rojo y amarillo, abordando calidad, rendimiento y resistencia a problemas fitosanitarios. En 2017, el "European Seed Newsletter" publicó un interesante artículo que aunó la opinión de las más importantes compañías de semillas presentes en Europa respecto a los principales desafíos y metas del mejoramiento genético en pimientos (Hein 2017). La publicación destacó la generación de híbridos de pimiento con rendimiento superior para el tipo blocky, seguido por el tipo Lamuyo, éste último muy típico en los mercados de España e Italia. de igual forma, se

destacó el mejoramiento genético de pimiento para generar variedades específicas para invernadero y para el aire libre, ya que ambos tienen requerimientos diferentes. El equipo de mejoramiento genético de pimiento de Syngenta, presente en España, Holanda, Israel, México, EE. UU. y Brasil, están principalmente enfocados en pimientos tipo Blocky, tanto para invernadero como para aire libre. Sin embargo, también mejoran pimientos de tipo alargados y cónicos como Bell alargado y Dulce Italiano, entre otros. Al igual que otras compañías de semilla, Syngenta trabajan en selección y mejoramiento de pimientos locales en países como Turquía, lo que está motivado por gustos locales. En el noroeste de Europa, por ejemplo, a los consumidores les gusta que sus pimientos tengan un color rojo brillante, mientras que en el sur prefieren un rojo más oscuro. En algunos segmentos el sabor es muy importante, como en el tipo dulce Palermo de Rijk Zwaan. Pimientos con mayor dulzor, crujientes y jugosos, sin demasiadas semillas y con piel más delgada fácil de digerir son altamente demandados. Otro ejemplo es el Dolma, muy popular en Turquía y preparado a menudo en el horno, su piel no debe ser demasiado gruesa, para evitar un tiempo de cocción demasiado largo.

Todas las compañías semilleras coinciden en que el rendimiento es crucial para que el productor sea competitivo. Sin embargo, éste debe estar de la mano con la calidad del fruto y un buen paquete de resistencia a plagas y enfermedades para reducir el uso de plaguicidas y asegurar un buen rendimiento al productor (Hein 2017). Por lo tanto, la resistencia o tolerancia a cualquier tipo de estrés, biótico o abiótico, es esencial para un rendimiento estable. Respecto a cuáles son las enfermedades más importantes en el mejoramiento genético del pimiento, éstas dependen de cada país o región, del cambio climático y de la exigencia del consumidor por productos sin pesticidas. En Europa, además de resistencia a *Phytophthora capsici*, se trabaja en resistencias a virus como el Virus del Mosaico del Pepino (CMV), el virus del mosaico del tabaco (TMV), Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV) y potivirus. Además, se trabaja en resistencia al Oidio (*Leveillula taurica*) y nemátodos (*Meloidogyne sp*), así como en resistencia a insectos como *Bemisia tabaci* y thrips, los cuales han cobrado mayor importancia económica en los últimos años. Por ejemplo, la pudrición interna de la fruta (*Fusarium lactis*) está cobrando mucha relevancia en el cultivo de pimiento de alta tecnología en el noroeste de Europa y en la región mediterránea el virus de la veta amarilla (VYV) ha sido un problema creciente en los últimos años. (Hein 2017). Además, los programas de mejoramiento genético de pimiento a nivel mundial están trabajando en nuevos portainjertos, en nuevos colores, nuevas formas, nuevos sabores y mayor digestibilidad.

Desafíos del mejoramiento genético para resistencia a *Phytophthora capsici*

Phytophthora capsici L., uno de los patógenos más devastadores en pimiento, se caracteriza por afectar a las plantas en todos sus estados de desarrollo y tejidos **Figura 2.3**, por su importancia económica es un objetivo constante en el mejoramiento genético de pimientos (Quirin *et al.* 2005).



Figura 2.3. Síntomas y signos producidos por la infección de *P. capsici* en plantas de *C. annuum*. A) Marchitez foliar, B) Necrosis en tallos y C) Pudrición del fruto. (Imágenes seleccionadas desde <http://www.longislandhort.cornell.edu/>).

INIA, en su programa de cruzamientos y selección de pimientos para la industria, ha incorporado genotipos resistentes y el uso de herramientas moleculares para asegurar a priori la introgresión de la resistencia *P. capsici*. Es importante destacar que diversos estudios han mostrado la presencia de loci de rasgos cuantitativos o QTL (por el inglés, Quantitative Trait Loci) en diferentes cromosomas con efectos menores, medios y mayores sobre la resistencia a *P. capsici*. Quirin *et al.* (2005) mapearon una región relacionada con resistencia a *P. capsici* denominada como *Phyto 5.2* ubicada en el cromosoma 5 de *C. annuum*, en la cual se generó un marcador tipo SCAR (Sequence-Characterized Amplified Region) para la detección de este QTL (**Figura 2.4**).

Posteriormente, esta misma región génica fue analizada mediante un estudio de mapeo comparativo por Mallard *et al.* (2013), usando líneas con presencia y ausencia del segmento. Esto demostró la efectividad de este segmento sobre 12 aislados de *P. capsici* provenientes de diferentes orígenes geográficos. Por

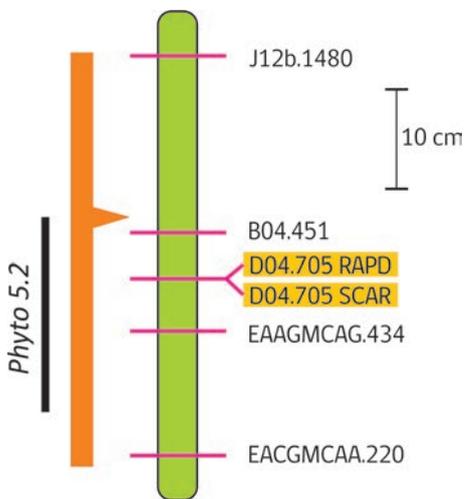


Figura 2.4. Región QTL *Phyto 5.2* detectada por Quirin *et al.* (2005). La región se ubica en el cromosoma 5 de *C. annuum*. Enmarcados en negro se indican los marcadores RAPD y SCAR generados para la detección del QTL.

otra parte, el locus denominado “locus *L*” (localizado en un grupo de genes de resistencia, R-genes), ha sido descrito como responsable de la resistencia a variados patógenos como Potivirus, Virus del Mosaico del Pepino (CMV), Virus del bronceado del tomate (TSWV) y *P. capsici* en especies de la familia Solanaceae como *C. annuum*, *Solanum tuberosum* y *S. lycopersicum* (Yang *et al.*, 2009). Adicionalmente, en los últimos años Lu *et al.* (2012) a través de marcadores de polimorfismo de un único nucleótido (SNP, por sus siglas en inglés) mapearon una región de los cromosomas 4 y 5, mostrando un efecto aditivo de -0,466 y -1,478 respectivamente, y su uso potencial de introgresión en programas de mejoramiento genético. Otros estudios

han puesto en evidencia el control genético de la característica, soportando la hipótesis que se trata de un rasgo de control poligénico. Además del mapeo de regiones cromosómicas extensas involucradas en la respuesta de resistencia, la heredabilidad de ésta (o sea, la proporción de la variación fenotípica explicada por el componente genético) ha sido descrita como media a alta, con valores de heredabilidad fluctuando entre 0,80 y 0,96 (de un máximo de 1), indicando que los valores fenotípicos se ven débilmente afectados por efectos ambientales y responden en mayor medida a un efecto genético (Bonnet *et al.*, 2007).

El desarrollo de variedades resistentes a *P. capsici* dentro de los sistemas de producción comercial de pimiento ha sido lento, debido tanto al restringido número de genotipos resistentes a la mayoría de aislados de *P. capsici*, como a la independencia de los controles genéticos ante este patógeno en distintos órganos de la planta. El genotipo local mexicano Criollo de Morelos 334 (CM334) ha sido uno de los pocos que ha mostrado la más amplia y efectiva resistencia ante *P. capsici*. Las técnicas de introgresión de resistencia más utilizadas hasta el momento son retrocruzas y selección recurrente, apoyada con la información de marcadores genéticos ligados a la resistencia. Thabuis *et al.* (2004a) usaron

marcadores previamente identificados para transferir la resistencia desde un cultivar de fruto pequeño llamado "Perennial" al cultivar comercial "Yolo Wonder" mediante tres ciclos de retrocruzamientos. Los marcadores provenientes del grupo de ligamiento 5 (P5) mostraron efectos positivos más altos sobre la resistencia, mientras que los provenientes de P2 y P10 transfirieron sólo resistencia moderada. Más tarde, Thabuis *et al.* (2004b), utilizaron los mismos marcadores en un programa de selección recurrente modificado para introgresar un QTL desde CM334 a una población de Bell Pepper, dividida en 3 subpoblaciones, con marcadores moleculares ligados a los cromosomas P4, P5, P6, P11 y P12 monitorearon los cambios de las frecuencias alélicas a través de los cinco ciclos de selección. De los seis QTLs monitoreados, cinco se asociaron con la resistencia *P. capsici* en la población de mejoramiento evaluada. Además, los alelos de resistencia fueron más conservados en subpoblaciones sujetas a alta severidad de enfermedad que en aquellas evaluadas a menores severidades. Finalmente, a través de los ciclos de selección, las dos subpoblaciones sometidas a una alta presión de la enfermedad retuvieron mayor número de alelos de resistencia y con mayor frecuencia, además de contener QTLs adicionales detectados en la población reproductora.

El INIA, en el marco del proyecto de Mejoramiento Genético Hortícola (INNOVA PMGH 7244), mapeó marcadores moleculares asociados a la resistencia a *P. capsici* utilizando una población segregantes de pimientos proveniente del cruzamiento de líneas parentales contrastantes del programa. Para ello, se utilizaron dos líneas parentales de pimiento resistentes (RESISTANT y PHYTOSUN) y dos líneas parentales de pimiento susceptibles (PIM677 y FINITA). Las evaluaciones de resistencia y susceptibilidad de las líneas se realizaron en plantas de 6-8 hojas verdaderas, inoculadas con el micelio de *P. capsici* de 10 días de crecimiento en placas con agar papa dextrosa (medio PDA), a los 0, 3, 7 y 14 días post inoculación usando una escala del 1 a 4 (**Figura 2.5**). Donde "1" correspondió a planta sin síntomas y "4" a plantas con síntomas de caída de almácigo total. Además, de los síntomas visuales que se muestran en la figura 2.5, se evaluaron parámetros relacionados con la respuesta al ataque del patógeno, como la eficiencia fotoquímica del PSII (Fv/Fm), contenido de clorofila de la hoja, intercambio gaseoso de la hoja como fotosíntesis neta (A) y conductancia estomática (gs), cuantificación de la producción celular de especies reactivas de oxígeno (EROs o ROS por reactive oxygen species) medida como peróxido de hidrógeno expresado (H_2O_2) y daño lipoperoxidativo medido como malondialdehído (MDA), el MDA se forma por la peroxidación lipídica de ácidos grasos insaturados y es un marcador de la degradación oxidativa de la membrana celular. Todo esto, para buscar además una metodología de selección temprana.



Figura 2.5. Respuesta de dos líneas resistentes de pimienta (RESISTANT y PHYTOSUN) y dos líneas susceptibles de pimienta (PIM 677 y FINITA), a la inoculación por *Phytophthora capsici* en. Se muestran los síntomas a los 0, 3, 7 y 14 día post inoculación. Las líneas PIM677 y FINITA mostraron síntomas visibles de decaimiento.

Los resultados mostraron importantes diferencias entre las líneas de pimientos resistentes y susceptibles. La eficiencia de fotosistema II (Fv/Fm), así como el contenido de clorofilas totales disminuyeron significativamente en las líneas de pimiento susceptibles a *P. capsici* particularmente a los 7 y 14 días después de la inoculación con este hongo (Figura 2.6).

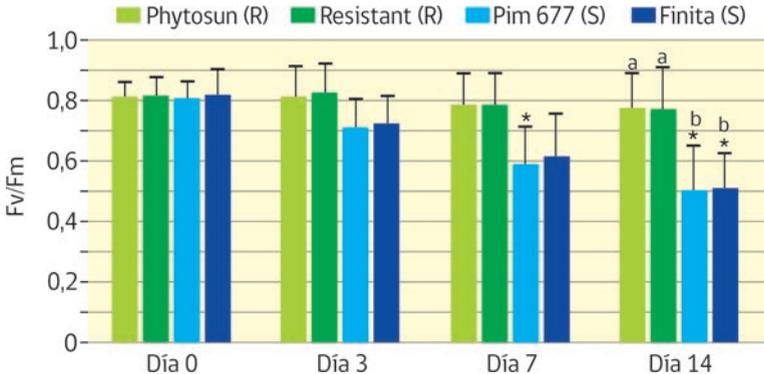


Figura 2.6. Eficiencia de fotosistema II evaluada como Fv/Fm en dos líneas resistentes de pimiento a *Phytophthora capsici* (RESISTANT y PHYTOSUN) y dos líneas susceptibles de pimiento (PIM 677 y FINITA).

(Las mediciones se realizaron en plántulas de 8 a 10 hojas verdaderas a los 0, 3, 7 y 14 días post inoculación con *P. capsici*. Asteriscos (*) indican diferencias significativas entre las líneas de pimiento y su control correspondiente al día 0, mientras que letras indican diferencias significativas entre líneas de pimiento dentro de un mismo tiempo de medición ($p < 0,05$). Las comparaciones entre genotipos con su control respectivo al día 0 se realizaron mediante una prueba t-student pareada, mientras que las diferencias entre genotipos dentro de un mismo tiempo de medición se realizaron mediante un ANDEVA y posterior prueba de comparación de medias de Duncan).

Un comportamiento similar se observó en las evaluaciones de intercambio gaseoso de la hoja como fotosíntesis neta (A_n), ver **Figura 2.7** y conductancia estomática (gs). Respecto a la acumulación de EROs y daño lipoperoxidativo (MDA), los resultados mostraron un aumento significativo, tanto en las líneas resistentes como en susceptibles a las 48 post inoculación con el hongo *P. capsici*. Sin embargo, a partir de este punto las líneas de pimientos resistentes mostraron una mayor capacidad de limpieza/eliminación EROs, lo cual se correspondió con un menor daño lipoperoxidativo evaluado indirectamente a través de la cuantificación de MDA (**Figuras 2.8 y 2.9**). Estos resultados son consistentes con los resultados descritos por otros estudios (Fleishmann *et al.* 2005, Koç *et al.* 2011, Moreno-Chacón *et al.* 2013).

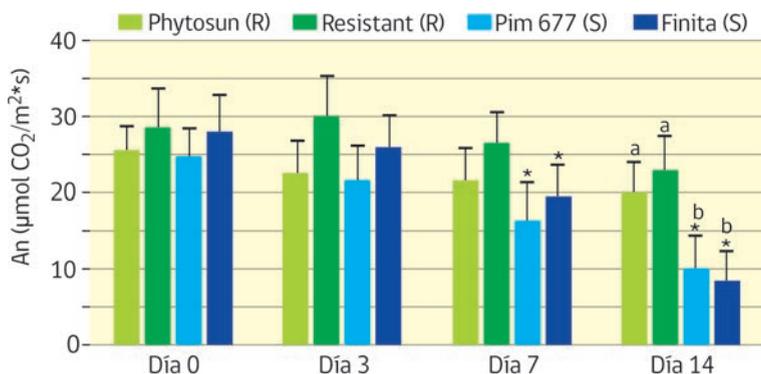


Figura 2.7. Fotosíntesis como la asimilación neta de carbono (An) en dos líneas resistentes de pimiento a *Phytophthora capsici* (RESISTANT y PHYTOSUN) y dos líneas susceptibles de pimiento (PIM 677 y FINITA).

(Las mediciones se realizaron en plántulas de 8 a 10 hojas verdaderas a los 0, 3, 7 y 14 días post inoculación con *P. capsici*. Asteriscos (*) indican diferencias significativas entre las líneas de pimiento y su control correspondiente al día 0, mientras que letras indican diferencias significativas entre líneas dentro de un mismo tiempo de medición ($p < 0,05$). Las comparaciones entre genotipos con su control respectivo al día 0 se realizaron mediante una prueba t-student pareada, mientras que las diferencias entre genotipos dentro de un mismo tiempo de medición se realizaron mediante un ANDEVA y posterior prueba de comparación de medias de Duncan).

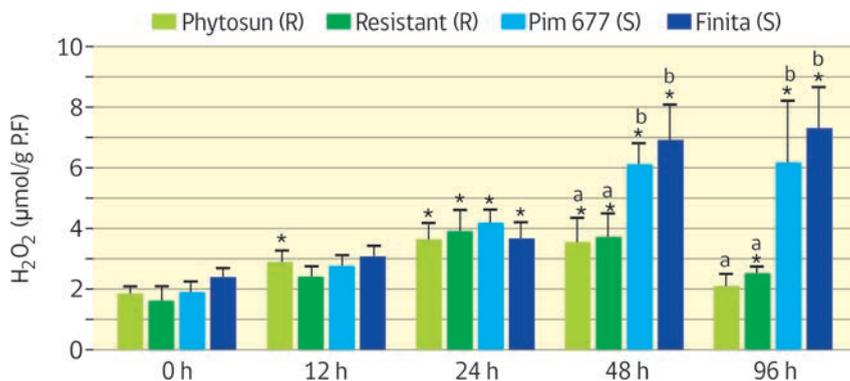


Figura 2.8. Contenido de peróxido de hidrógeno expresado como μmol de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{g}$. de peso fresco en dos líneas resistentes de pimiento a *Phytophthora capsici* (RESISTANT y PHYTOSUN) y dos líneas susceptibles de pimiento (PIM 677 y FINITA).

(Las mediciones se realizaron en plántulas de 8 a 10 hojas verdaderas a las 0, 12, 24, 49 y 96 horas post inoculación con *P. capsici*. Asteriscos (*) indican diferencias significativas entre el genotipo y su control correspondiente a la hora 0, mientras que letras indican diferencias significativas entre genotipos dentro de un mismo tiempo de medición ($p < 0,05$). Las comparaciones entre genotipos con su control respectivo a la hora 0 se realizaron mediante una prueba t-student pareada, mientras que las diferencias entre genotipos dentro de un mismo tiempo de medición se realizaron mediante un ANDEVA y posterior prueba de comparación de medias de Duncan).

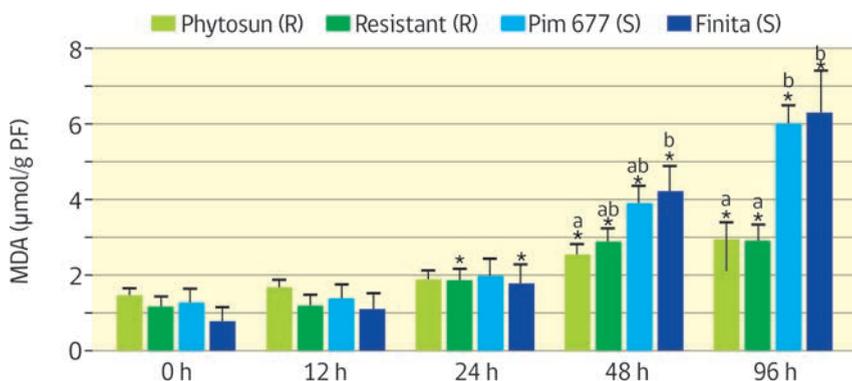


Figura 2.9. Contenido de malondialdehído (MDA) en dos líneas resistentes de pimienta a *Phytophthora capsici* (RESISTANT y PHYTOSUN) y dos líneas susceptibles de pimienta (PIM 677 y FINITA).

(Las mediciones se realizaron en plántulas de 8 a 10 hojas verdaderas a las 0, 12, 24, 49 y 96 horas post inoculación con *P. capsici*. Asteriscos (*) indican diferencias significativas entre el genotipo y su control correspondiente a la hora 0, mientras que letras indican diferencias significativas entre genotipos dentro de un mismo tiempo de medición ($p < 0,05$). Las comparaciones entre genotipos con su control respectivo a la hora 0 se realizaron mediante una prueba t-student pareada, mientras que las diferencias entre genotipos dentro de un mismo tiempo de medición se realizaron mediante un ANDEVA y posterior prueba de comparación de medias de Duncan).

Basado en estos resultados, se seleccionaron PHYTOSUN (R) y FINITA (S) como parentales para generar una población segregante de mapeo F2. Esta población se genotipó con marcadores moleculares del tipo RAPD, ISSR (dominantes) y SSR (codominantes), con la finalidad de construir un mapa de ligamiento genético sobre el cual se realizaron los estudios de asociación marcador-resistencia para su posterior uso en la obtención de líneas resistentes a *P. capsici*. El detalle de los marcadores moleculares usados en la población F2 de mapeo se muestra en la **Tabla 2.1**.

La población de mapeo estuvo representada por 180 individuos, los que fueron inoculados con *P. capsici* bajo las mismas condiciones previamente descritas. Los fenotipos obtenidos en la población F2 se muestran en la **Figura 2.10**.

Los datos fenotípicos, en conjunto con la información generada por el mapa de ligamiento, permitieron modelar la asociación entre marcadores y resistencia bajo dos enfoques. El primero de ellos fue mediante un método de regresión simple, cuyos resultados (sólo de los marcadores asociados estadísticamente) se muestran en la **Tabla 2.2**.

Tabla 2.1. Resumen de la amplificación de los marcadores para la construcción del mapa de ligamiento en población F2. El concepto loci es utilizado para indicar, sólo en esta tabla, una región única a amplificar (*) (como es el caso de los SSR) o varios alelos amplificados en regiones azarosas del genoma (**) (como es el caso de los marcadores RAPD e ISSR).

