



Juan Pablo Martínez C.
Ingeniero Agrónomo, Dr.
jpmartinez@inia.cl
INIA - La Cruz

Alejandro Antúnez B.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
aantunez@inia.cl
INIA - La Platina

Ricardo Pertuzé C.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
rpertuze@uchile.cl
Universidad de Chile

Lida Fuentes V.
Bioquímica, Dr.
lfuentes@creas.cl
INIA - La Cruz
Centro Regional de Estudios en
Alimentos Saludables (CREAS)

Héctor Araya L.
Químico Farmacéutico
hector.araya@uv.cl
Universidad de Valparaíso
Centro Regional de Estudios en
Alimentos Saludables (CREAS)

Hortalizas y Frutas como alimentos saludables

Introducción ◀

Las hortalizas y frutas deben ser consideradas como alimentos que poseen buenos atributos nutricionales, sensoriales y saludables. Una alternativa para aumentar la competitividad y rentabilidad en este rubro es desarrollar tecnologías para producir materias primas de alta calidad y productividad que agreguen valor al producto y lo haga más competitivas a nivel nacional e internacional. Por otra parte, el consumidor moderno prefiere una dieta balanceada con alimentos que posean mejores atributos sensoriales (color y sabor) y propiedades saludables. Los atributos sensoriales están asociados a los gustos del consumidor y condiciona la potencial demanda para este alimento en los distintos mercados. Las propiedades saludables de las hortalizas y frutas se manifiestan por la presencia de compuestos bioactivos que cumplen un rol beneficioso en la disminución del riesgo del desarrollo de las enfermedades crónicas no transmisibles y disfuncionales como por ejemplo: cáncer, enfermedad cardiovascular, diabetes y obesidad (Tabla 1). Las hortalizas y frutas poseen una elevada capacidad antioxidante de algunos compuestos de los órganos de la planta (fruto, hoja y raíz), tales como carotenos y polifenoles. Estos compuestos también contribuyen con el aumento del valor nutricional y saludable, mejorando los atributos de calidad sensorial.

Las hortalizas y frutas se caracterizan por poseer fibra dietética, en su mayor parte hidratos de carbono, que no son digeridas por las enzimas humanas ni absorbidas a nivel del intestino delgado y con la peculiaridad de ser parcialmente fermentadas por bacterias que habitan el colon. La fibra dietética engloba a diferentes compuestos, entre otros, celulosa, hemi-celulosas, pectina y lignina. Como acciones funcionales se le atribuyen: el incremento del bolo fecal y el estímulo de la motilidad intestinal; la mayor necesidad de masticado, el aumento de la excreción de ácidos biliares y propiedades antioxidantes e hipocolesterolemiantes. Por otra parte, el cultivo de hortalizas y frutas se ha orientado también para el uso industrial. Para este tipo de uso se utilizan variedades que presentan una calidad industrial limitada a la cosecha y una baja calidad sensorial ya que no poseen especialmente un buen sabor y textura, indispensables para hacerlas más atractivas para el consumidor.

La disminución de rentabilidad de las hortalizas para uso industrial, en parte, se debe a la insuficiente explotación de características requeridas de la materia prima para el proceso industrial y de los atributos sensoriales y saludables, diferenciadores de la oferta, impidiendo la valorización de este tipo de atributos, no obteniendo mayores precios de venta. Una alternativa para aumentar la rentabilidad en este rubro es producir un alimento que se diferencie de la hortaliza común y que posea un valor agregado que lo haga competitivo en la situación actual. El consumidor en la actualidad requiere una dieta balanceada y alimentos saludables con atributos sensoriales de calidad, tales como el sabor, textura y color que sean demandados por el consumidor nacional.



Además, la hortaliza y fruta con una elevada calidad industrial y con buenos atributos sensoriales, incorpora distintos atributos beneficiosos para la salud humana, tales como la capacidad antioxidante de algunos compuestos que posee la materia prima, tales como carotenos, flavonoides y fenoles entre otros, por ejemplo para tomate industrial el licopeno uno de los compuestos más importantes. En la actualidad, por ejemplo, los atributos sensoriales, especialmente sabor y textura no están acorde con la demanda del consumidor, que busca una fruta más sabrosa y menos harinosa. Además las hortalizas, como el tomate, poseen compuestos fenólicos que contribuyen al valor nutricional y mejorar los atributos de calidad sensorial. En Chile, en diferentes áreas a lo largo de nuestro país poseemos distintas variedades adaptadas a las distintas áreas agroecológicas que representan una ventaja para este rubro. Es fundamental orientar la investigación a seleccionar e introducir variedades de hortalizas de uso industrial que posean una buena calidad industrial y atributos sensoriales con mejor calidad con respecto a sabor, color, textura, firmeza y atributos saludables.