Marcador	Marcadores evaluados	Loci amplificados	Loci polimórficos	Loci con distorsión de segregación	Loci usados en mapa
SSR	87	87 (*)	30 (*)	17 (19,54%) (*)	13 (*)
ISSR	16	94 (**)	75 (**)	16 (17,02%) (**)	59 (**)
RAPD	30	111 (**)	99 (**)	13 (11,71%) (**)	86 (**)
					Total:158

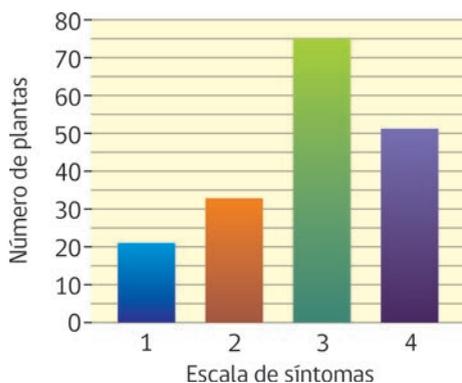


Figura 2.10. Distribución de los individuos de la población de mapeo de líneas de pimiento segregantes F2 (desde la F1), según síntomas al día 14 post-inoculación con *P. capsici*, donde "1" correspondió a planta sin síntomas y "4" a plantas con síntomas de caída de almácigo total, según se muestra en la figura 2.5.

Tabla 2.2. Resumen estadístico del método de regresión simple para mapeo de QTL.

Sólo se muestran los resultados de los marcadores que presentaron ligamiento estadístico con el rasgo de resistencia. La columna encabezada por $2\ln(L0/L1)$ es el test de razón de verosimilitud (LR, por el inglés Likelihood Ratio test), el cual es un método análogo al valor de LOD. Su relación se basa en la ecuación $LOD = 0,217 * LR$. pr (F) indica la significancia de β_1 para cada marcador. (*) indica significancia al 5% y (**) indica significancia al 1%. R2 indica la proporción de variación fenotípica explicada por el QTL.

Grupo de ligamiento	Marcador	β_0	β_1	$2\ln(L0/L1)$	pr (F)	R2
1	ISSR-811-350	1,627	0,481	14,87	0,000127111 *	0,0717
1	ISSR-836-280	1,66	0,774	35,888	0,000000003 **	0,1643
1	HPMS-2-21	1,636	0,863	44,483	0,000000000 **	0,1994

El segundo método de asociación usado fue el Mapeo por Intervalo Compuesto (MIC). El MIC permite mejorar la precisión de la detección de un QTL utilizando información de otros posibles QTLs colindantes a la región que está siendo analizada. Los resultados del MIC fueron consistentes con los encontrados en el método de regresión simple. La región abarcada por el QTL se extiende entre los 10 y los 59 centimorgan (cM), alcanzando su máximo pico a los 35,01 cM, con un valor LOD = 10,22 (Figura 2.11). Además, los mismos marcadores asociados con la resistencia en el método de regresión simple (ISSR-811-350; ISSR-836-280 y HPMS-2-21) se encuentran dentro de la región del QTL usando el enfoque de MIC.

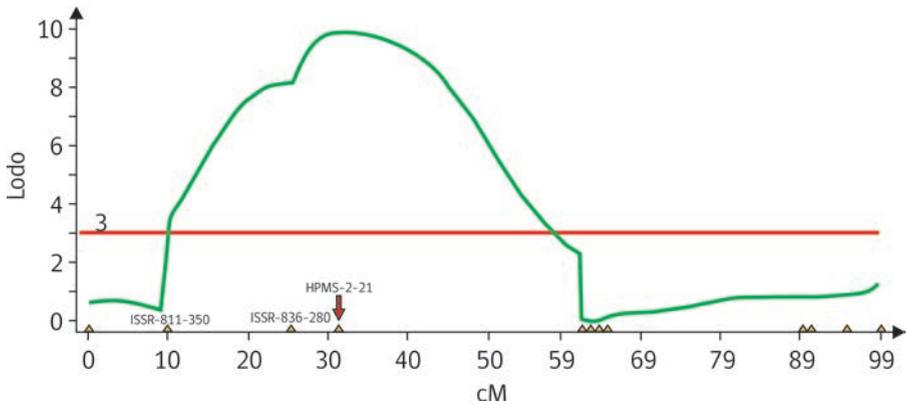


Figura 2.11. Detalle de una región QTL del grupo de ligamiento 1 mapeada en este estudio. Sobre el eje X se muestran los tres marcadores dentro del QTL. La línea roja horizontal marca el umbral de probabilidad para determinar la asociación entre la región cromosómica y la resistencia, además de delimitar la extensión del QTL.

Los resultados de estos estudios indican, por lo tanto, que los programas de mejoramiento basados en retrocruzamientos y selección recurrente, combinando tanta información fenotípica como la proveída por marcadores moleculares, puede efectivamente potenciar el desarrollo de nuevos cultivares resistentes a *P. capsici* en pimiento. Esto permite, por una parte, el seguimiento de la herencia de la resistencia, facilitando la selección temprana de plantas resistentes; y por otro lado, es importante destacar el aporte de las evaluaciones fisiológicas y estado Redox de las plantas en diferentes fases de infección, lo cual constituye una herramienta para respuestas tempranas de *C. annuum* ante el ataque del patógeno. Finalmente, los cruzamientos para generar variedades de pimientos para la industria, incluyó cruzamientos con padres resistentes a *P. capsici*, lo cual fue demostrado a través de estos resultados con los marcadores moleculares.

Mejoramiento Genético del pimiento para producir materia prima especializada para la industria de alimentos e ingredientes

Chile en su desafío de diversificar y sofisticar el portafolio de productos de exportación de alimentos, necesita agregar valor y producir materia prima especializada para la industria de alimentos e ingredientes. Es importante destacar que la industria en Chile utiliza variedades de pimiento para mercado fresco y no cuenta con variedades dedicadas o especializadas para la industria. Esta industria para ser más eficiente requiere frutos con mayor grosor de pericarpio para conseguir mayor producción de pulpa o kilos de materia seca por hectárea (Galmarini 2000), siendo deseable un grosor de pericarpio superior a 6mm, sólidos solubles superior a 8°Brix y porcentaje de materia seca superior a 10% (**Figura 2.12**).

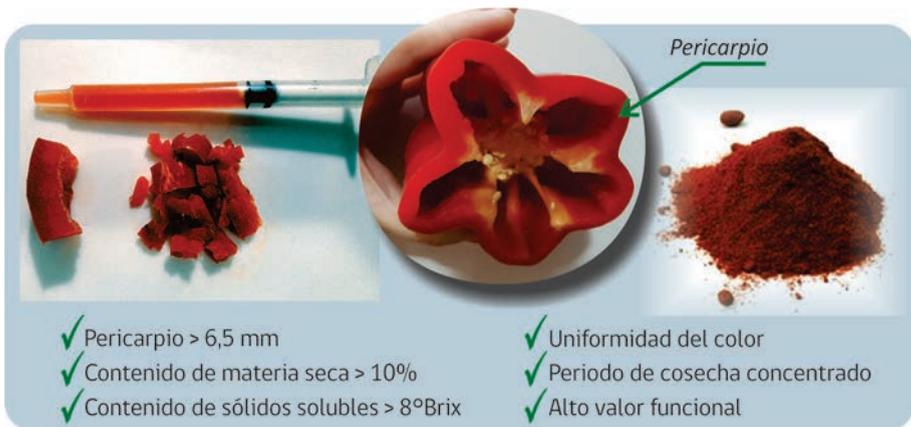


Figura 2.12. Características del fruto de pimiento para la industria de semiprocado y procesado.

El INIA inició un programa de mejoramiento en pimiento con la generación de variabilidad genética durante dos temporadas 2008–2009 y 2009–2010, por un método Bulk modificado, que consistió en seleccionar en S3 (75% de homocigosis) plantas individuales y seguir con el método de pedigrí en adelante, con selección negativa en la cual se eliminan plantas que no cumplen los caracteres industriales deseados. Básicamente, la obtención de variedades de pimientos con fines industriales se inicia con dos años de Bulk Crossing para incrementar la diversidad genética, donde se cruzaron 22 genotipos (incluyendo variedades

comerciales y landraces, difiriendo en color, forma y respuesta a *Phytophthora capsici*). Luego, de dos temporadas consecutivas de Bulk Crossing, y desde la temporada 2010/2011, se seleccionaron cinco sub-poblaciones (**Figura 2.13**), las cuales fueron agrupadas e independientemente cultivadas para selección y posterior autopolinización: Sub-grupo L1889 (Rojo Tipo Bell 4-cascos), Sub-grupo L1890 (Rojo Alargado 4-cascos), Sub-grupo L1891 (Amarillo Tipo Bell 4-cascos), sub-grupo L1892 (Rojo Tipo Bell 4-cascos/Alargado) y Sub-grupo L1893 (Rojo Alargado).

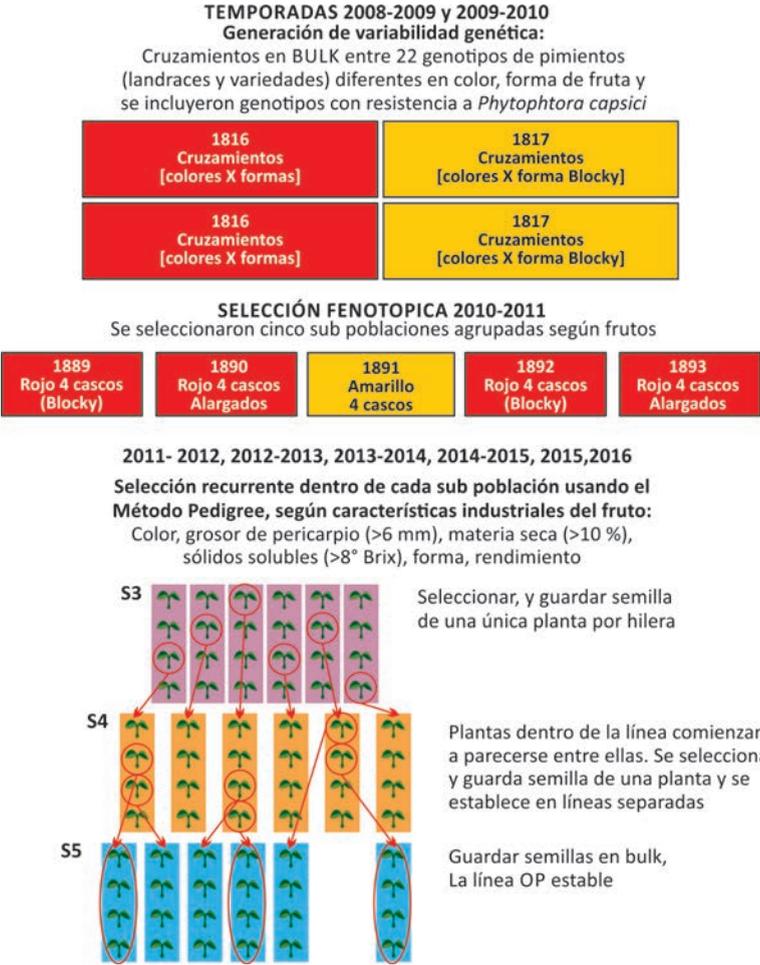


Figura 2.13. Esquema del método de generación de variabilidad genética por un MÉTODO BULK MODIFICADO, y posterior selección de líneas segregantes y avanzadas con el MÉTODO DE PEDIGRÍ (o Pedigree) utilizado en el PMGH en pimiento.

A partir de la temporada 2011-2012, dentro de estas sub-poblaciones, se inició la selección de líneas segregantes o avanzadas en función de las siguientes características industriales: color, grosor de pericarpio (>6 mm), % de materia seca (>10%), sólidos solubles (>8°Brix), forma y tamaño, N° frutos/planta, peso fresco y producción/planta (rendimiento). Durante la Temporada 2013/2014 entre 1710 líneas segregantes, se seleccionaron 65 líneas avanzadas las cuales fueron sometidas a autopolinización bajo protección. Durante la temporada 2014/2015, se seleccionaron 59 de estas líneas y fueron establecidas bajo autopolinización; entre las cuales destacaron las líneas L1892-41-04 con grosor de pericarpio 6,3 mm, materia seca 13,6%, sólidos solubles >7,5°Brix. Durante las temporadas, 2015-2016 y 2016-2017, nueve de estas líneas avanzadas correspondieron a líneas elites destinadas a autopolinización para generar líneas puras, debido a su alto porcentaje de materia seca y grosor de pericarpio. Entre estas líneas, L1889-1104-15 y L1889-4102 son las líneas candidatas a variedades, las cuales serán multiplicadas y luego validadas durante tres años en tres localidades junto a variedades control, con el fin de evaluar su estabilidad, homogeneidad y distinción (única) en función de la interacción genotipo x ambiente.

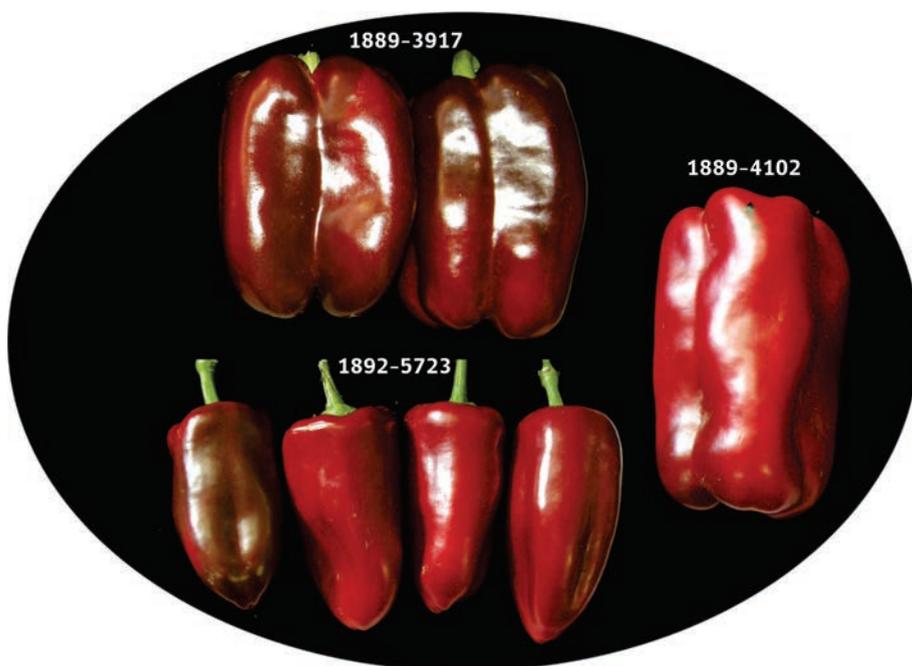


Figura 2.14. Líneas avanzadas de Pimiento para la industria seleccionadas en la temporada 2015, en el marco del proyecto INNOVA PMGH-7244.

En conclusión, para mejorar la competitividad del pimiento en la industria en Chile es necesario contar con variedades con mayor producción de pulpa y materia seca por hectárea. En los últimos años se han logrado importantes avances obteniendo líneas avanzadas (candidatas a variedades), que además de reunir las características requeridas por la industria tienen incorporada la resistencia o tolerancia a *Phytophthora capsici*. Asimismo, la generación de estas líneas avanzadas permitirá en el corto tiempo ofrecer variedades que estén adaptadas a las condiciones de suelo y clima del país.

Referencias

- Acquaah, G. (2007a).** Breeding self-pollinated species (chapter 16, pp. 282-312). *In: Principles of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing, MA. USA.
- Acquaah, G. (2007b).** Performance evaluation for crop cultivar release (chapter 23, pp. 418-434). *In: Principles of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing, MA. USA.
- Aguiar, J. L., Bachie, O., & Ploeg, A. (2014).** Response of resistant and susceptible bell pepper (*Capsicum annuum*) to a southern California Meloidogyne incognita population from a commercial bell pepper field. *Journal of nematology*, 46(4), 346.
- Ajithkumar, K., Savitha, A. S., Biradar, S. A., Rajanna, B., & Ramesh, G. (2014).** Management of powdery mildew and anthracnose diseases of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 20(1), 80-83.
- Ben-Chaim, A., & Paran, I. (2000).** Genetic analysis of quantitative traits in pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(1), 66-70.
- Bonnet, J., Danan, S., Boudet, C., Barchi, L., Sage-Palloix, A. M., Caromel, B., ... & Lefebvre, V. (2007).** Are the polygenic architectures of resistance to *Phytophthora capsici* and *P. parasitica* independent in pepper? *Theoretical and Applied Genetics*, 115(2), 253-264.

- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012).** Peppers: vegetable and spice capsicums. Vol 22, Second Edition, CABI Publishing. E.U. Page: 1-230. Doi: 10.1079/9781845938253.0000.
- Choi, J., Phat, C., Kim, E., Kim, M., Lee, G. P., Ryu, K. H., & Lee, C. (2015).** Improved detection of Cucumber mosaic virus. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(3), 316-323.
- Crosby, K. (2008). Pepper. (chapter 6, pp 221-248).** In: Prohens J., Nuez F. (eds) Vegetables II. Handbook of Plant Breeding, vol 2. Springer, New York, NY
- Fazari, A., Palloix, A., Wang, L., Yan Hua, M., Sage-Palloix, A. M., Zhang, B. X., & Djian-Caporalino, C. (2012).** The root-knot nematode resistance N-gene co-localizes in the Me-genes cluster on the pepper (*Capsicum annuum* L.) P9 chromosome. *Plant Breeding*, 131(5), 665-673.
- Fleischmann, F., Koehl, J., Portz, R., Beltrame, A. B., & Oßwald, W. (2005).** Physiological changes of *Fagus sylvatica* seedlings infected with *Phytophthora citricola* and the contribution of its elicitor "citricolin" to pathogenesis. *Plant Biology*, 7(06), 650-658.
- Galmarini, C. R. (2000).** El género *Capsicum* y las perspectivas del mejoramiento genético de pimiento en Argentina. *Avances en Horticultura*, 4(1), 31-39.
- Hausbeck, M. K., & Lamour, K. H. (2004).** *Phytophthora capsici* on vegetable crops: research progress and management challenges. *Plant Disease*, 88(12), 1292-1303.
- Hein, T. (2017).** A Closer Look at Sweet Pepper Breeding and Its Challenges. In European Seed Newsletter Vol. 4 Issue 4 <http://european-seed.com/closer-look-sweet-pepper-breeding-challenges/> (último acceso diciembre 2017).
- Inoue-Nagata, A. K., Fonseca, M. E. N., Resende, R. O., Boiteux, L. S., Monte, D. C., Dusi, A. N., ... & Van der Lugt, R. A. A. (2002).** Pepper yellow mosaic virus, a new potyvirus in sweet pepper, *Capsicum annuum*. *Archives of virology*, 147(4), 849-855.

- Johnstone, M., Chatterton, S., Sutton, J. C., & Grodzinski, B. (2005).** Net carbon gain and growth of bell peppers, *Capsicum annuum* 'Cubico', following root infection by *Pythium aphanidermatum*. *Phytopathology*, 95(4), 354-361.
- Koç, E., Üstün, A. S., İşlek, C., & Arıcı, Y. K. (2011).** Defense responses in leaves of resistant and susceptible pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars infected with different inoculum concentrations of *Phytophthora capsici* Leon. *Scientia Horticulturae*, 128(4), 434-442.
- Lamour, K. H., Stam, R., Jupe, J., & Huitema, E. (2012).** The oomycete broad-host-range pathogen *Phytophthora capsici*. *Molecular plant pathology*, 13(4), 329-337.
- Lefebvre, V., Daubèze, A. M., van der Voort, J. R., Peleman, J., Bardin, M., & Palloix, A. (2003).** QTLs for resistance to powdery mildew in pepper under natural and artificial infections. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(4), 661-666.
- Leonian, L. H. (1922).** Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora capsici* sp. nov. *Phytopathology*, 12(9).
- Lu, F. H., Kwon, S. W., Yoon, M. Y., Kim, K. T., Cho, M. C., Yoon, M. K., & Park, Y. J. (2012).** SNP marker integration and QTL analysis of 12 agronomic and morphological traits in F 8 RILs of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Molecules and Cells*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10059-012-0018-1>.
- Mallard, S., Cantet, M., Massire, A., Bachellez, A., Ewert, S., & Lefebvre, V. (2013).** A key QTL cluster is conserved among accessions and exhibits broad-spectrum resistance to *Phytophthora capsici*: a valuable locus for pepper breeding. *Molecular breeding*, 32(2), 349-364.
- Morales Valenzuela, G., Redondo Juárez, E., Covarrubias Prieto, J., & Cárdenas Soriano, E. (2002).** Detección y localización de *Phytophthora capsici* Leo. en semilla de chile. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20(1). <http://www.redalyc.org/html/612/61220115/>

- Moreira, S. O., Rodrigues, R., Sudré, C. P., & Riva-Souza, E. M. (2015).** Bacterial spot resistance and agronomic characteristic in *Capsicum annuum* recombinant inbred lines. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)*, 10(2), 198-204.
- Moreno-Chacón, A. L., Camperos-Reyes, J. E., Diazgranados, R. A. Á., & Romero, H. M. (2013).** Biochemical and physiological responses of oil palm to bud rot caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant physiology and biochemistry*, 70, 246-251.
- Ogundiwin, E. A., Berke, T. F., Massoudi, M., Black, L. L., Huestis, G., Choi, D., ... & Prince, J. P. (2005).** Construction of 2 intraspecific linkage maps and identification of resistance QTLs for *Phytophthora capsici* root-rot and foliar-blight diseases of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Genome*, 48(4), 698-711.
- Park, C. J., Shin, Y. C., Lee, B. J., Kim, K. J., Kim, J. K., & Paek, K. H. (2006).** A hot pepper gene encoding WRKY transcription factor is induced during hypersensitive response to Tobacco mosaic virus and *Xanthomonas campestris*. *Planta*, 223(2), 168-179.
- Park, S., Jeong, W. Y., Lee, J. H., Kim, Y. H., Jeong, S. W., Kim, G. S., ... & Shin, S.C. (2012).** Determination of polyphenol levels variation in *Capsicum annuum* L. cv. Chelsea (yellow bell pepper) infected by anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, 130(4), 981-985.
- Quirin, E. A., Ogundiwin, E. A., Prince, J. P., Mazourek, M., Briggs, M. O., Chlanda, T. S., ... & Jahn, M. M. (2005).** Development of sequence characterized amplified region (SCAR) primers for the detection of Phyto. 5.2, a major QTL for resistance to *Phytophthora capsici* Leon. in pepper. *Theoretical and applied genetics*, 110(4), 605-612.
- Rivera, A., Monteagudo, A. B., Igartua, E., Taboada, A., García-Ulloa, A., Pomar, F., ... & Silvar, C. (2016).** Assessing genetic and phenotypic diversity in pepper (*Capsicum annuum* L.) landraces from North-West Spain. *Scientia Horticulturae*, 203, 1-11.

- Rodríguez, Y., Depestre, T., & Gómez, O. (2008).** Eficiencia de la selección en líneas de pimiento (*Capsicum annuum*), provenientes de cuatro sub-poblaciones, en caracteres de interés productivo. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(1), 37-49. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202008000100004>
- Rubio, M., Caranta, C., & Palloix, A. (2008).** Functional markers for selection of potyvirus resistance alleles at the pvr2-eIF4E locus in pepper using tetra-primer ARMS-PCR. *Genome*, 51(9), 767-771.
- Saavedra, J. (2015).** Mapeo de loci de rasgos cuantitativos controlando la resistencia a *Phytophthora capsici* en *Capsicum annuum*: estudios moleculares y fisiológicos. Magíster en Ciencias Biológicas con Mención en Biología Celular, Molecular y Neurociencias. Facultad de Ciencias Universidad de Chile. Septiembre 2015. 89p. FINANCIADO POR PROYECTO INNOVA CHILE PMG-7244.
- Sun, W. X., Jia, Y. J., O'Neill, N. R., Feng, B. Z. H., & Zhang, X. G. (2008).** Genetic diversity in *Phytophthora capsici* from eastern China. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 30(3), 414-424.
- Sun, C., Mao, S. L., Zhang, Z. H., Palloix, A., Wang, L. H., & Zhang, B. X. (2015).** Resistances to anthracnose (*Colletotrichum acutatum*) of Capsicum mature green and ripe fruit are controlled by a major dominant cluster of QTLs on chromosome P5. *Scientia Horticulturae*, 181, 81-88.
- Thabuis, A., Palloix, A., Pflieger, S., Daubeze, A. M., Caranta, C., y Lefebvre, V. (2003).** Comparative mapping of *Phytophthora* resistance loci in pepper germplasm: evidence for conserved resistance loci across Solanaceae and for a large genetic diversity. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(8), 1473-1485.
- Thabuis, A., Palloix, A., Servin, B., Daubeze, A. M., Signoret, P., & Lefebvre, V. (2004a).** Marker-assisted introgression of 4 *Phytophthora capsici* resistance QTL alleles into a bell pepper line: validation of additive and epistatic effects. *Molecular Breeding*, 14(1), 9-20.
- Thabuis, A., Lefebvre, V., Bernard, G., Daubeze, A. M., Phaly, T., Pochard, E., & Palloix, A. (2004b).** Phenotypic and molecular evaluation of a recurrent selection program for a polygenic resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Theoretical and Applied Genetics*, 109(2), 342-351.

- Yang, H. B., Liu, W. Y., Kang, W. H., Jahn, M., & Kang, B. C. (2009).** Development of SNP markers linked to the L locus in *Capsicum spp.* by a comparative genetic analysis. *Molecular breeding*, 24(4), 433.
- Yao, M., Li, N., Wang, F., & Ye, Z. (2013).** Genetic analysis and identification of QTLs for resistance to cucumber mosaic virus in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica*, 193(2), 135-145.
- Zhang, Y. L., Li, D. W., Gong, Z. H., Wang, J. E., Yin, Y. X., & Ji, J. J. (2013).** Genetic determinants of the defense response of resistant and susceptible pepper (*Capsicum annuum*) cultivars infected with *Phytophthora capsici* (Oomycetes; Pythiaceae). *Genetics and Molecular Research*, 12(3), 3605-3621.

Capítulo 3.

Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile

Francisco Álvarez

Ing. Agrícola

francisco.alvarez@inia.cl

María Teresa Pino

Ing. Agrónoma Ph.D.

mtpino@inia.cl

Descripción de la planta de pimiento

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una planta herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 m y 2 m, las plantas más altas corresponden a gran parte de los híbridos cultivados en invernadero. El sistema radicular se caracteriza por tener una raíz pivotante y profunda, dependiendo de la profundidad y textura del suelo. Además, la raíz se caracteriza por sus numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden extenderse entre 0,5 y 1 metro. El tallo principal del pimiento es de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura ("cruz") emite 2 ó 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo. La hoja es entera, imberbe y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (Condés Rodríguez 2017).

Respecto a las flores, éstas son solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia inferior al 10%. El fruto es una baya hueca, semi cartilaginosa y deprimida, de varios colores (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); en la mayoría de las variedades el fruto pasa del color verde al anaranjado y al rojo a medida que



Figura 3.1. Planta de pimienta desde floración a madurez del fruto. El tallo principal es de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (cruz o primer piso) emite 2 ó 3 ramificaciones y luego se ramifica en forma dicotómica hasta el final de su ciclo. <https://www.cgtrader.com/3d-models/plant/other/chili-pepper>

van madurando. Su tamaño es variable, puede pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 a 5 mm (De 2004, Condés Rodríguez 2017).

Requerimientos térmicos del cultivo de pimienta

El pimienta es una hortaliza de estación cálida y sensible a las heladas. La **Tabla 3.1** muestra las temperaturas óptimas, máximas y mínimas, para esta especie en sus distintas fases de desarrollo. Las temperaturas nocturnas, en términos generales, condicionan los procesos de floración y fructificación, incidiendo en el tamaño y número de semillas de los frutos. Cuando las temperaturas diurnas superan los 35°C durante la floración se produce caída de flores, lo cual, sumado a baja humedad, reduce la viabilidad del polen y la fecundación. Por otra parte, bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral (entre 15 y 10°C) da lugar a la formación de flores con anomalías, como pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos alrededor del principal, acortamiento de estambres y de pistilo, engrosamiento de ovario y pistilo, fusión de anteras, etc. Las bajas temperaturas,

Tabla 3.1. Temperaturas críticas para el pimiento en las distintas etapas de desarrollo de la planta, desde germinación a fructificación.

Fases del Cultivo	Temperatura (°C)		
	Óptima	Mínima	Máxima
Germinación	24	15	35
Crecimiento vegetativo	20–25 (día) 16–18 (noche)	15	40
Floración y fructificación	26–28 (día) 18–20 (noche)	18	35

además de reducir el tamaño del fruto pueden inducir deformaciones y favorecer la formación de frutos partenocárpicos (Pressman, *et al.* 1998, 2006, Wubs, *et al.* 2009, Mateos, *et al.* 2013).

La planta de pimiento, además, es muy exigente en luminosidad, particularmente en los estados de pleno desarrollo del fruto; sin embargo, la exposición a radiación demasiado alta durante la etapa de madurez puede producir partiduras de fruta, golpes de sol y coloración irregular. El Golpe de Sol o “Sun calds” (Figura 3.2b) es bastante común particularmente en variedades más susceptibles y es una mancha por desecación en frutos, como consecuencia de su exposición directa a fuerte insolación. Contrariamente, demasiado sombreado debido a exceso de follaje puede provocar caída floral y, por ende, afectar negativamente el rendimiento (Condés Rodríguez 2017).

Requerimientos de suelo y nutricionales del pimiento

El suelo óptimo para el pimiento debe tener buena capacidad de drenaje y buena estructura física. El pH ideal del suelo fluctúa entre 6,0 a 6,5. Por otra parte, el pimiento es relativamente sensible a la salinidad. Valores < 1,5 mS/cm de CE en el extracto saturado del suelo y < 1,0 mS/cm de CE en el agua de riego son adecuados para su cultivo. Valores de CE muy altos en la solución suelo pueden dar origen a semillas necróticas.

El pimiento es una planta con alta demanda de nutrientes y se debe comenzar con una buena fertilización basal. Las cantidades de fertilizantes variarán significativamente en función factores como disponibilidad de nutrientes en el suelo, calidad del agua de riego, tipo de suelo y clima. La absorción de NO_3^- , NH_4^+ , P, K ++, Ca^{++} y Mg^{++} , depende del estado de desarrollo de la planta. Un estudio del pimiento dulce (cv. 'California Wonder') mostró que la absorción fue mayor durante el desarrollo de la fruta e inmediatamente después de la cosecha, sugiriendo que la eliminación de la fruta promueve la absorción de nutrientes. Cuando el Nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) se suministraron en concentraciones iguales, NO_3^- se absorbió más fácilmente. Cada incremento en NH_4^+ disminuyó la captación de K+, Ca^{++} y Mg^{++} por el tejido de la fruta, mientras que no se observó un efecto significativo sobre el contenido de N y P de la fruta. La nutrición con amonio redujo el peso seco de la planta y el rendimiento de fruta en comparación con NO_3^- . Los resultados de este estudio sugieren que NO_3^- es la forma de nitrógeno preferida y que la aplicación de fertilizantes debe programarse de acuerdo con etapas fisiológicas específicas de la planta para maximizar la absorción de nutrientes (Marti & Mills 1991). La floración y el cuajado de fruto en pimiento es dependiente de las condiciones ambientales y del nitrógeno (N) disponible. Xu, *et al* (2001) evaluaron cuatro concentraciones totales de N y fuentes de nitrógeno (NO_3^- -N) y nitrógeno amónico (NH_4^- -N) en tres etapas fisiológicas: Etapa I-vegetativa, Etapa II-cuajado de frutos, y Etapa III-período de desarrollo de la fruta.

En este experimento en particular, las plantas se cultivaron hidropónicamente durante dos temporadas. En la temporada otoño a invierno (fotoperiodo corto), aumentó gradualmente la concentración total de N y con esto el total de flores y frutos, lo cual significó mayor rendimiento total de fruta (3444 g por planta). Durante la temporada primavera verano, el mayor rendimiento de fruta se logró aplicando NH_4^- -N como 30% del N total durante la etapa vegetativa y NO_3^- -N como fuente única de N durante la etapa de llenado de fruta (Xu *et al.* 2001).

Respecto a otros nutrientes (P, K, Ca y Mg), la máxima demanda de fósforo en pimiento coincide con la aparición de las primeras flores y con el período de maduración de las semillas. La absorción de potasio es determinante sobre la precocidad, coloración y calidad de los frutos, aumentando progresivamente hasta la floración y equilibrándose posteriormente. El pimiento también es muy exigente en cuanto a la nutrición de magnesio, aumentando su absorción durante la maduración. Respecto al calcio, la deficiencia de este nutriente durante el desarrollo del fruto produce una alteración causando la "Necrosis Apical" o BER,

por su sigla en inglés (Blossom-end Rot), ver Figura 3.2C, esto se ve acentuado con el aumento rápido de la temperatura, salinidad elevada, y el estrés hídrico. Todos son factores que favorecen en gran medida la aparición de esta fisiopatía, sin embargo, la sensibilidad a BER varía con el cultivar (Hochmuth & Hochmuth 2015).

A continuación, se muestra en la **Tabla 3.2** la absorción de N, P, K, Ca y Mg durante el ciclo de crecimiento de pimiento cultivado en campo (suelo) para un rendimiento estimado de 100 ton/ha.

Tabla 3.2. Absorción de N, P, K, Ca y Mg durante el ciclo de crecimiento de pimiento cultivado en suelo para un rendimiento estimado de 100 ton/ha.

Período (días)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	kg/ha/día									
0-35	0,05	0,009	0,10	0,06	0,025	2	0	3	2	1
35-55	0,35	0,07	0,80	0,35	0,17	7	1	16	7	3
55-70	1,20	0,23	2,25	0,98	0,45	18	3	34	15	7
70-85	1,30	0,23	2,60	0,98	0,41	20	3	39	15	6
85-100	2,60	0,78	4,82	2,80	1,41	39	12	72	42	21
100-120	2,75	0,57	5,50	1,12	1,16	55	11	110	22	23
120-140	3,75	1,08	4,82	1,40	1,00	75	22	96	28	20
140-165	3,15	0,78	4,80	1,68	1,19	79	19	120	42	30
Total, en 100 ton/ha						294	73	491	173	111

Fuente: adaptado de SQM (2007).

La fertilización del cultivo del pimiento se puede realizar en base a productos granulados, para aplicaciones al suelo, o productos solubles para fertirrigación, o combinaciones de ambos complementados con productos foliares. La selección dependerá del tipo de riego, la conveniencia, la disponibilidad del nutriente y el conocimiento del producto. La **Tabla 3.3** muestra los nutrientes para abastecer las necesidades nutritivas del cultivo del pimiento.

Tabla 3.3. Nutrientes y algunas observaciones para el cultivo del pimiento (SQMVITAS. 2017).

Nutriente	Nombre común: Fuente preferida	Fórmula química	Características
Nitrógeno	Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	No puede ser utilizada directamente por las plantas, es transformado en Amonio previamente. Es la fuente de Nitrógeno menos eficiente.
	Fosfato de Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{H}_3\text{PO}_4$	
	Amonio: Sulfato de Amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Es inmóvil en el suelo, restringiendo su disponibilidad en la zona de raíces.
	Fosfato Monoamónico (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Su asimilación por la planta es más lenta. Al ser un catión, compite por la absorción por las raíces con otros cationes.
	Fosfato Diamonio (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	
	Nitrato	KNO_3	Es asimilado fácil y rápidamente por las plantas. Al ser un anión, promueve la absorción de otros nutrientes (cationes: K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ y NH_4^+).
	Nitrato de Potasio	$5(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$	
	Nitrato de Calcio Sólido	$\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	
	Nitrato de Calcio Líquido	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en solución	
	Nitrato de Magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	
	Nitrato de Amonio	NH_4NO_3	
Ácido Nítrico	HNO_3		
Fósforo	Fosfato Monoamónico (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Para suelo con pH > 7,5
	Fosfato Diamónico (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Para suelo con pH 6 - 7,5
	Fosfato Monopotásico (MKP)	KH_2PO_4	
	Super Fosfato Triple (TSP)	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Principalmente para suelo con pH > 6
	Fosfato de Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{H}_3\text{PO}_4$	Acidificante fuerte en forma Sólida
	Ácido Fosfórico	H_3PO_4	Acidificante fuerte en forma Líquida

Continuación Tabla 3.3.

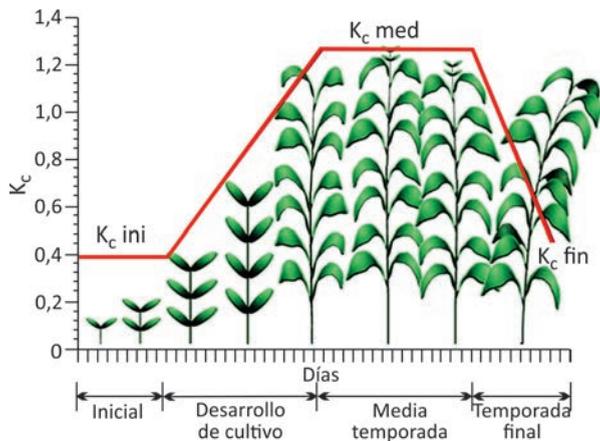
Nutriente	Nombre común: Fuente preferida	Fórmula química	Características
Potasio	Nitrato de Potasio	KNO_3	Es el fertilizante potásico ideal en todas las etapas de crecimiento. Alta solubilidad.
	Nitrato de Potasio Sódico	$KN_3 NaNO_3$	Contiene 19% de Na para mejorar °Brix y contenido de materia seca en frutos.
	Sulfato de Potasio	K_2SO_4	Para fase de crecimiento final.
	Bicarbonato de Potasio	$KHCO_3$	Para corregir el pH (aumentarlo).
	Cloruro de Potasio	KCl	Frecuentemente usado para aumentar el sabor del tomate.
Calcio	Nitrato de Calcio Sólido	$(5Ca(NO_3)_2) NH_4NO_3 \cdot 10H_2O$	Fuente de Calcio más usada soluble. Contiene Amonio para corrección del pH
	Nitrato de Calcio Líquido	$Ca(NO_3)_2$ en solución	No contiene Amonio
	Cloruro de Calcio	$CaCl_2$	Frecuentemente usado para aumentar el sabor del tomate.
Cloruro		$CaCl_2$ $MgCl_2$ KCl NaCl	No es recomendable aplicar en pimiento debido a la alta sensibilidad del cultivo a la salinidad en la zona radicular. También puede causar competencia por absorción con otros Aniones en la zona de raíces.
Magnesio	Sulfato de Magnesio	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Es la fuente más usada de Magnesio. No se puede mezclar con Calcio en el tanque madre.
	Nitrato de Magnesio	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Tiene disolución rápida y alta solubilidad.
Azufre	Sulfato de Magnesio	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Usado para completar la demanda de Magnesio y para suplir parte del Azufre.
	Sulfato de Potasio (SOP)	K_2SO_4	Usado para proporcionar el resto de la demanda de Azufre y parte de la demanda de Potasio en la nutrición de tomate.
	Sulfato de Amonio	$(NH_4)_2SO_4$	Cuidar dosis para evitar salinidad y desequilibrios nutritivos.
	Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	Acido fuerte. Evitar excesos de aplicación

Requerimientos hídricos del pimiento

De acuerdo con la FAO (2018), los requisitos totales de agua en el pimiento (ETm) fluctúan entre 600 a 900 mm y hasta 1.250 mm para variedades con largos períodos de crecimiento y cosecha escalonada. El coeficiente del cultivo (k_c) que relaciona la evapotranspiración de referencia (ETo) con la evapotranspiración máxima (ETm) es 0,4 después del trasplante, 0,95 a 1,1 durante la cobertura total y para pimientos frescos 0,8 a 0,9 durante la cosecha. Según Condés Rodríguez (2017), el pimiento al aire libre requiere hasta 4.500 m³ de agua/ha, y en invernaderos hasta 8.000 m³ de agua/ha.

La profundidad de la raíz del pimiento puede extenderse hasta 1 m, pero el mayor volumen de raíces se concentra en los primeros 20 a 30 cm de profundidad.

Normalmente, el 100 por ciento de la absorción de agua ocurre en la primera profundidad de suelo de 0,5 a 1,0 m ($D = 0,5-1,0$ m). En condiciones en que la evapotranspiración máxima es de 5 a 6 mm/día, del 25 al 30 por ciento del agua total disponible del suelo puede agotarse hasta que se reduzca la absorción de agua en el suelo ($p = 0,25$ a 0,30).



Coeficientes de cultivo usados para manejo del agua	Etapas de desarrollo del cultivo del pimiento				
	Trasplante	Pleno crecimiento vegetativo	Floración, fructificación, maduración	Cosecha	Total
Largo cultivo días en mediterráneo*	20-30	35	40	20	125
Largo cultivo días en zonas áridas**	30	40	110	30	210
Coeficiente (p) depleción	0,2	0,3	0,5	0,3	
Profundidad de raíz (m)	0,25			0,8	
Coeficiente de cultivo (K_c)	0,6		1,05	0,9	
Factor respuesta rendimiento (K_y)				1,1	

Fuente: Adaptado de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/pepper/en/>
 *para Europa y el mediterráneo con fecha de plantación en abril/junio, **para zonas áridas con fecha de plantación en octubre.

Restricciones hídricas o de riego en etapas tempranas del ciclo del pimiento, puede reducir la densidad de las raíces, el número de hojas y área foliar, y más tarde afectar la floración produciendo abscisión de flores. Por otra parte, restricciones hídricas durante la maduración del fruto puede ocasionar problemas en la asimilación de calcio, acentuando la **Necrosis Apical** o Blossom End Rot (BER) en fruto de pimiento (Condés Rodríguez 2017). La frecuencia de riego puede afectar no sólo los rendimientos, sino también la calidad del fruto. El **Cracking o Partidura del Fruto** se produce por aportes irregulares de agua o altos niveles de humedad relativa en frutos maduros, esto se produce porque al hincharse el mesocarpio por un exceso de agua se rompe la epidermis (Condés Rodríguez 2017). La sensibilidad a estas fisiopatías es dependiente de la variedad (**Figura 3.2**).



Figura 3.2. Desórdenes fisiológicos comunes en pimiento (A) Cracking, (B) Golpe de Sol o "Sun calds", (C) Necrosis apical o BER.

Estado de desarrollo del cultivo del pimiento y labores culturales

Previo a discutir el manejo del cultivo y las labores culturales en sus distintas etapas de desarrollo, es importante conocer los distintos estados de desarrollo del pimiento. Esto es de siembra- almácigos, trasplante, establecimiento, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo del fruto, madurez y cosecha.

La etapa de **trasplante y establecimiento** corresponde la plántula recién trasplantada, y en la cual se produce la formación inicial del área foliar de la planta (follaje) y el desarrollo de un fuerte sistema radical. La etapa de **crecimiento vegetativo** ocurre en los primeros 45 días y luego se inicia la etapa de **floración y desarrollo de fruto** que continúa después del ciclo de crecimiento. Esta etapa también envuelve la mayor acumulación de materia seca. La última etapa corresponde a la **madurez fisiológica y cosecha**, en la cual la fruta madura en promedio a entre 80 y 140 días después del trasplante, dependiendo de la variedad y clima.