El INIA-La Cruz, Universidad de Valparaíso, Universidad de Chile y el Centro de Estudios de Alimentos Saludables (CREAS) están ejecutando un proyecto de investigación FONDECYT para el estudio del efecto del manejo agronómico de la salinidad sobre la productividad y propiedades saludables del tomate de consumo fresco para obtener fruta con mejor calidad con respecto a sabor, textura, firmeza, contenidos y capacidad antioxidante.

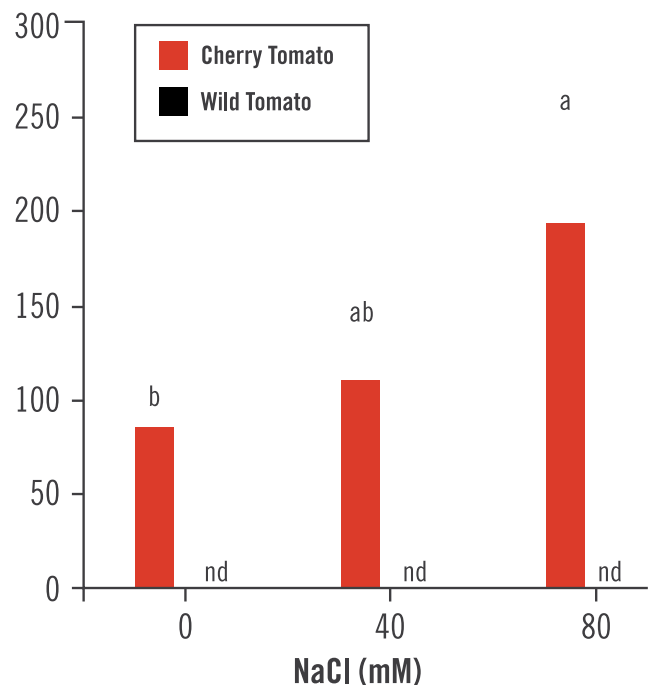
Estrés abióticos ◀

El efecto de las condiciones ambientales tales como la sequía, salinidad, calor, metales pesados, alta y baja radiación solar son considerados como estrés abióticos. La sequía y salinidad son uno de los principales estreses abióticos que afectan el crecimiento de las plantas y la productividad. La desertificación y salinización han sido rápidamente incrementadas a nivel global y comúnmente afecta más de 10% de los suelos arables, lo cual produce un 50% de disminución de los rendimientos promedios de los principales cultivos. Por lo tanto, entender los mecanismos de tolerancia de las plantas a la sequía y salinidad es un tópico de la investigación ambiental. Generalmente, la exposición a la sequía o estrés salino provocan un sin número de reacciones en las plantas que producen deshidratación celular con cambios osmóticos, removiendo el agua del citoplasma al espacio extracelular produciendo una reducción del volumen celular y vacuolar. Otra consecuencia del estrés por sequía y salinidad en plantas es la generación excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS) como el superóxido, H_2O_2 y radicales hidroxilos.

Los excesos de producción de ROS durante los estreses de sequía y salinidad resulta de procesos de transporte de electrones no apareados en los cloroplastos y mitocondria como también a partir de la vía de la fotorespiración. La producción de ROS que puede dañar el ADN, proteínas, clorofila y membrana celular, resulta del metabolismo oxidativo en cloroplasto, mitocondria y peroxisomas. Bajo condiciones salinas, no es sorprendente que el estrés oxidativo es también un importante componente del daño de la salinidad a las plantas. Diversos investigadores, trabajan con diferentes especies de plantas demostrando que la actividad enzimática cambia con el estrés salino, sugiriendo que la resistencia al estrés oxidativo puede, al menos en parte, estar asociado a la tolerancia al estrés salino.