Almácigos y trasplante en pimiento

La época de siembra de almácigos dependerá de la variedad, condición agroclimática y si el cultivo se va a desarrollar en invernadero o al aire libre (campo). Para el establecimiento de los almácigos, se siembra en bandeja de poliexpán con un diámetro por alvéolo de unos 4-5 cm. La mezcla aproximada es de un 85-90 % de turba rubia y un 10-15 % de vermiculita, con lo que se logra una buena esponjosidad del sustrato. La dosis de siembra en almácigo en suelo es de 6 g/m² almácigo (500 g/ha) y en bandeja (poliexpán speedling) es entre 200 y 300 g/ha. La cámara de germinación se debe mantener a unos 25°C y a una humedad relativa del 85-90 %. Temperaturas superiores o inferiores a la expuesta producen germinaciones menos uniformes. A temperaturas inferiores a 10°C y superiores a 40°C, no germina la semilla. El cuidado del semillero consiste en mantener idealmente una temperatura diurna entre 20 y 23°C y nocturna entre 18 y 20°C. Una vez que la planta ha alcanzado 4 a 5 hojas verdaderas al cabo de unos 50 días en semillero se transplanta (Condés Rodríguez 2017). La fecha de trasplante y el marco de plantación del pimiento depende del sistema de cultivo (invernadero o aire libre), de la región y del mercado (fresco o industria), ver **Tabla 3.4**.

Las densidades de plantación del pimiento pueden fluctuar desde 20.000 a 60.000 plantas por hectáreas. Un estudio de Khasmakhi-Sabet *et al.* (2009) en pimiento rojo Tipo Bell (o cuatro cascós) que evaluó tres densidades de plantación (30.000, 42.000 y 78.000 plantas/hectárea), con una distancia entre hilera de 0,8 m y sobre la hilera de 0,45, 0,30 y 0,15 m entre plantas, respectivamente, mostró que la densidad de plantación 42.000 plantas por hectárea logró no sólo un crecimiento vegetativo adecuado, sino también el mejor rendimiento, y no tuvo ningún efecto

Tabla 3.4. Meses de trasplante y cosecha para pimientos amarillos y rojos cultivados bajo plástico, malla o al aire libre en la zona norte y central de Chile.

Regiones	Bajo plástico/ aire libre	Color (Variedad)	Mes de trasplante	Días de trasplante a cosecha
XV	Plástico/malla	Amarillo (Yellow Bell)	Enero a Marzo	105 días
XV	Plástico/malla	Rojo (Ural)	Octubre a Marzo	80 días
V, RM, VI, VII	Plástico/malla	Amarillo (Yellow Bell)	Marzo a Mayo	110 días
V, RM, VI, VII	Plástico/malla	Rojo (Ural)	Mayo a Octubre	100 días
V, VI, VII	Plástico	Amarillo (Fantasy)	Abril a Noviembre	120 días
V, VI, VII	Plástico	Rojo (Red Start)	Abril a noviembre	105 días
VI, VII	Aire Libre	Amarillo (Fantasy)	Septiembre a noviembre	120 días
VI, VII	Aire Libre	Rojo (Red Start)	Septiembre a noviembre	110 días

Nota: Las épocas pueden variar según el clima y variedad, se ejemplifican con algunas variedades conocidas.

negativo significativo sobre la calidad del pimiento. La **Tabla 3.5** da a conocer el marco y densidad de plantaciones más usados tanto en invernadero como al aire libre. En invernaderos, se prefiere la plantación de híbridos vigorosos a partir de cual se obtienen varias cosechas. En este caso el marco de plantación más frecuentemente es de 1 metro entre hilera y 0,5 metros sobre la hilera. También es frecuente disponer líneas de cultivo en doble hilera, distantes entre sí, a 0,80 metros y con pasillos de 1,2 metros entre cada par de líneas con el objeto de favorecer la realización de las labores culturales, evitando daños indeseables al cultivo. Para la industria, el pimiento se establece al aire libre en hilera simple o doble. El marco de plantación es de 0.9 m entre la hilera y 0,4 a 0,6 m sobre la hilera, incluso se puede aumentar la densidad de plantación.

Tabla 3.5. Densidad de plantación por hectárea en pimiento bajo diferentes condiciones.

Cultivo al aire libre o invernadero	Densidad de plantación	Plantas/ha
Aire libre	0,90 x 0,60 m	18.519
	0,90 x 0,40 m	27.778
	0,70 x 0,40 m	35.714
Invernadero	1,00 x 0,50m	20.000
	0,60 x 0,30 m	55.500



Figura 3.3. (A) Almácigo de pimienta en speedling, de 4 a 5 hojas verdaderas, en INIA (RM Chile), (B) plantación de pimienta en doble hilera bajo mulch en Florida EEUU.

Poda, tutorado y aporca en pimienta

La poda es una práctica cultural frecuente en el pimienta que ayuda a la obtención de producciones de mayor calidad comercial, porque favorece el desarrollo de plantas vigorosas, pero en forma equilibrada y favoreciendo el aireamiento en la planta. Con esta práctica se busca evitar que los frutos queden ocultos entre el follaje, pero a la vez busca que queden protegidos de exceso de radiación que puede provocar Golpes de Sol. La poda, también ayuda al aumento de la ventilación en las partes bajas de la planta, evitando así el exceso de humedad que puede favorecer la incidencia de enfermedades (Condés Rodríguez 2017). La **poda de formación** es más necesaria en variedades precoces de pimienta, porque producen más tallos que las tardías. Aunque la planta de pimienta crece inicialmente con un único tallo, pronto se bifurca para formar dos, e incluso, tres tallos, que continúa produciéndolos a lo largo de todo su ciclo. Con la poda de formación, básicamente se busca dejar dos o tres tallos principales o guías más fuertes que soporten todos los frutos. A una altura de 25–30 cm se van podando los tallos laterales, dejando la flor y la hoja que sale junto a ella; así, sucesivamente, hasta el final del cultivo (Jurado, 1999). Además, para favorecer un crecimiento vegetativo inicial vigoroso, capaz de soportar la producción, se deben **eliminar flores** de la primera y segunda coyunturas (o piso) del tallo, generalmente hasta una altura de unos 40 cm. Según Jurado (1999), la primera

poda se debe realizar cuando los tallos tienen desde la cruz una longitud de 20 cm, aproximadamente. Se eliminan las hojas y brotes hijos que salgan en el tallo principal por debajo de la "cruz". Los brotes se suprimen cuando se aprecia que la planta tiene una buena estructura; nunca se hará antes de que se hayan desarrollado las primeras ramas de la "cruz". Si se desbrotan los hijos del tallo cuando la planta es muy joven, el tallo principal queda debilitado y se favorece el ahilamiento de la planta (Serrano, 1996). A pesar de las recomendaciones anteriores, las labores de podas dependen de los tipos y variedades de pimientos, pueden ser más o menos frecuentes e intensas, sin embargo, no se debe perder el objetivo que es favorecer una coloración uniforme del fruto, mejorar formación de los frutos, lograr mayor eficiencia en la aplicación de productos fitosanitarios y acelerar la cosecha de los frutos.

Los tallos del pimiento se parten con mucha facilidad, ya sea por el peso de los frutos o por prácticas culturales. Las plantas en invernadero son más tiernas y alcanzan una mayor altura, por lo tanto también son más sensibles. Por ello, es indispensable el uso de tutores en las plantas para evitar el rompimiento de tallos, facilitar las labores de cultivo y aumentar la ventilación. El **tutorado** consiste en mantener la verticalidad de la planta a lo largo del cultivo, mediante guías verticales o dependiendo del método seleccionado por el agricultor. El tutorado tradicional consiste en colocar hilos de polipropileno (rafia) en los extremos de las líneas de cultivo de forma vertical, que se unen entre sí mediante hilos horizontales pareados dispuestos a distintas alturas que sujetan a las plantas entre ellos. Estos hilos se apoyan en otros verticales que, a su vez, están atados al emparrillado a una distancia de 1,5 a 2 m. El tutorado holandés consiste en que cada uno de los tallos seleccionados a partir de la poda de formación se sujeta al emparrillado con un hilo vertical que se va liando a la planta conforme va creciendo. Esta variante requiere una mayor inversión en mano de obra con respecto al tutorado tradicional, pero supone una mejora de la aireación general de la planta y favorece el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallados, recolección, etc.), lo que repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades (Giaconi & Escaff 1993, Urrestarazu *et al.* 2002.).

La **aporca** en pimiento es una práctica que consiste en cubrir con tierra la parte del tallo principal de la planta para reforzar su base y favorecer el desarrollo radicular. En terrenos enarenados debe retrasarse el mayor tiempo posible para evitar el riesgo de quemaduras por sobrecalentamiento de la arena.

Control de Malezas

El control de malezas en pimiento se realiza principalmente antes del trasplante, con una buena preparación de suelo lo cual debe ser complementado con la aplicación de herbicidas de preemergencia antes del trasplante. Luego del trasplante de las plántulas de pimiento, se deben realizar dos a tres limpiezas manuales durante la temporada.

Tabla 3.6. Herbicidas para aplicar antes del trasplante de las plántulas de pimiento.

Producto	Dosis	Época
Trifluralina	1-2 L/ha	Pre trasplante incorporado
Herbadox	4-5 L/ha	Pre trasplante incorporado

Fuente. Adaptado de González (2012).

En relación con los herbicidas de preemergencia, se recomienda que el producto sea incorporado al suelo para un control efectivo de las malezas con la antelación que recomiende el producto y según el tipo de suelo. Si la aplicación e incorporación simultánea del herbicida no fuera posible, se debe incorporar dentro de las 4 horas después de la aplicación para evitar pérdidas de actividad. El equipo de incorporación deberá romper los terrones de suelo y combinar bien el herbicida con el suelo. Una incorporación poco profunda (menos de 5 cm) dará por resultado un control deficiente de malezas. La aplicación de preemergentes puede ser complementado por algunos herbicidas selectivos de post emergencia para gramíneas para el desmanche.

El uso de mulch plástico es una técnica de cultivo cada vez más utilizada en pimiento tanto para controlar malezas como para disminuir la evaporación desde el suelo. Esta técnica no sólo permite disminuir la cantidad de agua de riego aplicada, sino también busca lograr un mayor rendimiento por superficie cultivada y por unidad de agua utilizada.

Cosecha

La época de cosecha está determinada por el clima, el mercado y los precios. Sin embargo, se cosecha entre los 80 y 120 días post trasplante (Tabla 3.4). Para

mercado en fresco, el fruto se puede recolectar antes de su madurez fisiológica en verde para lograr buenos precios y también luego en rojo. La floración comienza de 1 a 2 meses después del trasplante con la primera recolección de pimientos verdes se inicia un mes después. A partir de entonces, los pimientos rojos maduros se recogen a intervalos de 2 semanas durante hasta 3 meses. Para la zona central de Chile, el pimiento amarillo se cosecha de enero a marzo y el pimiento rojo de febrero a abril.

Para los pimientos verdes, se busca tamaño, firmeza y color, mientras que pimientos de color se requiere un mínimo de 50% de coloración. El corte del pedúnculo debe ser lo más largo posible, entre 1,5 y 2,5 cm de longitud. Los frutos para el consumidor final requieren estar completamente coloreados y brillantes (sin hombros verdes o marcas o manchas verdes inmaduras). Su forma debe ser uniforme, con buena textura o firmeza a la mordedura, limpio y libre de defectos externos.

Para la industria del procesado es necesario que la fruta de pimiento alcance el máximo color (coloración completa) y de sólidos solubles que exige la agroindustria, superior a los 8°Brix. Este último, puede variar en función de la variedad, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la disolución nutritiva, estrés hídrico, etc.

En términos de rendimientos, al aire libre el rendimiento fluctúa entre 25 y 35 Ton/ha, y en invernadero puede superar los 25 kilos/m².

Referencias

Cebula, S. (1995). Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *In: I International Symposium on Solanacea for Fresh Market* 412 (pp. 321-329).

Condés Rodríguez L. F. (2017). Pimiento, *In: cultivos hortícolas al aire libre* (Maroto B. JV & Baixauli S.C. Eds, Serie Agricultura España, [13], 471-507. <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/agricultura/cultivos-hortícolas-al-aire-libre-2.pdf>

De, A. K. (Ed.). 2004. *Capsicum: the genus Capsicum*. CRC Press. 275p.

- Dionizis V.N., Potter, P.W., Sepúlveda, R. & Román, O.L.F. (2013).** Manejos del cultivo del Pimiento, en el valle de Azapa. Informativo N°82, Noviembre INIA Ururi.
- FAO (2018).** Land & Water: Pepper. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/pepper/en/>(último acceso enero 2018)
- Giaconi, M.V. & Escaff G.M. (1993).** Cultivo de Hortalizas. Editorial Universitaria, S. A. Santiago de Chile. 220 p.
- González A.M.I. (2012).** Nuevas Fichas Hortícolas (Tercera edición). Boletín INIA N°246. Chillán, Chile. 58p.
- Hochmuth G.J. & Hochmuth.R.C. (2015).** Blossom-End Rot in Bell Pepper: Causes and Prevention. SL 284, one of a series of the Soil and Water Science Department, UF/IFAS Extension. Original publication date March 2009. Reviewed March 2015. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Jurado, A. (1999).** El cultivo del pimiento en el poniente almeriense. Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Caja Rural de Almería. Almería, 2, 57-87.
- Khasmaki-Sabet, A., Sedaghatoor, S., Mohammady, J., & Olfati, J. A. (2009).** Effect of plant density on bell pepper yield and quality. *International Journal of Vegetable Science*, 15(3), 264-271.
- Marti, H. R., & Mills, H. A. (1991).** Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. *Journal of Plant Nutrition*, 14(11), 1165-1175.
- Mateos, R. M., Jiménez, A., Román, P., Romojaro, F., Bacarizo, S., Leterrier, M., ... & Palma, J. M. (2013).** Antioxidant systems from pepper (*Capsicum annum* L.): involvement in the response to temperature changes in ripe fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9556-9580.
- Pérez-López, A. J., del Amor, F. M., Serrano-Martínez, A., Fortea, M. I., & Núñez-Delicado, E. (2007).** Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(11), 2075-2080.

- Pérez-López, A. J., López-Nicolas, J. M., Núñez-Delicado, E., Amor, F. M. D., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2007).** Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(20), 8158-8164.
- Pressman, E., Moshkovitch, H., Rosenfeld, K., Shaked, R., Gamliel, B., & Aloni, B. (1998).** Influence of low night temperatures on sweet pepper flower quality and the effect of repeated pollinations, with viable pollen, on fruit setting. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(1), 131-136.
- Pressman, E., Shaked, R., & Firon, N. (2006).** Exposing pepper plants to high day temperatures prevents the adverse low night temperature symptoms. *Physiologia Plantarum*, 126(4), 618-626.
- Serrano, Z. (1996).** Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Ed. Zoilo Serrano, C. Sevilla. 433-487.
- SQM (2007).** Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad Pimiento. Crop Kits. SQM. 104p
- SQMVITAS. (2017).** Pimiento. In: <http://www.sqm-vitas.com/es-pe/nutricion-vegetalde-especialidad/> (último acceso en diciembre 2017).
- Urrestarazu G., M., Castillo, J. E., & Salas, M.D.C. (2002).** Cultivo de pimiento: técnicas culturales y calidad. <http://www.horticom.com/pd/print.php?sid=50092>
- Wubs, A. M., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2009).** Abortion of reproductive organs in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.): a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(5), 467-475.
- Xu, G., Wolf, S., & Kafkafi, U. (2001).** Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. *Journal of Plant Nutrition*, 24(7), 1099-1116.

Capítulo 4.

Respuesta a estrés hídrico controlado del pimiento durante la maduración del fruto

Carolina Salazar,

Bióloga Dra.

carolina.salazar@inia.cl

Cristian Hernández

Ing. Agrónomo Mg.

crisanher1006@gmail.com

El pimiento es una planta con alta demanda hídrica y sensible a estrés hídrico. El último reporte del panel intergubernamental para el cambio climático es enfático en señalar que las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) de origen antropocéntrico son las más altas de la historia. Esto ha producido cambios en el clima que han impactado sistemas humanos y naturales. Más en detalle, este reporte indica que es muy probable que a escala global el número de días fríos disminuyera y aumentarían los días cálidos, que la disponibilidad de agua en América del Sur disminuya y que decaiga la producción y calidad de los alimentos (IPCC, 2014). En este contexto, es relevante considerar que los efectos del cambio climático tienen directa relación con la disponibilidad de recursos hídricos necesarios para la producción y calidad de los alimentos.

Algunos cultivos tienen mayor sensibilidad frente a los cambios en la disponibilidad hídrica. Uno de ellos es el pimiento, *Capsicum spp.*, originario de América central y sur, cultivado en general como una planta anual con frutos dulces o picantes dependiendo de la especie. Se caracteriza por ser un solanácea con raíces superficiales, con pobre capacidad de regeneración y con alta demanda hídrica en épocas cálidas (Di et al, 2017). Estas especies tienen un sistema radicular reducido y sensible tanto al exceso como a la falta de agua (FAO, 2002). Por lo tanto, en un contexto de cambio climático debe ser estudiada para evaluar los efectos del clima sobre su crecimiento, producción y calidad, además de buscar estrategias que permitan mitigar los efectos del clima cambiante.

Las respuestas del pimiento frente al déficit hídrico pueden ser tanto a nivel morfológico como fisiológico, metabólico, etc. En este capítulo se analizarán las respuestas del pimiento frente al déficit hídrico a nivel fisiológico y productivo. El déficit hídrico en la mayoría de las especies muestra sus efectos inicialmente en el intercambio de gases entre la planta y el ambiente. Las limitaciones en el crecimiento de la planta frente al déficit hídrico, es debido principalmente a una reducción en el balance de carbono, que depende esencialmente de la fotosíntesis (Flexas *et al.* 2009). El intercambio gaseoso, y por lo tanto la fotosíntesis, se realiza principalmente en las hojas, aunque puede producirse en frutos y tallos con capacidad fotosintética. Los pigmentos fotosintéticos (principalmente la clorofila) le confieren a la planta la capacidad de captar energía proveniente de la luz y transformarla en energía química a través de la fotosíntesis. En la fase fotoquímica del proceso fotosintético, se utiliza la energía lumínica y del agua, para generar energía química y liberar O₂ (Taiz y Zeiger 2010,). Por lo tanto, el proceso fotosintético es directamente dependiente de la disponibilidad hídrica. Más aún, en las hojas se encuentran los estomas, estructuras encargadas de realizar el intercambio de gases con el ambiente y que tienen una directa relación con el agua en la planta. Estos poros se encuentran rodeados por dos células oclusivas, que cuando están turgentes mantienen las estomas abiertos permitiendo el intercambio. Cuando las células oclusivas pierden agua, los estomas se cierran (Raven *et al.* 1992). Por lo tanto, como podemos comprender, la disponibilidad de agua para las plantas es un factor que determinara su intercambio gaseoso, modificando sus tasas fotosintéticas e influyendo directamente en la calidad y producción de éstas.

Aunque las limitaciones hídricas en el pimiento puedan tener o no un origen estomático, cuando el agua es escasa, en general, uno de los efectos que pueden observarse en la planta es una caída en la tasa fotosintética debida principalmente al cierre estomático. La fisiología del carbono y el agua en plantas C₃ como el pimiento, están intrínsecamente ligadas. Cuando los estomas están abiertos, existe una pérdida inevitable de vapor de agua desde las hojas, sin embargo, esta apertura es lo que permite la captación de CO₂ desde la atmosfera y su posterior uso para procesos fotosintéticos. Varios estudios han determinado los efectos a nivel fisiológico del estrés hídrico en especies de *Capsicum spp.* Li *et al.* (2017) describió que bajo condiciones de sequía se produce un descenso en el contenido de clorofilas, lo que se ha considerado una causa de inactivación de la fotosíntesis y, por lo tanto, una limitación en la producción (Okunlola *et al.* 2017). Otro autor observó que en condiciones de secano (sin riego, sólo con aporte del agua proporcionado por las lluvias) la fotosíntesis y la conductancia

estomática fueron menores respecto a plantas regadas (Delfine *et al.* 2002). Por otra parte, Moreno *et al.* (2003) evaluó el potencial hídrico y la resistencia estomática en la variedad *Capsicum annuum* L. sometida a diferentes tasas de riego, determinadas por los requerimientos de la planta en base a la evapotranspiración del cultivo, desde el 25% al 125%. Estos ensayos determinaron que un déficit hídrico severo produjo una adaptación de las plantas, reflejada en un menor crecimiento y rendimiento, sin embargo, no lograron determinar que existiera una regulación estomática diferente entre los tratamientos.

Al ser el pimiento un cultivo con varias especies cultivables y ampliamente distribuidas en el mundo, también se han desarrollado estudios para determinar los efectos del déficit hídrico en genotipos del género *Capsicum*. En 1997 Ismail y Davies publicaron los resultados de los efectos del estrés hídrico sobre la conductancia estomática, las relaciones hídricas y el ácido abscísico en tres cultivares de pimiento *C. annuum* cv. Bell Boy, *C. annuum* cv. Kulai y *C. frutescens* cv. Padi. Los resultados mostraron que en general todos los cultivares disminuyeron la conductancia estomática bajo condiciones de déficit hídrico, pero el cultivar Bell Boy fue el más sensible de los tres evaluados. Los estados fenológicos del pimiento también son determinantes en su reacción ante el déficit hídrico. Durante la floración, la producción de fruta y las etapas de maduración de la fruta la escasez de agua influyó directamente en la calidad de *C. annuum* L. (Chen *et al.* 2009).

La disminución del aporte hídrico durante la maduración del fruto afectó el intercambio gaseoso, ETR y ϕ PSII en pimiento.

Un estudio desarrollado en INIA La Platina tuvo por objetivo evaluar los efectos del déficit hídrico controlado sobre los parámetros fisiológicos y el rendimiento de accesiones de *C. annuum* L. durante la maduración del fruto. Con este fin, cinco accesiones de pimiento, de colores amarillo (583, 656), rojo (658, 664), y marrón o café (1775), fueron sometidas a déficit hídrico controlado (DHC) aplicando 100% de riego (T1), 80% de riego (T2) y 60% de riego (T3), donde el tratamiento control correspondió al 100% de reposición de la evapotranspiración diaria en función del método gravimétrico. Para determinar los efectos sobre la fisiología y producción de las accesiones de pimiento se evaluó la tasa fotosintética (A_n), la conductancia estomática (g_s), algunos parámetros relacionados con la fluorescencia de clorofilas, así como también el contenido relativo de agua (%) y el rendimiento de frutos.