Otros estreses importantes son aquellos asociados al cambio climático como el incremento de la temperatura (por incremento de las emisiones de CO_2), cambios en los patrones de precipitaciones y reducción de la radiación solar a nivel de la superficie de la tierra (Asseng et al., 2009). Un sin número de estudios han mostrado una significativa reducción de la radiación solar a nivel de la superficie de tierra durante los últimos 50 años que equivale al 2,7% por década (Pinker et al., 2005).

Las principales causas de la reducción de la radiación global son incrementos en la utilización de aerosoles y otros contaminantes del aire como cambios en las



► **Figura 1.** Contenido de licopeno (mmol/100 g PF de fruto) de frutos del primer racimo en dos genotipos de tomate bajo condiciones de estrés salino al término del periodo experimental. Cada valor representa promedio \pm SE (n = 5). *nd: no detectado.

propiedades ópticas de las nubes. Este tipo de cambios puede reducir la productividad agrícola por efectos negativos en la intercepción de la radiación solar durante el ciclo del cultivo y la tasas de fotosíntesis de las hojas. Otro componente de la radiación que está cambiando son las ondas de la radiación UV-B (280-320 nm), que alcanzan la superficie de la tierra (Madronich et al., 1995).

Existen evidencias que la radiación UV-B en el sur de Chile son mayores que aquellas zonas de las mismas latitudes de este hemisferio y a las correspondientes latitudes del hemisferio norte, produciendo una mayor dificultad para la producción de cultivos en Chile. Por ejemplo en nuestro país, sería necesario mejorar el conocimiento de las bases de la tolerancia al estrés luminoso en zonas templadas y avanzar en la identificación de caracteres beneficiosos para el mejoramiento de cultivos como el tomate y la papa. En este contexto, recursos genéticos nativos poseen grandes ventajas en la búsqueda de caracteres fisiológicos para el mejoramiento de plantas. Por ejemplo, en el caso de la papa crecida en el sur de Chile, específicamente en la isla de Chiloé, provee una gran diversidad de papas nativas usadas hasta ahora en el desarrollo de nuevas variedades.

El germoplasma nativo posee una ventaja de ser bien adaptada a las condiciones climáticas en el cual se desarrollan. Por ejemplo genotipos de papa de Chiloé han sido cultivados y desarrollados por siglos bajo condiciones de baja radiación en relación a otras latitudes donde la papa crece, y genotipos específicamente colectados en zonas de sotobosque pueden ser adecuados candidatos para obtener caracteres tolerantes a radiación incidente limitada. Un especial carácter del germoplasma nativo es el amplio de colores de los tubérculos, asociados con una alta concentración de compuestos fenólicos como caratenoides y antocianinas.

La concentración, localización (pulpa y piel) y la capacidad antioxidante de estos compuestos puede ser esencial en la obtención de alimentos con atributos saludables en el caso de la papa. Adicionalmente, la síntesis de compuestos fenólicos es ampliamente reconocidos como una estrategia de tolerancia a los diversos estrés, incluyendo el de la radiación de UV-B. Tolerancia al UV-B y otros estrés normalmente es asociada con la capacidad de síntesis de estos metabolitos en respuesta al estrés, sin embargo altos niveles constitutivos puede conferir una más efectivo y estable sistema de defensa contra el estrés oxidativo producido por el incremento del UV-B. Este y otros caracteres de calidad saludable como la composición del almidón han sido menos estudiados en papa nativa como el efecto

que podría tener la baja radiación o altos niveles de radiación UV-B. En general, otros estreses ambientales, tales como la baja y alta temperatura presentan el mismo modelo descrito para la sequía, salinidad y alto UV-B. Aunque se piensa que los RL pueden estar involucrados estrés por frío asociado a luminosidad, evidencias moleculares y bioquímicas se presentaron para indicar que la baja temperatura también produce estrés oxidativo en plántula de maíz crecidas en oscuridad durante un tratamiento de frío.

Propiedades antioxidantes de las plantas cultivadas: Hortalizas y Frutas ◀

Los antioxidantes son moléculas que neutralizan el daño oxidativo inducido por las especies reactivas que incluyen a los radicales libres (RL). Los RL representan cualquier especie química (átomo o molécula) que contenga uno o más electrones desapareados en su orbital más externo, y que sea capaz de existir en forma independiente. En hortalizas, las propiedades de los antioxidantes como carotenos (CARs), compuestos fenólicos y vitaminas y su capacidad antioxidante han sido ampliamente estudiadas en los últimos años, especialmente por sus atributos funcionales para disminuir los riesgos de ECNT. Por ejemplo en papa, las propiedades de los carotenos (CARs), compuestos fenólicos, vitaminas y la capacidad antioxidante ha sido de mucha atención. Diferentes cultivares de papa han mostrado excepcionalmente altos contenidos de antioxidantes y diferencias significativas en beta-caroteno, alfa-tocoferol, vitamina C, contenidos totales de compuestos fenólicos y flavonoides.

Carotenos. Los carotenos (CARs) son ampliamente encontrados en la naturaleza. Aunque los CARs son típicamente visualizados como pigmentos de color en hortalizas, frutas y flores, estas moléculas también pueden ser detectadas en el reino animal, como también en algas y algunas bacterias. CARs son componentes esenciales de las membranas fotosintéticas en plantas y algas, aunque ellas no son usualmente visualizadas en el tejido verde ya que son enmascaradas por la clorofila. Los animales son incapaces de sintetizar CARs de novo, y por lo tanto la dieta alimenticia es su principal fuente de estos compuestos. Alrededor de 500 CARs han sido identificados en hortalizas y frutas, todos ellos se relacionan con diversas funciones en el ciclo de la plantas. Diversas funciones biológicas pueden ser atribuidas a los CARs, incluyendo los pigmentos auxiliares de la fotosíntesis, antioxidantes, estabilizadores de membrana y precursores de fitohormonas. Aparte de las característica de calidad basadas en aspectos saludables, los CARs son importantes ya que poseen un elevado valor industrial usado para los alimentos y concentrados “feed stuffs” (e.g. zeaxantina





y astaxantina), cosméticos y productos farmacéuticos. Los carotenos se encuentran en zanahoria, tomate, choclo, brócoli, espinaca, porotos y acelga. Entre los carotenoides más importantes en las hortalizas están el beta-caroteno y el licopeno (LYC). El beta caroteno juega un importante rol como antioxidante en la dieta (Wurbs et al., 2007) similares a otros CARs que contienen un sustituto “beta-ionone rings” (Rosati et al., 2000). La deficiencia en la vitamina A (DVA) es el principal problema de salud pública en más de 75 países en vía de desarrollo. Suplemento de Beta-caroteno en la dieta en aquellas áreas de riesgo de DVA disminuye la morbilidad, condición asociada a diversas patologías metabólicas (Rosati et al., 2000). El beta-caroteno es un pigmento característico de la zanahoria y el choclo, que cumple su rol antioxidante y evita DVA y aquellas patologías asociadas a esta deficiencia. El LYC es el principal compuesto que influencia la percepción inicial del consumidor y también el principal caroteno acumulado en tomate. Un elevado nivel de LYC en la dieta han sido asociado con disminuciones en los riesgos de enfermedades crónicas no transmisibles, y cáncer a la próstata. Se cree que la mayor fuente en la dieta de LYC son los tomates y productos derivados de este.

Polifenoles. Son compuestos sintetizados por las plantas durante el desarrollo normal en respuesta a condiciones de estrés. En plantas, los compuestos fenólicos pueden actuar como fitoalexinas, antialimentarios, atrayentes para los polinizadores, contribuidores a la pigmentación de la planta, antioxidantes, y agentes protectores contra la luz UV, entre otros. En alimentos, los fenoles pueden contribuir a la amargura, astringencia, color, sabor, olor, y estabilidad antioxidante del alimento.

Los polifenoles son normalmente encontrados en formas conjugadas, mayormente con moléculas de azúcar, y asociado con la mayor parte de las paredes celulares de la plantas. El interés de los polifenoles como antioxidante se focaliza en los flavonoides, los cuales forman una larga familia de compuestos fenólicos de bajo peso molecular, que se producen naturalmente en tejidos de plantas e incluye a los flavonoles, flavonas, flavonones, catequinas, antocianinas, isoflavonoides, dihydroflavonoles y estilbenos.