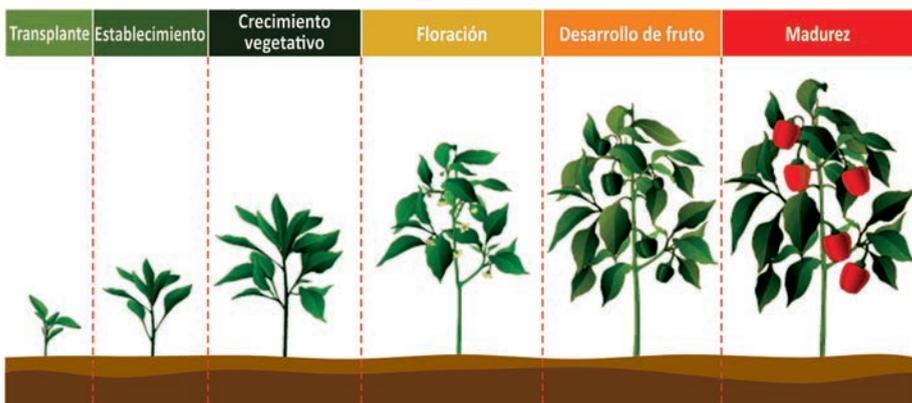
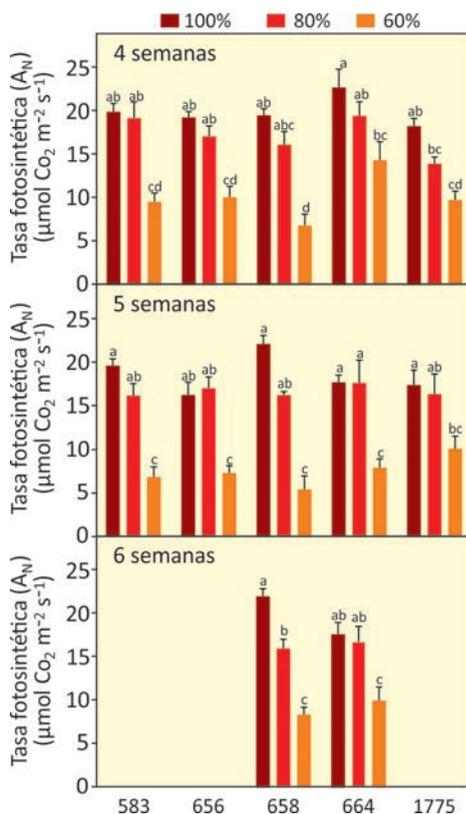


Figura 4.1. Etapas de desarrollo del cultivo del pimienta, desde el trasplante a campo a hasta plena maduración del fruto (<http://www.sqm-vitas.com/es-pe/>). Los tratamientos de déficit hídrico se iniciaron en el estadio 79 (90% de los frutos alcanza la forma y el tamaño definitivo) de la escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry).

Como se describió antes, los primeros efectos de la escasez de agua se pueden identificar en el intercambio gaseoso. En este contexto se evaluó la fotosíntesis a las 4, 5 y 6 semanas de tratamiento, observándose en todas las accesiones una disminución de la fotosíntesis a medida que disminuía el aporte hídrico (**Figura 4.2**). La disminución de las tasas fotosintéticas en el tratamiento 60% (T3) fue en todas las accesiones significativamente más bajas ($p > 0,05$ o inferior) respecto al 100%. Ninguna de las accesiones evaluadas

Figura 4.2. Tasa fotosintética a las 4, 5 y 6 semanas de tratamiento en cinco accesiones de pimienta (583, 656, 658, 664 y 1775) sometidas a tres niveles de disponibilidad hídrica.

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos y accesiones. Diferencias estadísticas según análisis de la varianza y comparaciones múltiples, según test HSD de Tukey.



fue capaz de mantener la apertura estomática debido a la disminución del 40% del agua aportada. Sin embargo, cuando el aporte hídrico disminuyó al 80% (T2), sólo la accesión 658 a las 6 semanas de tratamiento disminuyó significativamente su fotosíntesis ($p < 0,05$), pudiendo observarse como una de las más sensibles al estrés hídrico.

Por otra parte, si se muestra lo ocurrido sólo a los 30 días de tratamiento (4 semanas), tanto para la fotosíntesis como para la conductancia estomática, todas las accesiones de *C. annuum* L. disminuyeron significativamente la conductancia estomática **Figura 4.3(B)** cuando el déficit hídrico fue más severo. Esta disminución de la g_s , tal como indica una amplia bibliografía, produce un descenso en las tasas fotosintéticas, lo que se refleja en la Figura 4.3 (A). Respecto a las accesiones, en general, no tuvieron diferencias en su conductancia estomática al 100% de la reposición hídrica, marcando valores de g_s entre $0,214 - 0,278 \text{ moles H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Cuando se redujo la reposición al 60%, la accesión 658 redujo su g_s en un 72%, en cambio la accesión 656 sólo redujo un 36% de su g_s . En todos los casos evaluados, la fotosíntesis tuvo una reducción consecuente con los valores de g_s .

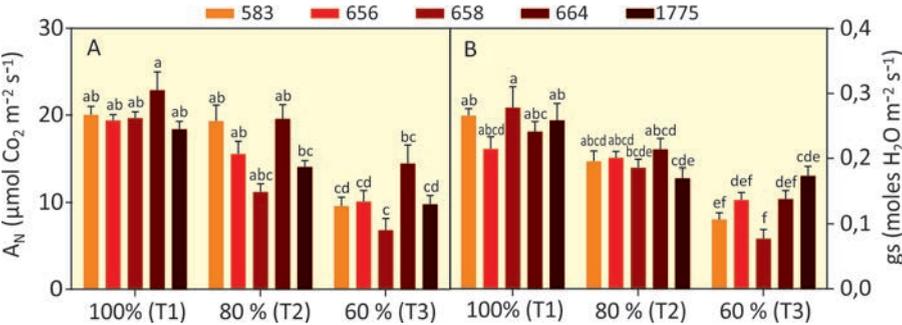


Figura 4.3. Tasa fotosintética (A_N , A) y conductancia estomática (g_s , B) a las 4 semanas (30 días) de tratamiento en cinco accesiones de pimienta (583, 656, 658, 664 y 1775) sometidas a tres niveles de disponibilidad hídrica.

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos y accesiones. Diferencias estadísticas según análisis de la varianza y comparaciones múltiples, según test HSD de Tukey.

La fluorescencia de clorofilas se ha convertido en una herramienta importante y complementaria al intercambio gaseoso, en la detección de los efectos tempranos del estrés hídrico sobre las plantas. Los parámetros evaluados con estas técnicas nos permiten detectar los efectos del estrés sobre el aparato fotosintético. Durante el proceso fotosintético no toda la energía adquirida por la planta es utilizada en este proceso, ya que una parte puede ser disipada

en forma de calor o re-emitada como fluorescencia (Maxwell & Johnson 2000). Estos tres procesos ocurren al mismo tiempo y aunque la fluorescencia ocurre en menor grado que los demás, es la base poder obtener parámetros como la tasa de transporte electrónico (ETR) o el rendimiento cuántico efectivo del PSII (ϕ PSII), medidas determinadas en las accesiones antes descritas.

La estimación de la tasa de transporte electrónico, ETR **Figura 4.4 (A)**, disminuyó a medida que se incrementó el déficit hídrico, lo que se corresponde con el descenso de la fotosíntesis y de la conductancia estomática. Específicamente, la mayoría de las accesiones, a excepción 664, disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) la ETR en el tratamiento de 60% respecto al 100%. Por otra parte, ϕ PSII **Figura 4.4 (B)**, parámetro que determina la proporción de luz utilizada en transporte de electrones respecto a la luz absorbida (Genty *et al.* 1989), disminuyó los valores al reducirse las tasas fotosintéticas, pero no de forma significativa.

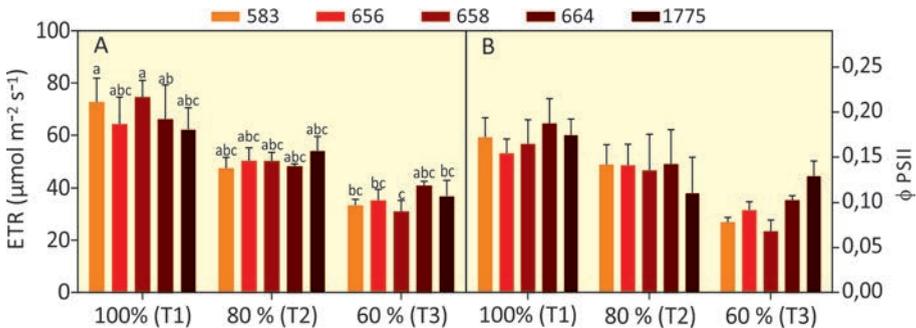


Figura 4.4. Tasa de transporte electrónico (ETR, A) y rendimiento cuántico efectivo del PSII (ϕ PSII, B), a las 4 semanas (30 días) de tratamiento en cinco accesiones de pimiento (583, 656, 658, 664 y 1775) sometidas a tres niveles de disponibilidad hídrica.

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos y accesiones. Diferencias estadísticas según análisis de la varianza y comparaciones múltiples, según test HSD de Tukey.

Como se ha observado, el porcentaje de reducción del aporte hídrico generó diferentes efectos sobre los parámetros de intercambio gaseoso, ETR y ϕ PSII sobre las accesiones de pimiento.

Los tratamientos de tasa de riego aplicada no tuvieron efectos significativos en el grosor ni el color del fruto del pimiento, pero sí en la concentración de sólidos solubles y materia seca.

Peng *et al.* (2005) indicó que un leve estrés hídrico durante la etapa de maduración podría incrementar la calidad del fruto, incrementando compuestos como la capsaicina, por esta razón fue relevante evaluar los frutos obtenidos en estos tratamientos de riego.

Para esto, según la evaluación fisiológica antes realizada, se seleccionaron las tres accesiones que presentaron mejor adaptación frente al estrés hídrico 583, 656 y 664, para estudiar la producción por planta y algunos parámetros de calidad del fruto, importantes para la comercialización industrial de los frutos (**Tabla 4.1** y **Tabla 4.2**).

El déficit hídrico no tuvo efectos significativos sobre el grosor del pericarpio (Tabla 4.1) y el color en las accesiones evaluadas (Tabla 4.2). Sin embargo, los sólidos solubles totales y la materia seca se incrementaron significativamente en los tratamientos T2 (80%) y T3 (60%) respecto a T1(100%).

Tabla 4.1. Parámetros de calidad y producción relativa en tres accesiones de pimiento sometidas a tres niveles de disponibilidad hídrica.

Accesiones	Tratamiento hídrico	Grosor pericarpio (mm)	SST (°Brix)	Materia seca (%)	Producción relativa (%)*
583	100	4,54 Aa	8,45 Ab	8,17 Bc	100 Aa
	80	4,53 Aa	8,47 Ab	9,40 Ac	96 Aa
	60	4,24 Aa	12,30 Ba	10,73 Ac	69 Ba
656	100	1,81 Ab	10,63 Ab	13,50 Bb	100 Aa
	80	1,70 Ab	15,18 Ba	20,78 Aa	94 Aa
	60	1,28 Ab	14,20 Ba	20,36 Aa	71 Ba
664	100	1,43 Ab	10,28 Ab	13,66 Bb	100 Aa
	80	1,46 Ab	13,05 Ba	15,80 Ab	90 Aa
	60	1,36 Ab	13,47 Ba	17,61Aa	79 Aa

Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos; letras minúsculas indican diferencias entre accesiones. * El rendimiento por planta se expresó como un valor relativo respecto al rendimiento promedio de las plantas bajo tratamiento control.

Tabla 4.2. Parámetros color (tono, color y luminosidad) en tres accesiones de pimienta sometidas a tres niveles de disponibilidad hídrica.

Accesiones	Tratamiento hídrico	Tono (Hue)	Pureza del color (croma)	Luminosidad (L)
583	100	60,48 Aa	21,47 Aa	33,54 Ba
	80	62,05 Aa	25,66 Aa	37,63 Aa
	60	59,14 Aa	25,61 Aa	35,59 Aba
656	100	20,92 Ab	11,86 Ab	16,60 ABb
	80	21,32 Ab	14,87 Ab	18,60 Ab
	60	37,40 Ab	14,06 Ab	16,15 Bb
664	100	27,41 Ab	6,63 Ac	15,61 Bc
	80	29,28 Ab	7,00 Ac	16,08 ABc
	60	28,85 Ab	6,45 Ac	16,14 Ab

Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos; letras minúsculas indican diferencias entre accesiones.

De cada fruto se tomaron secciones de pericarpio de aproximadamente 2 cm² las cuales fueron analizadas a través del colorímetro (HunterLab Colorflexlos, Reston, Virginia, EE.UU.). Se obtuvieron los valores L, a y b en dos zonas opuestas de la región ecuatorial de cada fruto. Se calculó el ángulo de tono (hue) y la pureza del color (croma) con las fórmulas: Hue = $\tan^{-1} (b/a)$; Croma = $(a^2+b^2)^{1/2}$ (; y la luminosidad L obtenido directamente con el colorímetro, los cuales corresponden al espacio de color L*a*b

La producción de fruta, evaluada como producción relativa por planta, no se vio afectada en el tratamiento con 80% de reposición, pero al disminuir al 60% todas las accesiones presentaron mermas en la producción de un 31%, 29%, 21% en las accesiones 583, 656 y 664, respectivamente.

Es importante destacar que, a pesar de no encontrar diferencias significativas en el intercambio gaseoso en el tratamiento T2 (80%), la disminución fotosintética registrada tuvo un efecto sobre la acumulación de azúcares y la materia seca de los frutos evaluados.

En conclusión, las accesiones evaluadas presentaron diferentes comportamientos frente a la disminución del aporte hídrico. Sin embargo, cuando el déficit hídrico se hizo más severo, reduciendo el agua en un 40%, todas las accesiones se vieron afectadas cerrando sus estomas, disminuyendo la fotosíntesis y el transporte electrónico, lo que finalmente afectó su producción y calidad. Respecto a las accesiones, una disminución del 20% de agua, no afectó la producción de 583, 656 y 664 de forma significativa, pero sí tuvo consecuencias incrementando los sólidos solubles totales y la materia seca de los frutos evaluados.

Referencias

- Chen, P., Wang, F., & Dong, P. (2009).** Response of yield and quality of hot pepper in greenhouse to irrigation control at different stages in arid northwest China. *Scientia Agricultura Sinica*, 42(9), 3203–3208.
- Delfine, S., Tognetti, R., Loreto, F., & Alvino, A. (2002).** Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(6), 697–704. <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511559>
- FAO. (2002).** Capítulo 6. Producción vegetal. En: El cultivo protegido en clima mediterráneo (318). Roma: ISBN 92-5-302719-3.
- Flexas, J., Barón, M., Bota, J., Ducruet, J. M., Gallé, A., Galmés, J., ... & Tomàs, M. (2009).** Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted Vitis hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* × *V. rupestris*). *Journal of Experimental Botany*, 60(8), 2361–2377.
- Genty, B., Briantais, J. M., & Baker, N. R. (1989).** The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 990(1), 87–92. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9).
- IPCC (2014).** Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- Ismail, M. R., & Davies, W. J. (1997).** Water relations of *Capsicum* genotypes under water stress. *Biologia plantarum*, 39(2), 293–297. <https://doi.org/10.1023/A:1000684016914>.
- Li, D., Long, H., Zhang, S., Wu, X., Shao, H., & Wang, P. (2017).** Effect of continuous negative pressure water supply on the growth, development and physiological mechanism of *Capsicum annuum* L. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(0): 60345–7. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61572-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61572-1).

- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000).** Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
- Moreno, M., Ribas, F., Moreno, A., & Cabello, M. (2003).** Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2), 65–74. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2003012-22>
- Okunlola, G. O., Olatunji, O. A., Akinwale, R. O., Tariq, A., & Adelusi, A. A. (2017).** Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* sp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. *Scientia Horticulturae*, 224 (Supplement C), 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020>
- Peng, Q., Tong, J.H, Bai, L.Y, & Xiao L.T. (2015).** Effect of drought stress on capsaicin contents, dihydrocapsaicin and vitamin C in the *C. annuum* L. fruit. *China Vegetables*, 12, 44–47.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (1992).** *Biología de las plantas* (Vol. 2). Reverté.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010).** *Plant physiology* 5th Ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 782 p.
- Zhu, J. J., Qiang, P. E. N. G., Liang, Y. L., Xing, W. U., & Hao, W. L. (2012).** Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different shade and soil moisture during the fruit growth stage. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(6), 927–937.

Capítulo 5.

Principales enfermedades que afectan el pimiento en Chile

Sylvana Soto,

Ing. Agrónoma M.Sc. Dr.

sylvana.soto@inia.cl

Las enfermedades que afectan al cultivo del pimiento pueden provocar importantes pérdidas en el rendimiento y calidad de los frutos.. Para que exista una enfermedad, se deben presentar tres factores que permiten el desencadenamiento de ésta: un hospedero susceptible, condiciones medioambientales que favorezcan el desarrollo de una patología y un agente causal virulento. Dentro de estos últimos podemos tener hongos, bacterias, virus y nemátodos.

Cada patógeno es capaz de producir una serie de sintomatología y signos que nos permiten reconocer el agente causal. Al poder identificar correctamente estos síntomas, podemos establecer las mejores medidas de control, pero se debe tener precaución, ya que pueden ser confundidos entre sí o con otros daños fisiológicos, como por ejemplo déficit nutricional o daños por sol. Por este motivo, es importante reconocer e identificar bien la sintomatología y los signos presentes de cada agente causal.

Dentro de las prácticas culturales para un adecuado control de las enfermedades, se debe considerar mantener un constante monitoreo del cultivo, para detectar cualquier sintomatología sospechosa, evaluar y diagnosticar la presencia de patógenos y posteriormente el avance dentro del cultivo. Este monitoreo debe ser constante y sencillo, de manera que sea fácil de realizar e interpretar. Generalmente, se utiliza mediciones como Incidencia (porcentaje de plantas afectadas) y Severidad (grado de daño en la planta, que puede ser evaluado como porcentaje afectado). De esta manera, se pueden determinar las medidas de control adecuadas y, posteriormente, el monitoreo nos permitirá evaluar la eficacia de las medidas de control utilizadas.

Las medidas de control integrado de cualquier enfermedad deben contemplar prácticas culturales tendientes a minimizar fuentes de inóculo, mantener condiciones medioambientales desfavorables para el patógeno y uso adecuado de plaguicidas, los cuales deben ser los autorizados para el cultivo del pimentón y patógeno blanco por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG; <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>).

A continuación, se describen las principales enfermedades que afectan al cultivo del Pimentón con una descripción de su sintomatología y estrategias para su control.

***Phytophthora capsici* Leonian**

Nombre común: Tristeza, Marchitez o Podredumbe Basal

Esta enfermedad se caracteriza por presentar clorosis, marchitez y atizamiento de la zona aérea de la planta, donde en general, las hojas y frutos quedan adheridos (**Figura 5.1**). También, puede presentar necrosis o manchas localizadas que comienzan de color castaño oscuro a negro, adquiriendo una consistencia acuosa, tanto en tallo y hojas. A nivel de cuello y raíces presenta pudrición y formación de canchales castaño rojizo. En los frutos bajo condiciones de alta humedad se desarrollan pudriciones y se aprecia presencia de moho de color blanco. En las primeras etapas de desarrollo, puede desencadenar caída de plántulas.



Figura 5.1.
Planta
afectada por
Phytophthora
capsici.

Sobrevive en el suelo, principalmente como micelio asociado a tejido o resto de plantas afectados, también puede permanecer por varias semanas como oosporas (estructura de resistencia producida por reproducción sexual). Su diseminación es principalmente por agua libre y viento y la infección se favorece en suelos saturados por exceso de agua.

Estrategias de control

Este patógeno puede ser transmitido por semilla, por lo que es importante la desinfección de ésta y que provengan de cultivos sin la presencia de la enfermedad. Debido a la persistencia del patógeno en el suelo, se debe realizar rotación de cultivo más de tres años libres de solanáceas y cucurbitáceas. Evitar escurrimientos superficiales por exceso de riegos (caudal o tiempos) o mal drenaje. Utilización de camellones de más de 25 cm de altura. Existen cultivares con niveles de resistencia.

En zonas lluviosas o con historial de la enfermedad, junto al manejo agronómico tendiente a evitar la infección, se podrían utilizar aplicaciones con funguicidas autorizados por el SAG, como, por ejemplo: metalaxilo, dimetomorfo, mancozeb, fosetil-aluminio y *Trichoderma* spp.

***Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* W.C. Snyder y H.N. Hansen**

Nombre común: Marchitez, Pudrición de la Corona

Se caracteriza por una rápida marchitez o amarillamiento parcial o total de la parte aérea de la planta. En la base de los tallos presencia de manchas necróticas de consistencia acuosa que se puede extender por los tejidos vasculares o raíces de la planta (**Figura 5.2**).

Este hongo es un habitante natural de suelo y puede persistir por largos periodos de tiempo. Se disemina principalmente por escurrimiento superficial por exceso de riego o mal drenaje, como también por movimiento de tierra infectada en herramientas y maquinaria. Puede ser trasladada en semillas y almácigos infectados, los que deben ser tratados previo al establecimiento del cultivo.



Figura 5.2. Raíz y cuello de planta afectada por *Fusarium oxysporum*.

Fuente: <http://www.infonet-biovision.org/PlantHealth/Crops/Peppers>

Estrategias de control

Utilización de cultivares resistentes, manejo de exceso de humedad y agua libre en el suelo. La rotación de cultivo con especies menos susceptibles disminuye carga de inóculo. Utilización de semillas desinfectadas y tratamiento previo a la plantación por inversión de raíces con productos como benomilo o captan

En general los tratamientos químicos presentan baja eficiencia en el control de este patógeno, los fungicidas autorizados para su control son benomilo y *Trichoderma* spp. en forma preventiva.