En general los flavonoides tienden acumularse en las capas celulares exteriores del órgano vegetal expuestos a la luz solar y protege los compuestos fotosintéticos de la autooxidación. Los polifenoles se encuentran en frutos, nueces, semillas y flores y son consumidos en la dieta del ser humano. Diversos flavonoides han sido descritos en diferentes variedades de tomate, muchos de ellos de la subclase flavonoles, que se presentan como aglicones o glicosidos. En contraste a los toma-

tes frescos, la mayoría de los productos derivados del tomate, como salsas, pastas y jugos contienen cantidades significativas de flavonoles libres. El contenido de flavonoles, generalmente, depende de la variedad de tomate, tamaño, y lugar de origen, siendo la luz uno de los principales factores ambientales que participa en la síntesis de flavonoles. Alrededor del 98% de los flavonoles detectadas en variedades de tomate fresco, se encontraron en la cáscara de tomate. Basado en este tipo de estudios, existe un gran interés sobre el desarrollo de cultivos para uso industrial y el incremento de los niveles de polifenoles. Los flavonoides en el género *Alliums* han sido descritos con una significativa actividad anticancerígeno y antitrombótica. En cebolla, el flavonoide primario es la quercetina, que se encuentra en una mayor cantidad hacia el exterior del bulbo. Las cebollas rojas tiene un mayor contenido de quercetina que las cebollas amarillas; y a su vez las amarillas tiene una mayor cantidad que las cebollas blancas. Diversos flavonoides han sido reportados en diferentes genotipos de papa, muchos de ellos de la subclase flavonoles, presentes como glicones o glicosidos.

Tocoferol. α -tocoferol (Vitamina E). La vitamina E es el antioxidante más potente a nivel de la fase lipídica debido a que es un compuesto liposoluble. En consecuencia, uno de sus roles biológicos esenciales es prevenir o inactivar la lipoperoxidación a nivel de las membranas celulares, debido a que en esta estructura se concentran altas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados que son muy sensibles a la oxidación. Otro lugar de acción es su incorporación a las lipoproteínas disminuyendo su oxidación y de esta forma evitando la formación de células espumosas y en consecuencia la aterosclerosis. Se encuentra principalmente en las hortalizas de hoja verde. Cuando actúa como antioxidante se oxida y es regenerada su forma activa por la vitamina C. Este es un buen ejemplo de sinergismo antioxidante entre compuestos bioactivos que se encuentran presentes en las hortalizas.

Vitaminas (C). La Vitamina C, incluye tanto el ácido ascórbico y el ácido dehidroascórbico, el cual representa una importante protección contra el daño oxidativo que se incrementa con la respiración y maduración del fruto. La Vitamina C se encuentra en todos los tejidos de plantas, pero principalmente en las células fotosintéticas y meristemas (y algunos frutos). Cerca del 30 al 40% del total de la vitamina C ha sido documentadas en los cloroplastos y estroma con concentraciones alta cercanas a 50 mM (Foyer y Doctor, 2005). Es también importante para la vida ya que juega distintos roles fisiológicos; puede sintetizarse en plantas y por un vasto número de mamíferos, pero no por humanos. Las principales fuentes de Vitamina C en hortalizas son el espárrago, espinacas, brócoli, repollo pimiento, tomate, y coliflor entre las más importantes. En el caso del

tomate, la Vitamina C es relativamente estable debido a las condiciones ácidas encontradas en el tejido del fruto.

Otras propiedades importantes de las hortalizas y frutas ◀

Colorantes. Las betalainas son colorantes naturales, que pueden actuar como estabilizadores y antioxidantes. Una hortaliza que poseen bastantes betalainas son las betarragas y algunos repollos de color entre otras hortalizas.

Diuréticos. Cinarina es reconocida que tiene un efecto diurético. La alcachofa es una hortaliza, en la cual se encuentra este compuesto.

Prebióticos. Son sustancias no digeribles por el hombre que forman parte de los alimentos y por lo tanto están integrados al concepto de fibra dietética. Benefician al huésped, estimulando de forma selectiva el crecimiento y/o actividad de bacterias intestinales que son beneficiosas para la salud gastrointestinal. Por el momento los únicos datos relevantes se refieren a los fructanos tipo inulina (oligosacáridos no digeribles: hidrolizados enzimáticos de la inulina, oligofruetosacáridos (C_{12-10})) y los almidones resistentes. Se señalan acciones favorables de los prebióticos con respecto al estreñimiento, las diarreas por infección, la osteoporosis (al incrementar la disponibilidad del calcio), arteriosclerosis y enfermedad cardiovascular (al corregir la dislipemia y la resistencia a la insulina), obesidad, diabetes mellitus tipo 2 y disminuye el riesgo de desarrollar cáncer. La mayoría de la producción industrial procede de la achicoria. De forma natural se presentan en hortalizas como la cebolla, el ajo, alcachofa de Jerusalén y los puerros.