***Alternaria alternata* (Fr.) Keissler**

Nombre común: Alternariosis

Presencia de manchas necróticas generalmente con anillos concéntricos de color castaño oscuro o verde oliva, en presencia de esporulación del patógeno. En el fruto se presentan manchas necróticas con halos rojizos o amarillos, generalmente con depresión del tejido afectado, con presencia de micelio y abundante esporulación bajo condiciones de alta humedad (**Figura 5.3**).



Figura 5.3.
Fruto de pimiento
afectado por
Alternaria alternata.

Es capaz de sobrevivir como micelio o conidias en tejido afectado o epífita en la superficie de plantas de la misma especie u otros hospederos. Se disemina principalmente por el viento y plantas infectadas.

Estrategias de control

Rotación de cultivo y eliminación de restos de cultivo son estrategias importantes para bajar carga de inóculo. Bajo condiciones predisponentes para la enfermedad, se deben realizar aplicaciones periódicas con fungicidas como captan, folpet, mancozeb, e iprodione.

Xanthomona campestris* pv. *vesicatoria **Nombre común: Mancha Bacteriana**

Las plantas afectadas presentan atizamiento y defoliación. En las hojas se observan manchas necróticas con un halo amarillo. Los frutos presentan pequeñas manchas necróticas con un halo oscuro, con apariencia de sarna (**Figura 5.4**).

La presencia de esta bacteria se favorece con climas lluviosos y temperaturas cálidas. Sobrevive en el suelo asociado a restos del cultivo infectados. Se disemina por el salpicado o escurrimiento de lluvias y semillas infectadas.



Figura 5.4. Fruto de pimentón afectado por *Xanthomona campestris*.

Fuente: <http://www.goandproclaim.co.za/bacterial-leaf-spot.php>

Estrategias de control

El control se basa principalmente en la rotación de cultivo con especies resistentes, utilización de semillas desinfectadas y aplicaciones al follaje de productos a base de cobre.

Virosis

En general las virosis presentan sintomatologías asociadas a cambios de coloración en hojas (moteado y mosaicos). Deformación de hojas o frutos, enanismo o crecimientos anormales de parte o toda la planta. En frutos se pueden presentar manchas cloróticas, amarillentas o necróticas.

Según estudios realizados por Sepúlveda *et al.* (2005), los virus con mayor presencia en pimentón en la zona centro norte de Chile, son Virus del mosaico del pepino (*Cucumber mosaic virus*, CMV), Virus del bronceado del tomate (*Tomato*

spotted wilt virus, TSWV), Virus del mosaico de la alfalfa (*Alfalfa mosaic virus*, AMV) y Virus Y de la papa (*Potato virus Y*, PVY). Según este estudio se pudo caracterizar que CMV presenta deformación de las hojas (filiformes y mosaicos), los frutos presentaron en algunas ocasiones leves decoloraciones. Los síntomas de TSWV fueron principalmente anillos cloróticos en hojas y frutos, aborto de frutos recién cuajados. Las plantas afectadas por AMV presentan un mosaico amarillo blanquecino (**Figura 5.5**).



Figura 5.5. Planta afectada por Virus del mosaico de la alfalfa (AMV).

Los principales vectores son el trips de California (*Frankliniella occidentalis*), el pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae*) y el pulgón de la papa (*Macrosiphum eurphobiae*).

Estrategias de control

La utilización de cultivares resistentes, mantener un estricto control de insectos vectores y eliminar inmediatamente plantas con sistemas de virosis.

Referencias

- Acuña, R. (2008).** Compendio de Fitopatógenos de Cultivos Agrícolas en Chile. Servicio Agrícola y Ganadero. División Protección Agrícola. Santiago-Chile. 121p.
- Agrios, G.N. (2005).** Plant Pathology. 5th Ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam-Boston. 922p.
- Latorre, B.A. (2004).** Enfermedades de las plantas cultivadas. 6° Ed., Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 638p.
- Sepúlveda, P., Larraín, P., Quiroz, C., Rebufel, P. & Graña, F. (2005).** Identificación e incidencia de virus en pimiento en la zona centro norte de Chile y su asociación con vectores. *Agric. Téc.* (Chile), 65, 235-245.

Capítulo 6.

Insectos y ácaros asociados al pimiento en Chile

Patricia Estay P.

Ing. Agrónoma M.Sc.

pestay@inia.cl

Nancy Vitta

Ingeniero Agrónomo Mg.

nvitta@inia.cl

El pimiento es una de las hortalizas cultivadas en la zona central de Chile, tanto al aire libre, para consumo en fresco o industrial durante la temporada de primavera-verano, como en cultivo forzado o invernadero para la producción de primores, durante el otoño e inicios de primavera.

En nuestro país se citan en la actualidad alrededor de doce especies de artrópodos que pueden tener como hospedante al pimiento. No obstante, en este capítulo se describen sólo aquellas especies que, durante estudios realizados en la Región de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, se encontraron asociadas al cultivo, mostrando algún grado de significancia económica, ya sea por el daño directo que provocan a las plantas o porque su presencia genera la aplicación de programas de control químico sin ser, en la mayoría de los casos, necesario.

Las **plagas claves o primarias** del cultivo es decir aquellas capaces de producir un daño económico en Chile, son:

1. **Áfidos o pulgones** representados por las especies *Myzus persicae* o pulgón verde del duraznero y *Aphis gossypii* o pulgón del melón ambos de la Familia Aphididae: Orden Hemiptera. Presente al aire libre y en invernadero.
2. **Trips de California** representado por *Frankliniella occidentalis* Familia Thripidae Orden Thysanoptera. Presente al aire libre y en invernadero.

3. **Mosquita blanca de los invernaderos** *Trialeurodes vaporariorum* Familia Aleyrodidae: Orden Hemíptera. Presente principalmente en condiciones de cultivo en invernadero.
4. **Arañita bimaclada** *Tetranychus urticae* Familia Tetranychidae Orden Acari. Presente al aire libre y en invernadero.

A continuación, se presenta una breve descripción y programa de control de las plagas antes enunciadas.

Pulgones o áfidos

Myzus persicae

Aphis gossypii

Hospedantes:

Por tratarse de especies polífagas atacan a un gran número de plantas pertenecientes a distintas familias, correspondientes a frutales, hortalizas, cultivos y malezas. Entre las que se destacan para frutales: duraznero y nectarino, para cultivos: papa, quínoa, lupino, raps, trébol y para hortalizas: pimiento, lechuga, repollo, acelga, tomate.

Distribución e importancia económica:

Se encuentran presentes en Chile desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Magallanes. La mayor importancia de estas dos especies de pulgones radica en su capacidad para transmitir virus. Son eficaces vectores de más de 120 virosis tanto en árboles como en plantas herbáceas. En pimiento transmiten el virus del mosaico del pepino (CMV) y Potyvirus (PVY).

Descripción y ciclo:

Son insectos pequeños de hasta 4 mm de longitud. En general con adultos alados y ápteros en la misma especie, con tendencia a formar colonia sobre la planta infestada. Se reconocen por su cuerpo globoso, piriforme, frágil y su característica posición casi inmóvil en las hojas de sus hospederos con el aparato bucal picador chupador permanentemente inserto en el tejido vegetal.

Estos insectos presentan unas estructuras exclusivas en el abdomen, que permiten identificar las especies de pulgones, ellos son la cauda que se ubica en la parte distal del abdomen y los sifones o cornículos entre el V y VI segmento abdominal dorsal, se trata de estructura tubulares de largo, color y forma variable (**Figura 6.1A**).

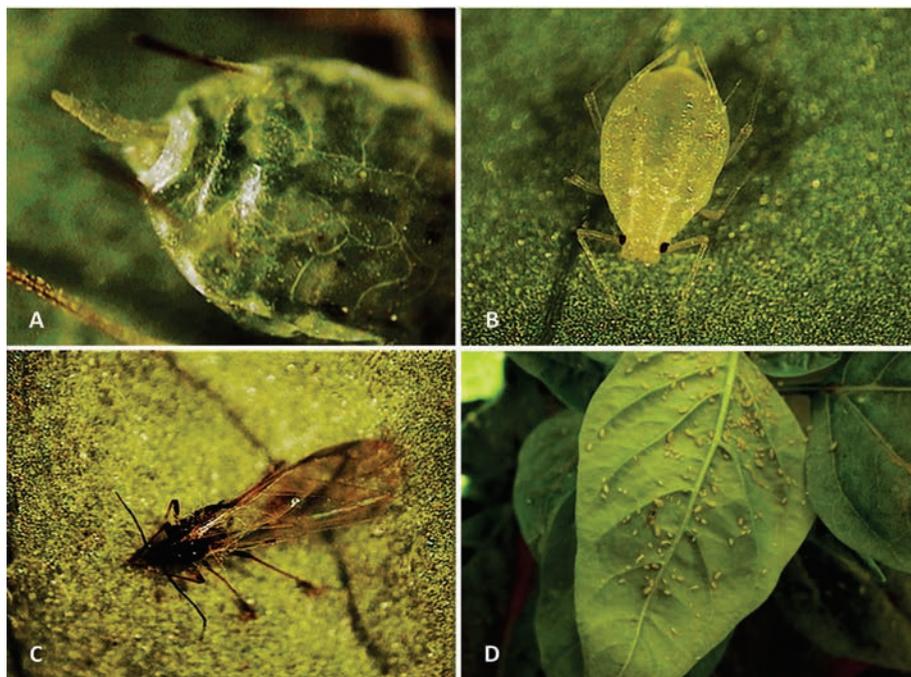


Figura 6.1. Pulgones o áfidos en pimentero. (A) Pulgón mostrando cauda y sifones o cornículos. (B) Pulgón áptero. (C) Pulgón Alado. (D) Pulgón verde del duraznero en hojas de pimentero.

***Myzus persicae* Zulzer**, los adultos ápteros, son de color verde claro con antenas del largo del cuerpo. Cauda verde y cornículos verdes en su base y oscuros en el extremo. Los adultos alados poseen cabeza, tórax negro y el abdomen verde con diseño oscuro típico. Tamaño de las formas ápteras y aladas de 1,2 a 2,3 mm de longitud (Figura 6.1B y 6.1C).

***Aphis gossypii* (Glover)**, corresponden a hembras aladas de 1,5 - 1,7 mm. Cabeza y tórax negro opaco, ojos rojos, abdomen amarillento verdoso, con manchas negras en la mitad del largo. Primer par de alas con la vena media dos veces

ramificada y segundo par de alas cruzado por dos venas. Las hembras ápteras son similares en color y tamaño a las aladas, los cornículos son casi dos veces más largos que la cauda.

Daño:

Los áfidos pueden provocar daño directo, debilitando la planta, al alimentarse de la savia que circula por el floema (Figura 6.1D). En plantas de almaciguera, las plántulas se ven afectadas predisponiéndolas al ataque de otras plagas y enfermedades. En ataques intensos, se puede ver afectada la fotosíntesis, al excretar el pulgón exceso de mielecilla, lo que favorece el desarrollo del hongo *Cladosporium sp.*, conocido como fumagina. Daño indirecto es la transmisión de virus.

Manejo de la plaga:

- La detección de la plaga se puede realizar mediante el uso de trampas amarillas, y la trampa Moericke. Este tipo de trampas permite conocer el inicio del vuelo de pulgones e identificarlos. En el caso de plantaciones tempranas en almaciguera y en invernadero pueden ayudar a tomar medidas oportunas para prevenir la transmisión de virus, sin embargo, es importante tener en consideración que basta un pulgón infestado por virus para que se produzca la transmisión en una gran cantidad de plantas.
- También es muy importante junto con la trampa el revisar plantas, muestreando en forma de X un máximo de 100 plantas
- Monitoreo, diagnóstico y control de las malezas, ya que estas actúan como hospederos de estos pulgones, en especial de malezas del tipo gramíneas, correhuela, diente de león, lechuguilla.
- Eliminación de plantas con síntomas, quemándolas o enterrándolas lejos del cultivo.
- Control natural de estas y otras especies de áfidos mediante depredadores como la chinita *Eriopsis chilensis* (Coleoptera: Coccinellidae), el micohiménoptero parasitoide *Aphidius sp.* (Hymenoptera: Braconidae) entre otros .
- Aplicar insecticidas autorizados por el SAG, <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/inocuidad-y-biotecnologia/76/registros>, para la especie vegetal de acuerdo a los estados/estadios de desarrollo de la plaga, y selectivo a controladores naturales.

Trips de California

Frankliniella occidentalis

Hospedantes:

Especie con una amplia gama de hospederos. Para trips de California hay descritas cerca de 250 especies como hospederos en más de 65 familias de plantas. El cultivo del pimiento puede ser ampliamente afectado.

Distribución e importancia económica:

Su presencia en Chile se cita entre las regiones de Coquimbo y del Maule. El principal daño económico es la transmisión del virus del bronceado (TSWV). El virus es adquirido por las larvas en plantas afectadas y transmitido por los adultos, que permanecen infectivos toda su vida, pero con la particularidad que no lo transmiten a la progenie. El TSWV se encuentra presente en la zona Centro Norte de Chile en pimiento, tomate y algunas malezas y en la zona Centro Sur.

Descripción y ciclo:

Adulto: las hembras en Chile miden de 1,2 - 1,4 mm y los machos de 0,9 a 1,2 mm. Son de apariencia frágil, de cuerpo alargado y se caracterizan al igual que las otras especies de este Orden por presentar dos pares de alas con prolongaciones finas como flecos. Poseen un par de antenas con ocho artejos de color más oscuro en el 2º, 4º, 5º, 7º y 8º segmento, es uno de los caracteres taxonómicos que permite a los especialistas su identificación de *Thrip tabaci*, (Figura 6.2A). Las hembras adultas invernan en malezas o plantas cultivadas. Las larvas o ninfas en su período de neonata son de color blanco hialino para posteriormente adquirir tonalidades amarillentas. Después de la primera muda alcanzan el segundo estadio larval o ninfal y se observan antenas formadas por 6 segmentos antenales. Son de color amarillo ceroso y alcanzan una longitud de 1 mm y en el dorso de la cabeza presentan dos pares de setas. Este estadio morfológicamente se parece a los adultos, aunque no poseen alas, carecen de ocelos, las antenas tienen menos segmentos y no se pueden reproducir (Figura 6.2B). El trips de California se reproduce sexualmente y por partenogénesis.



Figura 6.2. Trips de California en pimiento. (A) En su estado adulto. (B) Estado de ninfa. (C) *Orius insidiosus* comiendo trips. (D) Adulto del depredador *Aeolothrips fasciatipennis* (Blanchard).

Manejo de la plaga:

- Monitoreo de adultos con trampas de color amarillo que permiten conocer el vuelo de adultos, al instalarlas en los sectores con malezas aledañas a los invernaderos o donde se trasplante en el caso del pimiento al aire libre. Tanto el color blanco, como el amarillo y el azul permiten capturar adultos, sin embargo se recomienda el amarillo, porque además cumple con el propósito de monitorear pulgones alados.
- Control biológico. Entre los depredadores se encuentran especies del orden Hemiptera, que incluye la familia Anthocoridae, representada por el género *Orius* (Figura 6.2C). Se ha observado además al tisanóptero *Aeolothrips fasciatipennis* (Blanchard), que pertenece a la Familia Aeolothripidae y que se presenta en la zona Central de Chile en ecosistemas no intervenidos. El adulto es de color oscuro con bandas blancas en sus alas. Desde el primer estadio larval se alimenta de trips y otros artrópodos, la población se concentra en los meses de Febrero y Marzo (Figura 6.2D).

- Control químico Aplicar insecticidas autorizados por el SAG, <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/inocuidad-y-biotecnologia/76/registros>, para la especie vegetal de acuerdo a los estados/estadios de desarrollo de la plaga.

Mosquita blanca de los invernaderos

Trialeurodes vaporariorum

Hospedantes:

Presente en todo el mundo y tiene como hospederos 250 especies vegetales distribuidas en 82 familias botánicas. En Chile, además de pimiento, se ha encontrado en ají, tomate, lechuga, melón, sandía, poroto, zapallo, zapallo italiano, pepino de ensalada, alfalfa, kiwi, palto, guayabos, vides, nogal, gerbera, crisantemos, rosas, azaleas e hibisco, entre otras especies. También tiene como hospederos a las malezas, principalmente malva y ñilhue.

Distribución e importancia económica:

Se distribuye en todo el mundo, en Chile entre las regiones de Arica y Parinacota hasta Magallanes, incluyendo además Isla de Pascua.

Descripción y ciclo:

Esta especie, presenta una metamorfosis conocida como Allometábola, donde sus estados son el de huevo, cuatro estadios ninfales y el adulto. Se puede reproducir sexualmente o partogenóticamente.

- Huevo: La hembra coloca los huevos preferentemente en hojas apicales en el envés, en promedio 150 huevos pudiendo llegar a 350 por hembra. De forma oval y alargada, recién ovipuestos de color blanco, a medida que se desarrolla el embrión se ennegrece completamente antes de la eclosión (**Figura 6.3A**).
- Ninfa I-IV: Las ninfas son ovaladas y aplastadas, el primer estado ninfal es el único móvil, a partir del segundo estado ninfal se fija sobre la hoja, se atrofian las patas y las antenas. Inicialmente son transparentes, tomando coloraciones verde claro, amarillo o marrón claro (Figura 6.3B).



Figura 6.3. Mosquita blanca en pimiento. (A) Huevos de mosquita. (B) Estado de ninfa. (C) Pupas y adultos emergiendo. (D) Adulto.

- Pupa: Fase final de desarrollo, son ovaladas, de color blanco-opaco con los ojos rojos, teniendo como principal característica el engrosamiento de las paredes laterales y setas marginales (Figura 6.3C).
- Adulto: Los adultos son de color amarillo, recubiertos con una cera blanca, miden entre 1,5 a 3 mm de largo, siendo los machos un poco más pequeños que las hembras (Figura 6.3D).

Daño:

Los ataques se inician en los brotes recién formados, donde las hembras depositan los huevos. El daño directo es provocado por la succión de savia por las ninfas. Alta infestación puede provocar debilitamiento de la planta, deshidratación y disminución del rendimiento. El principal daño es el indirecto, donde las altas poblaciones de este insecto producen gran secreción de mielecilla, sobre esta se desarrolla la fumagina, causada por el hongo *Cladosporium sp.*

Manejo de la plaga:

- Instalar trampas amarillas pegajosas desde la almaciguera, a la altura del ápice. Colocar 1 trampa/5 mt lineales.
- Uso de mallas antiafidos, al cultivar en invernadero.
- Muestrear las malezas especialmente la malva y el ñilhue.
- Monitoreo al azar después del trasplante y determinar la presencia de huevos en las hojas nuevas.
- Control biológico, el parasitoide más utilizado, mediante liberaciones inundativas periódicas, es *Encarsia formosa*, especie cuya presencia se menciona para Chile a partir de 1986.
- Eliminación inmediata de poda y/o rastrojos de cultivos en composteras, al cultivar en invernadero.
- Aplicar insecticidas autorizados por el SAG, <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/inocuidad-y-biotecnologia/76/registros>, de acuerdo a los estados/estadios de desarrollo de la plaga.

Arañita bimaculada

Tetranychus urticae

Hospedantes:

Es una plaga polífaga que afecta a especies frutales, a hortalizas y malezas.

Distribución e importancia económica:

Cosmopolita. Todo el país. Puede reducir rendimiento, porque produce clorosis y en ataque fuerte defoliación.

Descripción y ciclo:

Esta arañita tiene cinco Generaciones en el período del cultivo. Se presentan más generaciones en período de altas temperaturas.

Adulto: Color blanquecino o amarillo verdoso. Al verla bajo lupa, se distinguen 2 manchas oscuras en el dorso y cubiertas de pelos (**Figura 6.4A**). El macho es más pequeño que la hembra y de forma triangular. La hembra, ovipone en el envés de la hoja.

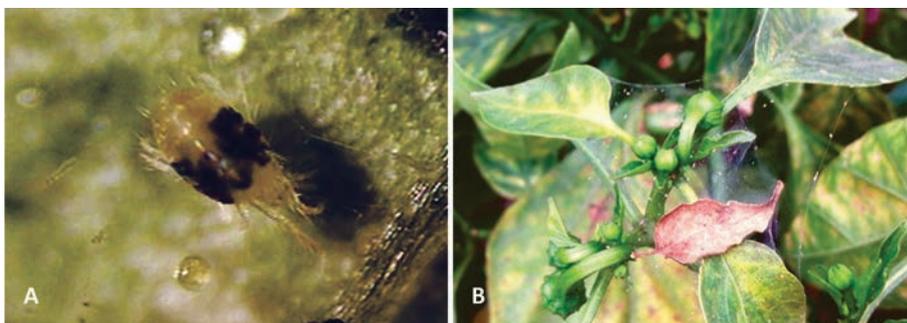


Figura 6.4. Arañita bimaiculada en pimiento. (A) se distinguen 2 manchas oscuras en el dorso y cubiertas de pelos. (B) Presencia de tela producida por la arañita en planta de pimiento.

Huevos: Son esféricos y translúcidos de color blanco. El número de huevos es mayor con baja humedad, alrededor de 150.

Daño:

El daño en hoja son pequeños puntos amarillos, con un alto número de ellos, con presencia de tela (Figura 6.4B). En ataques fuertes se produce clorosis, muerte de hojas, y reducción de rendimiento.

Manejo de la plaga:

- Monitoreo de plantas, con muestreo 100 plantas/ha, al azar, partiendo por las orillas.
- Control químico. Iniciar el control al detectar los primeros ejemplares, en los bordes del cultivo. Aplicar insecticidas autorizados por el SAG, <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/inocuidad-y-biotecnologia/76/registros>, para pimiento.
- Control natural o biológico. Arañita depredadora nativa de Chile *Amblyseius chilensis*, se alimenta de huevos y arañitas, 148 diarios. Liberación de arañitas en dosis de 5 por m² en invernadero.

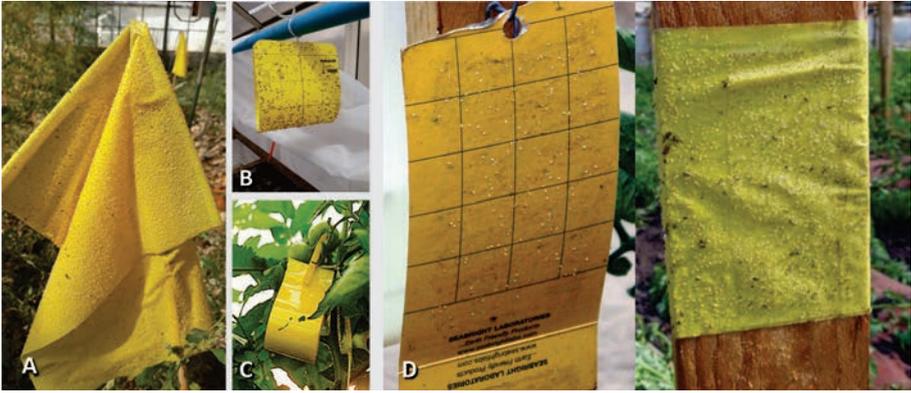


Figura 6.5. Trampas cromáticas, de color amarillo. (A) Control de pulgones, trips y mosquitas blancas aladas, con trampa instalada sobre el ápice de la planta. (B) Control de pulgones, trips y mosquitas blancas aladas, se va subiendo la trampa a medida que la planta crece. (C) Detalle de la fijación de la trampa. (D) Trampa cromática de plástico amarillo con pegamento, instaladas en estructura de bordes de invernadero, para captura de insectos alados.

Plaga	Foto plaga	Aspecto sobre trampa adhesiva
Trips		Adulto alargados, marrones o negruzcos.
Pulgones		Las alas de los adultos tiene dos veces la longitud del insecto, color variable.
Mosca blanca		Adulto blanco amarillento, decolorándose a pardo después de varios días sobre la trampa.

Figura 6.6. Aspecto de los insectos alados, que se encuentran en trampas amarillas en el cultivo de pimiento.

Referencias

- Araya, E., Estay, P., & Araya, M.H. (2006).** Toxicity of abamectin, acetamiprid, imidacloprid, mineral oil and industrial detergent with respect to *Encarsia formosa* (Gahan) parasitizing *Trialeurodes vaporariorum* Westwood nymphs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(1), (86-90).
- Araya, E., Estay P., & Araya. M.H. (2006).** Toxicidad en laboratorio de imidacloprid y abamectina sobre adultos de *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 369-371.
- Estay, P. (2003).** Importancia y biología de los pulgones en hortalizas. Tierra Adentro. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 52, 33-35.
- Estay, P. (2003).** Control de pulgones en hortalizas. Tierra Adentro. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 52, 36-37.
- Estay, P. (2005).** Manejo integrado de plagas (MIP) de hortalizas en Chile. *In: Serie Actas N°31. Seminario Fitosanidad en Hortalizas para la zona sur.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile. p:79-104.
- Estay, P. (2007).** Control biológico de plagas claves del tomate mosquita blanca de los invernaderos. *Revista Tierra Adentro.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 76, 36-39.
- Estay, P.P. (2009).** Polilla del tomate, mosquita blanca, chaqueta amarilla: Uso de grados días eficaz herramienta en la prevención de plagas. *Revista Tierra Adentro.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 80, 17-19.
- Estay, P.P. (2012).** Métodos de Monitoreo de Plagas Claves en Frutales de Carozo, Lechuga y Tomate. *In: Fortalecimiento de la Competitividad Hortofrutícola: Producción de Alimentos Inocuos en la Región Metropolitana.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago. *Boletín Técnico* 241, 83-106.
- Estay. P. & Bruna, A. (eds.). (2002).** Insectos, Ácaros y Enfermedades asociadas al tomate en Chile. Colección Libros, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). N°7, 111p.

Larraín, S.P. & González, F.V. (2010). Protocolos de manejo de plagas bajo criterios de producción limpia: 1. Protocolos de manejo de plagas bajo criterios de producción limpia en pimiento y poroto verde. *In:* Formulación de sistemas de producción limpia para los principales cultivos del Valle de Azapa, Arica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación La Platina. Centro de Investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano, Ururi, p: 39-48.

Capítulo 7.

Polinización del pimiento con el abejorro nativo *Bombus dahlbomii*

Patricia Estay P.

Ing. Agrónoma M.Sc.

pestay@inia.cl

Moisés Escaff G. (†),

Ing. Agrónomo M.Sc.

Nancy Vitta P.

Ingeniero Agrónomo Mg.

nvitta@inia.cl

La polinización del pimiento dulce por insectos ha sido estudiada previamente. Un claro ejemplo de esto es el uso de abejas (Rabinowitch *et al.* 1993, Dag & Krammer 2001), por moscas (Kristjansson & Rasmussen 1991, Jarlan *et al.* 1997) o por abejorros de la especie *Bombus terrestris* (Roldan & Sanz 2003), con el objeto de incorporarlo como una forma de manejo para producción de pimiento para consumo.

Durante los últimos años los estudios realizados sobre el empleo o no de polinizadores naturales, confirman una notable ventaja cuantitativa y cualitativa en cuanto a producción y calidad de frutos obtenidos mediante el empleo de insectos polinizadores. Los abejorros del género *Bombus* cada vez más se utilizan en el ámbito mundial como polinizadores de frutales, hortalizas y plantas forrajeras.

Ventajas del género *Bombus* como polinizadores en comparación con la abeja melífera:

- Trabajan un mayor número de horas al día y visitan mayor número de flores (1.500 a 2.000 flores/obrero/al día en tomate).
- Trabajan a rangos de temperatura menores (5°C).
- Mayor transporte de polen por pilosidad y tamaño.
- Acceden a flores con mayor resistencia a la apertura.
- Menos selectivos.
- Adaptación a condiciones de invernadero.

En el mundo se conocen alrededor de 300 especies del género *Bombus*, distribuidas en las zonas templadas del norte de Europa, Asia, Norteamérica y Sudamérica. El único representante nativo del género en nuestro país es el *Bombus dahlbomii* (Figura 7.1), que se distingue por tener su aparato bucal más largo que *Bombus terrestris* (Figura 7.2), (una de las especies introducidas a Chile a fines de los años 90). Esta peculiaridad lo hace apto para la polinización de leguminosas, tomates, como también lo hace en arándanos, frambuesas y hortalizas entre ellas el pimiento y el tomate (Estay et al. 2002).

Dada la importancia que ha adquirido el uso de abejorros como polinizadores, en varios países se ha desarrollado una importante industria de estos insectos, basada en la domesticación de abejorros nativos o adaptados, debido a que evita riesgos de intro-



Figura 7.1. *Bombus dahlbomii*.



Figura 7.2. *Bombus terrestris*.

ducción de enemigos naturales o agentes causales de enfermedades para el género, y además, por las consecuencias ecológicas que implica la introducción de nuevas especies. Es así, que en Chile el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) con el proyecto "Desarrollo de un sistema de producción de abejorro (*Bombus*) como tecnología de polinización en frutas, hortalizas y semillas de forrajeras" desarrollo una metodología de crianza del abejorro nativo *B. dahlbomii* conocido también en Chile como moscardón.

Bombus dahlbomii es una especie de abejorro endémico de Sudamérica y está presente en Chile y Argentina, donde es la única especie de abejorro nativo del bosque templado. Además, se trata de la especie más austral del mundo. La reina de esta especie es la más grande en el mundo, mide 2,5 a 3 centímetros de largo y pesa entre 0,96 a 1,54 gramos, el largo de la probóscide o lengua es de 11 mm en la reina y 8,5 mm en la obrera. Las características antes señaladas, como se ha demostrado, permiten su uso como polinizador en especies vegetales tales como: arándano tomate y numerosas especies para producción de semillas, demostrándose su actividad sobre pimiento.

Durante la temporada 2002-2003, se trabajó en un invernadero comercial de producción de semillas de pimiento, con el objetivo de estudiar, la actividad del abejorro nativo y la eficacia de la polinización en pimiento cultivado bajo condiciones de invernadero, basado en el número de semillas por fruto, peso de la semilla por fruto y porcentaje de germinación. Para ello, el invernadero se dividió simétricamente en dos sectores con una malla antiafido. En un sector, se introdujo una colonia de abejorro *B. dahlbomii* con 53 obreras obtenidas desde la crianza continua que mantenía el Laboratorio de Entomología del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el cual desarrolló y patentó un protocolo de crianza de este insecto polinizador. El otro sector del invernadero quedó como control usando la polinización manual que se hacía normalmente en el predio.

En el sector con *B. dahlbomii*, el movimiento de entradas y salidas de las colmenas (tráfico) y el de actividad de forrajeo (visita a las flores) fue monitoreado y registrado dos veces a la semana, en dos horarios en el día (10 AM y 16 PM), desde la primera a la última semana de enero. A la cosecha se seleccionaron al azar veinte y cinco frutos por repetición, considerando cuatro repeticiones por tratamiento, determinando número de semillas por planta, peso de las semillas y porcentaje de germinación.

Los resultados muestran en la **Tabla 7.1** que, bajo condiciones de invernadero, en pimiento, el abejorro nativo *B. dahlbomii*, visita tres flores por minuto equivalente a 180 flores por hora. Por otra parte, la actividad de la colmena, medida como entrada y salida de obreras desde la colonia y la actividad de forrajeo, muestran que ésta disminuye desde la mañana al mediodía y la tarde, cuando se produce un incremento de las temperaturas desde 11,5°C con 12 obreras de tráfico a 28,2°C con 1 obrera.

Tabla 7.1. Entradas y salidas de obreras de *B. dahlbomii* desde la colonia y actividad de forrajeo de acuerdo al horario del día (Pomaire, enero-abril 2003).

Hora	Temperatura (°C)	Número (Tráfico de la colonia)
08:00-09:00	11,5	12
12:00-13:00	21,3	5
15:00-16:00	28,2	1

En la **Tabla 7.2** se muestra que la producción de semillas, medida en número semillas promedio por fruto, se incrementó en un 65% al utilizar *B. dahlbomii*, en comparación con el tratamiento de polinización manual, presentándose diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 7.2. Número, peso y porcentaje de germinación de semillas de pimiento var. SZZ (Pomaire, enero-abril 2003).

Tratamiento	Número de semillas/fruto	Peso de semilla/fruto (gramos)	Porcentaje de germinación (%)
<i>Bombus dahlbomii</i>	18,82 a	2,00 a	70,0 a
Manual	11,37 b	0,83 b	68,8 a

Medias seguidas de igual letra no difieren entre sí ($P \leq 0.05$)

Al analizar el peso de la semilla también se observó un aumento significativo en el tratamiento polinizado con abejorros, cuyo peso promedio fue de 2 gramos, comparado con el tratamiento de polinización manual donde el peso fue de 0,83 g. Por otra parte, la germinación de la semilla no se vio afectada por los tratamientos, donde el porcentaje fluctuó entre 68,8 y 70%, sin diferencias significativas entre los tratamientos.

En el caso del pimiento para producción de semillas, estos resultados obtenidos son muy auspiciosos debido a que la polinización manual en este cultivo tiene la desventaja de que al ser realizada por el hombre, es desuniforme. Por otra parte, se requiere de un manejo sanitario muy estricto, porque esta especie hortícola tiene alto riesgo de transmisión de virus, que se acentúa cuando hay mucha manipulación porque se puede transmitir por contacto manual y también por ingreso de áfidos.

Referencias

- Dag, A., & Kammer, Y. (2001).** Comparison between the effectiveness of honey bee (*Apis mellifera*) and bumble bee (*Bombus terrestris*) as pollinators of greenhouse sweet pepper (*Capsicum annuum*). *American Bee Journal*, 141(6), 447-448.
- Estay, P., Wagner, A., & Escaff, M. (2001).** Evaluation of *Bombus dahlbomii* (Guér.) as a Pollinating Agent for Tomato (*Lycopersicon esculentum* (Mill.)) Flowers Under Greenhouse Conditions. *Agricultura Técnica*, 61(2), 113-119.
- Jarlan, A., De Oliveira, D., & Gingras, J. (1997).** Pollination by *Eristalis tenax* (Diptera: Syrphidae) and seed set of greenhouse sweet pepper. *Journal of Economic Entomology*, 90(6), 1646-1649.
- Kristjansson, K. & Rasmussen, K. (1991).** Pollination of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) with the solitary bee *Osmia cornifrons* (Radoszkowski). *Acta Horticulturae*, 288, 173-177.

Rabinowitch, H. D., Fahn, A., Meir, T. A. L., & Lensky, Y. (1993). Flower and nectar attributes of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in relation to their attractiveness to honeybees (*Apis mellifera* L.). *Annals of Applied Biology*, 123(2), 221-232. DOI:10.1111/j.1744-7348.1993.tb04087.x

Roldán-Serrano, A. & Guerra-Sanz, J.M. (2003). Efecto de la polinización con abejorros (*Bombus terrestris*, L.), en invernadero, sobre la calidad de pimiento (*Capsicum annuum*, L.) tipo California. *Actas de Horticultura*, 39, 425-427.

Serrano, A. R., & Guerra-Sanz, J. M. (2006). Quality fruit improvement in sweet pepper culture by bumblebee pollination. *Scientia Horticulturae*, 110(2), 160-166.

Capítulo 8.

Metabolitos secundarios del pimiento y su valorización en la industria de alimentos saludables e ingredientes

M. Teresa Pino,

Ing. Agrónoma Ph.D.

mtpino@inia.cl

Carolina Pabón,

Ing. biotecnóloga

pabonq.carolina@gmail.com

Olga Zamora,

Bioquímica

olga.zamora@inia.cl

Maduración y metabolitos secundarios del fruto del pimiento

La maduración del fruto de pimiento implica un paulatino cambio de verde a rojo, lo que significa que gradualmente los frutos experimentan la acumulación de pigmentos carotenoides y la degradación de clorofilas, producto de la desintegración del aparato fotosintético. En esta etapa de maduración, ocurren una serie de cambios fisicoquímicos como la transformación de almidón en glucosa, degradación de pectina y biosíntesis de pigmentos, encabezada por la transformación de cloroplastos a cromoplastos (**Figura 8.1**). Entre los cambios que se producen durante esta diferenciación cromoplastidial, uno de los más destacados es la remodelación del sistema de endomembranas asociada con la formación de estructuras en la que se acumulan los carotenoides.

La madurez del fruto del pimiento, además de estar asociada con cambios en los niveles de carotenoides, también se han reportado cambios en el contenido de otros metabolitos como tocoferoles y fitoesteroles (Wahyuni *et al.* 2013). Un estudio de Marín *et al.* (2004), que evaluó el contenido de compuestos fenólicos

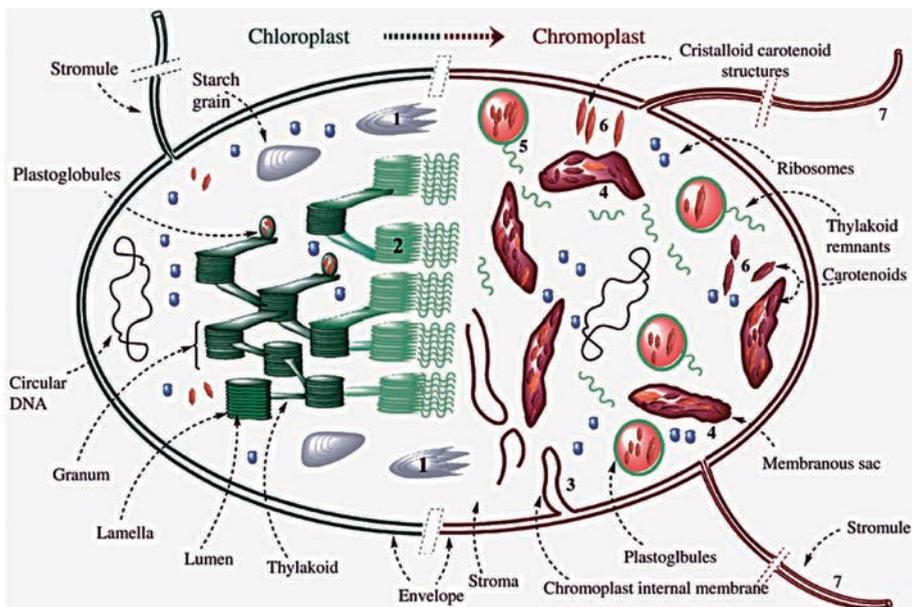


Figura 8.1. Diferenciación cromoplastidial que implica la transformación de cloroplastos a cromoplastos, durante el paulatino cambio de color de fruto de pimienta de verde a rojo (Egea *et al.* 2010).

en frutos de pimientos con diferentes grados de madurez, desde el verde al rojo, mostró que frutos verdes inmaduros presentaron mayor concentración de estos compuestos fenólicos respecto a frutos con mayor grado de madurez. Por otra parte, el fruto en su etapa roja madura aumenta significativamente el contenido de carotenoides. En la **Figura 8.2** se grafica el contenido de clorofila y de carotenoides totales en frutos de pimientos rojos, amarillos, y cafés (o marrón). Mientras en los frutos amarillos y rojos completamente maduros se degradó casi completamente la clorofila (<5 $\mu\text{g/g}$ de peso seco de fruto), en los frutos cafés A-612, A-658, A-664 se mantuvieron altos niveles de clorofilas, con valores entre 35 y 136 $\mu\text{g/g}$ de peso seco de fruto.

Durante la maduración del fruto, el contenido de carotenoides aumenta mediante la regulación transcripcional (Li & Yuan 2013). En la medida que avanza la maduración, la ruta de los carotenoides cambia de la ruta α -caroteno a la ruta del β -caroteno (Ha *et al.* 2007). Cuando el pimiento está en una etapa inmadura, la ruta del α -caroteno comienza a partir del licopeno y sintetiza carotenoides en el orden, β -caroteno, zeaxantina y luteína. El contenido de luteína es aproximadamente dos veces mayor que el de β -caroteno en la etapa inmadura

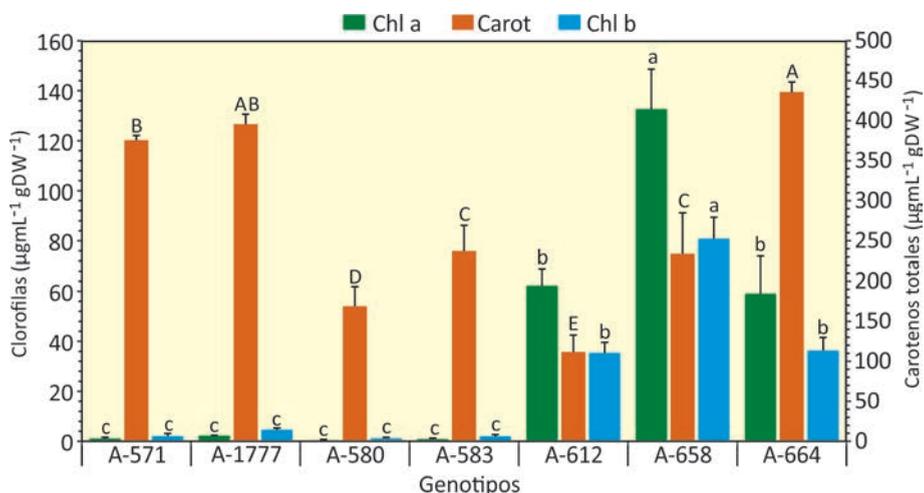


Figura 8.2. Contenido de clorofila y carotenoides totales en frutos de pimientos rojos (A571, A1777), amarillos (A580, A583) y café o marrón (A612, A658, A664), utilizados como líneas parentales en el programa de mejoramiento genético de pimientos y evaluados durante dos temporadas en INIA La Platina (Pino *et al.* 2012).

(Minguez-Mosquera & Hornero-Méndez 1993, 1994; Kim *et al.* 2009). Por el contrario, cuando el pimiento está en una etapa madura, la ruta del β -caroteno comienza desde el licopeno y los carotenoides se sintetizan en el siguiente orden, β -caroteno, β -criptoxantina, zeaxantina, anteraxantina, violaxantina y neoxantina. En los *Capsicum* rojos, desde la anteraxantina y la violaxantina se sintetizan capsantina y capsorubina, respectivamente. En la etapa madura del pimiento, se ha observado que los carotenoides más significativos son capsantina, β -caroteno, β -cryptoxantina, zeaxantina, y anteraxantina, ver **Figura 8.3**. En particular, la capsantina sólo se detectó en pimiento rojo (Kim *et al.* 2017).

En la **Figura 8.4 (A y B)**, se muestra el contenido de carotenoides totales y beta-carotenos en líneas avanzadas de pimientos al momento de la cosecha (L1889-1103-16, L1889-5049-15, L1889-4102 elite, L1889-3261-16 y L1889-3917-15). Los carotenoides totales fluctuaron entre 72 y 120 $\mu\text{g/g}$ de fruto fresco y los β -carotenos fluctuaron entre 157 y 812 $\mu\text{g/g}$ de fruto fresco. El mayor contenido β -carotenos se explica porque en pimiento rojo estos son más alto al momento de la cosecha y en particular en capsantina. Ambos gráficos muestran un comportamiento similar en el contenido de carotenoides totales y β -carotenos para las distintas líneas evaluadas. Por ejemplo, la línea avanzada L1889-5049-15 mostró el valor más bajo tanto de carotenoides totales como de β -carotenos.