Tomate un alimento saludable ◀

Las hortalizas se consideran como alimentos saludables, al aportar vitaminas, minerales y antioxidantes a la dieta.

Una hortaliza que cumple con estas características es el tomate. El tomate es una de las hortalizas más importante en el mundo, ya que es utilizada en la alimentación humana y es atractiva para los requerimientos de una dieta balanceada. El tomate contiene



► **Tabla 1.** Algunas hortalizas saludables y principales compuestos bioactivos que poseen y función.

	Alimento saludable	Compuesto bioactivo	Función
Alcachofa	si	Cinarina Inulina	La cinarina presenta una elevada acción diurética. La inulina es prebiótico que ayuda a la digestibilidad de los alimentos.
Ají	si	Capsaicina	La capsaicina se usa para ayudar a aliviar un cierto tipo de dolor llamado neuralgia. La capsaicina también se usa para aliviar el dolor de la osteoartritis o de la artritis reumatoidea.
Betarraga	si	Betalainas	Colorantes naturales, que pueden actuar como estabilizadores y antioxidantes.
Brocoli	si	Glucosinatos	Menor predisposición a padecer ciertas enfermedades degenerativas como cáncer y enfermedades cardiovasculares. Posee antioxidantes naturales (vitaminas A, C, E y K), los folatos y compuestos fenólicos, además de minerales esenciales para la salud.
Cebolla	si	Quercitina	Es un tipo de flavonoides, disminuye el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles como el cáncer. Además presenta compuestos órgano-sulfurados que previene el asma y ejercen una actividad anti-plaquetaria.
Choclo	si	Beta-carotenos	Antioxidante, se evita la deficiencia de la Vitamina A y aquellas patología asociadas a esta deficiencia.
Tomate	si	Licopeno	Antioxidante que previene las enfermedades crónicas no transmisibles y disminuye el riesgo de desarrollar cáncer a la próstata.
Zanahoria	si	Beta-carotenos	Antioxidante, se evita la deficiencia de la Vitamina A y aquellas patología asociadas a esta deficiencia.

una serie de compuestos beneficiosos para la salud y puede ser fácilmente incorporado en la nutrición diaria. A parte del consumo fresco, el tomate es usado en distintos tipos de preparaciones: sopas, jugos, salsas, pizzas y pastas entre otras comidas. El tomate es también importante como hortaliza funcional, fotoquímica y protectora ya que se caracteriza por presentar diferentes compuestos e ingredientes beneficiosos para la salud. En primer término, el tomate contiene diversos carotenos, siendo la principal fuente el licopeno. En segundo término, presenta un contenido beta caroteno menor que de licopeno. Las capacidades antioxidantes del licopeno y b-caroteno (b-CAR) son probablemente el mecanismo por el cual los tomates disminuyen el riesgo de algunas enfermedades relacionadas con la producción de ROS. Por ejemplo, se ha descrito que el licopeno reduce el riesgo de cáncer a la próstata. Además del licopeno y b-caroteno, en el tomate se encuentran compuestos fenólicos, los que también contribuyen al valor nutricional del tomate y mejorar los atributos de calidad sensorial. Dependiendo del cultivar, pueden diferir en los contenidos y los patrones de comportamiento de los distintos antioxidantes. Las vitaminas C y E (vitamina C y E) son en la naturaleza probablemente los antioxidantes más comúnmente encontrados. Existe una evidente convicción que una dieta rica naturalmente en la presencia de fitoquímicos es más efectiva que el consumo de sustancias simples debido a las interacciones sinérgicas. Por lo tanto, el consumo de tomates naturales es más beneficioso para

la salud que el consumo de solo licopeno, beta-caroteno, polifenoles o vitamina C.