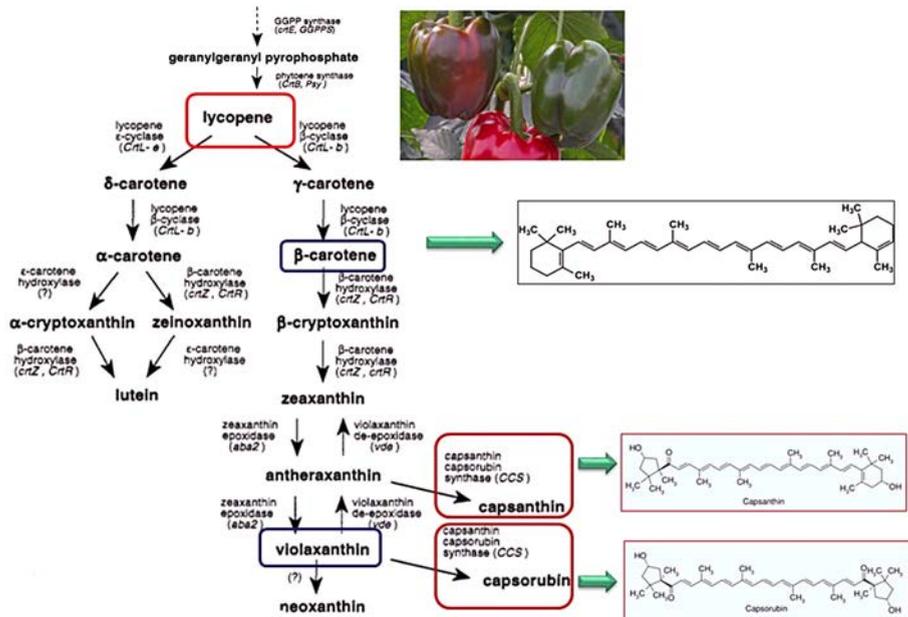


Figura 8.3. Ruta metabólica de la biosíntesis de carotenoides, enzimas y genes asociados a su síntesis. La capsantina y capsorubina son carotenoides presentes sólo en especies de género *Capsicum* (adaptado de Hirschberg *et al.* 1997).

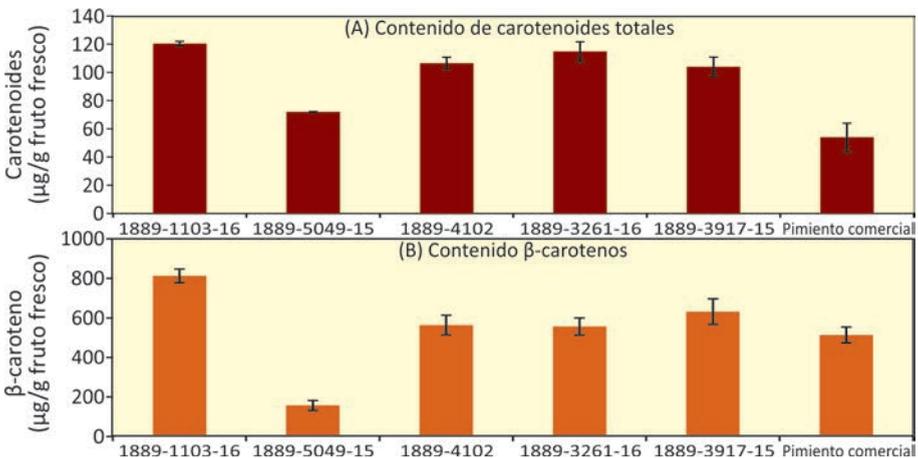


Figura 8.4. Contenido de carotenoides totales (A) por espectrofotometría y betacarotenos (B) por HPLC en frutos de líneas avanzadas de pimientos del programa de PMGH-7244 (L1889-1103-16, L1889-5049-15, L1889-4102, L1889-3261-16, L1889-3917-15 y una variedad comercial control).

El proceso de extracción y cuantificación se realizó según los protocolos de Lichtenthaler & Buschmann (2001), Biehler *et al.* (2010) y Scott (2001). Estándar de Betacaroteno (Sigma-Aldrich, EEUU N° C4582-5mg).

La capsantina es un carotenoide exclusivo del género *Capsicum* y un metabolito de alto valor por su actividad antioxidante.

Los metabolitos secundarios sintetizados durante la maduración del fruto del pimiento (*Capsicum annuum* L.) no solo actúan en mecanismos de defensa que protegen a la planta de varios estreses bióticos y abióticos, sino que también son beneficiosos para la salud humana. Particularmente cuando el fruto alcanza un rojo total, se han cuantificado mayor concentración de vitamina C (como ácido ascórbico), provitamina A y mayor contenido de carotenoides, betacarotenos y capsantina/capsorubina (Marín *et al.* 2004),

Extractos de pimiento rojo han sido asociados a actividad antimicrobiana. Un estudio sobre la actividad antibacteriana en extractos de diferentes especies de *Capsicum* (*C. annuum* L. y *C. frutescens*), mostró que el extracto de *C. annuum* tuvo mayor actividad antibacteriana que la de *C. frutescens*. El estudio fitoquímico del extracto reveló la presencia de alcaloides, flavonoides, polifenoles y esteroides, sugiriendo que las frutas *Capsicum* pueden servir como una fuente de agentes bactericidas naturales para ser utilizados en los sistemas alimentarios y medicinales (Koffi-Nevry *et al.* 2012).

Varios estudios asocian los metabolitos del pimiento a efectos beneficiosos en la salud (Gouni-Berthold & Berthold 2002, Wahyuni *et al.* 2013). El perfil de antioxidantes y carotenoides propios del pimiento rojo, ayudaría a reducir el riesgo de crecimiento de células cancerosas en cáncer gástrico, cáncer de esófago y cáncer de próstata; por ejemplo, la capsantina y carotenoides relacionados, extraído de frutos de pimiento paprika, mostraron una potente actividad antitumoral *in vitro*, inhibiendo la activación del antígeno temprano del virus de Epstein-Barr (EBV-EA) inducida por el promotor tumoral 12-O-tetradecanoilforbol-13-acetato (TPA). Entre ellos, el diéster de capsantina y el diéster de capsorubina mostraron fuertes efectos inhibidores de tumores. Además, capsantina, capsantina-3'-éster y capsantina 3,3'-diéster, todos principales carotenoides en pimiento exhibieron una potente actividad antitumoral en pruebas *in vivo* en ratas durante dos etapas de carcinogénesis, sugiriendo que los carotenoides extraídos desde frutos de pimiento rojo tendrían una actividad quimiopreventiva del cáncer (Maoka *et al.* 2001). Un estudio más reciente, en tres variedades de pimiento del tipo Bell no sólo identificó por primera vez, tres derivados de ácido cinámico y otros cinco componentes flavonoides, también sugirió que estos contribuían a la actividad antioxidante y anticancerígena en general. Esta alta actividad antioxidante y anticancerígena del cultivar "CLST" se atribuyó a la mayor concentración de

derivados de quercetina (Jeong *et al.* 2011). Además, esto es complementado con otros estudios epidemiológicos, que sugieren que una mayor ingesta de alimentos ricos en capsantina podrían ser útil para la salud y tendrían un efecto inhibitor sobre la carcinogénesis del colon (Kim *et al.* 2009). Un estudio fitoquímico y de la actividad antioxidante de frutos y hojas de pimiento-paprika mostró que las cantidades de capsantina y ácido L-ascórbico se correlacionan bien con la actividad antioxidante. Por otra parte, en las hojas se detectaron varios fitoquímicos como la luteína, la clorofila y el γ -tocoferol, que podrían usarse en nutraceuticos y productos farmacéuticos (Kim *et al.* 2011)

En la **Figura 8.5** se grafica el perfil de carotenoides en frutos en plena maduración de una línea avanzada de pimiento del programa PMGH-7244 (línea elite L1889-4102), en términos de concentración de carotenoides totales, betacarotenos, capsorubina y capsantina. En esta etapa los betacarotenos fueron significativamente más altos que los carotenoides totales, porque en la medida que avanza la maduración del fruto, la ruta de los carotenoides cambia desde la ruta α -caroteno a la ruta del β -carotenos. En este sentido, esta línea en particular tiene un alto contenido de capsantina, uno de los metabolitos más valorados, con una concentración de 420 ± 41 μg de capsantina por gramos de fruto fresco, cifra muy superior a algunas líneas parentales usadas en el mejoramiento génico, como la Línea 777 que no supera los 200 μg de capsantina por gramos de fruto fresco.

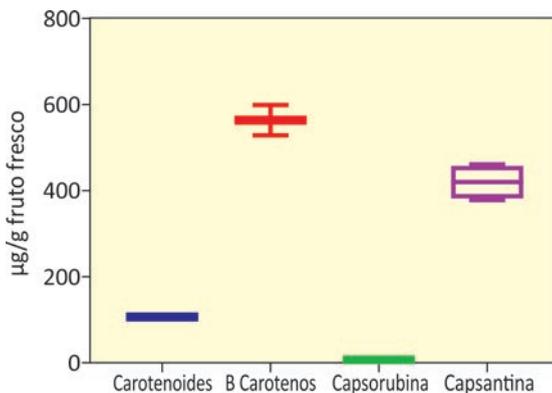


Figura 8.5. Perfil de carotenoides en frutos de la línea avanzada de pimiento L1889-4102, contenido de carotenoides totales, betacarotenos, capsorubina y capsantina evaluados a partir del pericarpio de fruto. El proceso de extracción por HPLC se realizó según el protocolo de Scott (2001) con modificaciones, usando un cromatógrafo Jasco® PU-2089 Plus con interface LC-NETII/ADC y una columna C18 (Kromasil 100-3,5C18). Los estándares usados fueron Capsantina (CaroteNature GmbH, Suiza N° 0335, 1mg) y Capsorubina (CaroteNature GmbH, Suiza N° 0413, 1mg).

En la **Figura 8.6**, se detalla el contenido de capsorubina y capsantina en frutos de líneas avanzadas de pimientos del programa de PMGH-7244 (L1889-1103-16, L1889-5049-15, L1889-4102, L1889-3261-16, L1889-3917-15) en compara-

ción con una variedad comercial control). La mayoría de las líneas avanzadas de pimiento fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) en la concentración de capsantina del fruto (L1889-1103-16, L1889-4102, L1889-3261-16, L1889-3917-15), respecto a la variedad comercial control

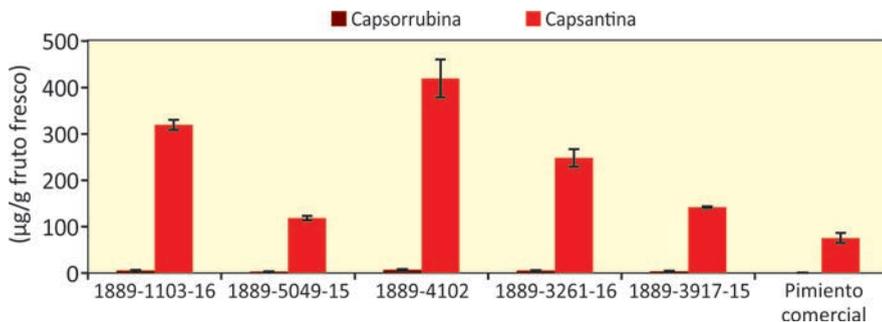


Figura 8.6. Capsorrubina y capsantina en frutos de líneas avanzadas de pimientos del programa de PMGH-7244 (L1889-1103-16, L1889-5049-15, L1889-4102, L1889-3261-16, L1889-3917-15) en comparación con una variedad comercial control.

El proceso de extracción por HPLC se realizó según el protocolo de Scott (2001) con modificaciones, usando un cromatógrafo Jasco® PU-2089 Plus con interface LC-NETII/ADC y una columna C18 (Kromasil 100-3,5C18).

Aplicaciones de los ingredientes del pimiento en la industria de alimentos

El pimiento y el ají constituyen una importante materia prima para la producción de jugo, y de extractos tanto líquidos como en polvos. El extracto funcional natural capsantina (pimientos y ajíes) y capsaicina (sólo presente en ajíes) son ampliamente utilizados en la industria de alimentos, industria farmacéutica, química y cosméticos, con alta demanda en países desarrollados como Estados Unidos, Japón, Corea y Europa. En la industria de alimentos los extractos de pimientos son usados como colorantes y saborizantes naturales.

El extracto de Paprika E160c (Capsantina y Capsorrubina), es uno de los pigmentos naturales más demandados para la industria alimentaria. Este aditivo presenta una tonalidad situada entre el naranja oscuro y el rojo, se suministra en formato de oleoresina. Es muy poco soluble al agua, necesiándose disolver en tensoactivos o mediante la técnica de la encapsulación. Actualmente, se usa como colorante y aditivo en una gran variedad de productos, entre los cuales

destaca la industria láctea (quesos, mantequillas, etc.), industria animal (avicultura, piscicultura, ganadería, etc.), industria conservera (vegetales, hidrobiológicos y cárnicos), industria de panificación (pastas, pasteles, galletas, etc.), embutidos, salsas, sopas, mayonesa, condimentos, bebidas, congelados, jarabes, gelatinas, polvos concentrados e industria cosmética (lápices labiales, polvos faciales, otros) (Figura 8.7).

En conclusión, la agregación de valor y diversificación de productos a partir de pimiento podrían no sólo mejorar la competitividad de este cultivo hortícola, sino mejorar el portafolio de productos para el mercado de exportación para productos procesados, ingredientes y aditivos especializados. Además, la generación de variedades de pimientos altos en polifenoles y capsantina son claves para lograr una mayor producción de estos metabolitos por hectárea.



Figura 8.7. Las aplicaciones del pimiento como materia prima en la industria se basan en el pericarpio, en extractos líquidos y en polvo, en la semilla y en sus metabolitos como la capsantina.

Referencias

Biehler, E., Mayer, F., Hoffmann, L., Krause, E., & Bohn, T. (2010). Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 75(1). doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01417.

- Egea, I., Barsan, C., Bian, W., Purgatto, E., Latché, A., Chervin, C., ... & Pech, J. C. (2010).** Chromoplast differentiation: current status and perspectives. *Plant and Cell Physiology*, 51(10), 1601-1611.
- Gouni-Berthold, I., & Berthold, H. K. (2002).** Policosanol: clinical pharmacology and therapeutic significance of a new lipid-lowering agent. *American Heart Journal*, 143(2), 356-365.
- Ha, S. H., Kim, J. B., Park, J. S., Lee, S. W., & Cho, K. J. (2007).** A comparison of the carotenoid accumulation in *Capsicum* varieties that show different ripening colours: deletion of the capsanthin-capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58(12), 3135-3144.
- Hirschberg, J., Cohen, M., Harker, M., Lotan, T., Mann, V., & Pecker, I. (1997).** Molecular genetics of the carotenoid biosynthesis pathway in plants and algae. *Pure and Applied Chemistry*, 69(10), 2151-2158.
- Jeong, W. Y., Jin, J. S., Cho, Y. A., Lee, J. H., Park, S., Jeong, S. W., ... & Lee, S. J. (2011).** Determination of polyphenols in three *Capsicum annuum* L. (Bell pepper) varieties using high-performance liquid chromatography- tandem mass spectrometry: Their contribution to overall antioxidant and anticancer activity. *Journal of Separation Science*, 34(21), 2967-2974.
- Kim, S., Ha, T. Y., & Hwang, I. K. (2009).** Analysis, bioavailability, and potential healthy effects of capsanthin, natural red pigment from *Capsicum spp.* *Food Reviews International*, 25(3), 198-213.
- Kim, J. S., Ahn, J., Lee, S. J., Moon, B., Ha, T. Y., & Kim, S. (2011).** Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (*Capsicum annuum* L., var. Special) cultivated in Korea. *Journal of Food Science*, 76(2).
- Kim, T. J., Choi, J., Kim, K. W., Ahn, S. K., Ha, S. H., Choi, Y., ... & Kim, J. K. (2017).** Metabolite Profiling of Peppers of Various Colors Reveals Relationships between Tocopherol, Carotenoid, and Phytosterol Content. *Journal of Food Science*, 82(12), 2885-2893. doi:10.1111/1750-3841.13968.

- Koffi-Nevry, R., Kouassi, K. C., Nanga, Z. Y., Koussémon, M., & Loukou, G. Y. (2012).** Antibacterial activity of two bell pepper extracts: *Capsicum annum* L. and *Capsicum frutescens*. *International Journal of Food Properties*, 15(5), 961-971.
- Li, L., & Yuan, H. (2013).** Chromoplast biogenesis and carotenoid accumulation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 539(2), 102-109.
- Lichtenthaler, H., & Buschmann, C. (2001).** Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS. In John Wiley & Sons (Eds.). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1-8.
- Maoka, T., Mochida, K., Kozuka, M., Ito, Y., Fujiwara, Y., Hashimoto, K., ... & Nishino, H. (2001).** Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annum* L. *Cancer letters*, 172(2), 103-109.
- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004).** Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3861-3869. DOI: 10.1021/jf0497915.
- Minguez-Mosquera, M. I., & Hornero-Mendez, D. (1993).** Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annum* L.), paprika, and oleoresin by reversed-phase HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(10), 1616-1620.
- Minguez-Mosquera, M. I., & Hornero-Mendez, D. (1994).** Comparative study of the effect of paprika processing on the carotenoids in peppers (*Capsicum annum*) of the Bola and Agridulce varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(7), 1555-1560.
- Pino, M-T., Pabón, C., & Estay, D. (2012).** Metabolitos secundarios y genómica funcional en especies *Capsicum*. En: Avances y desafíos para la agroindustria hortícola de exportación chilena. Serie Actas N° 49. ISSN 0717-4810. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile. p: 58-64.

Rodriguez-Amaya, D. (2015). Qualitative and quantitative analyses, in Food carotenoids: Chemistry, biology and technology. John Wiley & Sons (IFT Press), p:47-81.

Scott, K. J. (2001). Detection and Measurement of Carotenoids by UV/VIS Spectrophotometry. In John Wiley & Sons (Eds.). Current Protocols in Food Analytical Chemistry. F2:F2.2. DOI: 10.1002/0471142913.faf0202s00.

Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., & Bovy, A. G. (2013). Secondary metabolites of *Capsicum* species and their importance in the human diet. *Journal of Natural Products*, 76(4), 783-793.

Anexo 1.

Antecedentes de la comercialización de pimentones en el Mercado de Lo Valledor. Período 2017 y enero 2018.

Variedad	Calidad	Volumen	Precio promedio ponderado	Unidad de comercialización	Precio por kilo (\$)
Cuatro cascos	Primera	350	6.771	\$/caja 18 kilos	376
Cuatro cascos	Segunda	220	5.000	\$/caja 18 kilos	278
Cuatro cascos amarillo	Primera	230	16.696	\$/caja 18 kilos	928
Cuatro cascos rojo	Primera	1.004	10.305	\$/caja 15 kilos	687
Cuatro cascos rojo	Primera	6.806	7.881	\$/caja 18 kilos	438
Cuatro cascos rojo	Segunda	800	8.550	\$/caja 15 kilos	570
Cuatro cascos rojo	Segunda	3.765	5.831	\$/caja 18 kilos	324
Cuatro cascos rojo	Tercera	180	40.000	\$/caja 15 kilos	2.667
Cuatro cascos rojo	Tercera	840	4.000	\$/caja 18 kilos	222
Cuatro cascos verde	Primera	834	6.976	\$/caja 15 kilos	465
Cuatro cascos verde	Primera	34.581	6.685	\$/caja 18 kilos	371
Cuatro cascos verde	Primera	120	12.000	\$/caja 20 kilos	600
Cuatro cascos verde	Segunda	479	5.041	\$/caja 15 kilos	336
Cuatro cascos verde	Segunda	17.576	5.364	\$/caja 18 kilos	298
Cuatro cascos verde	Tercera	260	4.000	\$/caja 15 kilos	267
Cuatro cascos verde	Tercera	788	5.590	\$/caja 18 kilos	311
Morrón rojo	Extra	640	17.797	\$/caja 20 kilos	890
Morrón rojo	Primera	880	8.591	\$/caja 18 kilos	477
Morrón rojo	Primera	30.547	12.412	\$/caja 20 kilos	621

Variedad	Calidad	Volumen	Precio promedio ponderado	Unidad de comercialización	Precio por kilo (\$)
Morrón rojo	Segunda	630	7.063	\$/caja 18 kilos	392
Morrón rojo	Segunda	21.346	10.471	\$/caja 20 kilos	524
Morrón rojo	Tercera	5.945	8.922	\$/caja 20 kilos	446
Zafiro amarillo	Extra	1.780	21.107	\$/caja 15 kilos	1.407
Zafiro amarillo	Primera	4.690	17.959	\$/caja 15 kilos	1.197
Zafiro amarillo	Primera	690	12.174	\$/caja 18 kilos	676
Zafiro amarillo	Segunda	2.150	14.842	\$/caja 15 kilos	989
Zafiro amarillo	Segunda	100	10.000	\$/caja 18 kilos	556
Zafiro amarillo	Tercera	60	12.000	\$/caja 15 kilos	800
Zafiro rojo	Extra	12.630	15.139	\$/caja 15 kilos	1.009
Zafiro rojo	Extra	5.890	13.234	\$/caja 18 kilos	735
Zafiro rojo	Primera	59.171	12.676	\$/caja 15 kilos	845
Zafiro rojo	Primera	23.146	10.188	\$/caja 18 kilos	566
Zafiro rojo	Segunda	38.248	11.009	\$/caja 15 kilos	734
Zafiro rojo	Segunda	15.366	8.237	\$/caja 18 kilos	458
Zafiro rojo	Tercera	2.530	9.941	\$/caja 15 kilos	663
Zafiro rojo	Tercera	490	5.490	\$/caja 18 kilos	305
Zafiro verde	Extra	13.470	13.969	\$/caja 15 kilos	931
Zafiro verde	Extra	15.810	13.696	\$/caja 18 kilos	761
Zafiro verde	Primera	62.349	11.150	\$/caja 15 kilos	743
Zafiro verde	Primera	90.185	10.549	\$/caja 18 kilos	586
Zafiro verde	Segunda	37.354	9.317	\$/caja 15 kilos	621
Zafiro verde	Segunda	47.491	8.511	\$/caja 18 kilos	473
Zafiro verde	Tercera	2.610	7.584	\$/caja 15 kilos	506
Zafiro verde	Tercera	1.485	8.754	\$/caja 18 kilos	486

Fuente ODEPA, 2018.



BOLETÍN INIA N° 360
PIMIENTOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS
E INGREDIENTES