El tomate es una de las más importantes hortalizas en el mundo que contribuye a los requerimientos de una dieta saludable. El incremento de la demanda natural de antioxidantes, en paralelo con la introducción de nuevas tecnologías que proporcionen altos estándares de calidad del fruto, justifica el mejoramiento de los atributos sensoriales y el aumento de los niveles de antioxidantes. Para el consumidor actual es imprescindible que el tomate mejore sus atributos sensoriales (sabor y color) y que presente mejores propiedades saludables. El consumo de tomate permite que una serie de compuestos beneficiosos para la salud puedan fácilmente ser incluidos en la dieta diaria. Los tomates contienen diversos carotenos (CARs) en el fruto, siendo el licopeno la principal fuente de antioxidante. La capacidad antioxidante del licopeno y beta-caroteno son probablemente el mecanismo de acción de los tomates que previenen enfermedades asociadas a la dieta, específicamente reduciendo las especies de oxígeno reactivos (ROS). El licopeno ha sido asociado a una reducción del riesgo de cáncer a la protasta. Por otro lado, los compuestos polifenólicos contribuyen también a darle un valor saludable y mejoran los atributos de calidad sensorial. El desarrollo de que incrementen los buenos atributos sensoriales y la elevada capacidad antioxidante debe ser incorporado en programas de investigación aplicada dirigidos a cumplir este propósito.

Salinidad y calidad de fruto en tomate

Salinidad. La salinidad es uno de los factores abióticos más severos que limitan la productividad de los cultivos. De acuerdo a la FAO (2010), entorno al 6% de la superficie mundial está afectada por la salinidad o altos contenidos de sodio. Muchos de estos terrenos no son cultivados, pero una proporción de terrenos cultivados están afectados por la salinidad. De 230 millones de ha de terrenos bajo condiciones de riego, 45 millones han están afectadas (19,5 %) y de 1500 millones ha bajo agricultura de secano, 32 millones ha presentan problemas por la salinidad en sus diferentes grados (2,1%). La salinidad inhibe el crecimiento y productividad de la planta por dos razones principalmente. En primer lugar, la presencia de sales en la solución-suelo reduce la capacidad de la plantas de absorber agua, lo que conlleva a reducciones de las tasas de crecimiento. Este efecto se refiere al componente osmótico producido por las sales disueltas en la solución suelo. En segundo término, al daño producido por la toxicidad específica de la sal o el exceso del ión en condiciones de salinidad. El daño se produce por excesivas cantidades de sales que entran a la planta vía corriente transpiratoria, las cuales son transportados hacia la hojas, produciendo una quemazón marginal de la hoja e incluso se puede producir fuertes reducciones de crecimiento y productividad. En el caso de cultivos de tomates crecidos en condiciones de salinidad se produce daño a largo plazo ya que este se relaciona principalmente a una excesiva acumulación de Na y Cl en las hojas. Se ha observado una estrecha correlación entre el incremento del contenido de sodio en las hojas y la reducción del rendimiento. Sin embargo, la elección de especies vegetales que estén equipadas con mecanismos de protección no enzimático y enzimas antioxidantes, podría reducir el daño celular bajo condiciones de estrés oxidativo. Por otra parte, estos mecanismos de protección utilizados por la planta, pueden ser considerados atributos beneficiosos para la salud humana, ya que, por ejemplo, la producción de compuestos antioxidantes en los frutos de tomate, podrían ser consumidos a través dieta diaria de este alimento por el hombre. En la actualidad, el consumidor requiere una dieta balanceada y alimentos saludables que cumplan un rol beneficioso para la salud humana tal como la prevención y protección contra enfermedades crónicas



y dis-funcionales. El tomate posee distintos atributos beneficiosos para la salud humana, tales como la capacidad antioxidante de algunos compuestos que posee el fruto, seleccionando variedades que posean altos niveles de estos compuestos o incrementándolos sometiendo los

cultivos como el tomate a condiciones de salinidad. En tomate los principales compuestos antioxidantes son carotenos y fenoles, siendo el licopeno uno de los compuesto más importantes. Las capacidades antioxidantes de los carotenos son probablemente el mecanismo por el cual los tomates previenen algunas enfermedades relacionadas con la producción de especies de oxígeno reactivo y reducen el riesgo de cierto tipos de cáncer como el de la próstata. Además el tomate posee compuestos fenólicos que contribuyen al valor nutricional y mejorar los atributos de calidad sensorial. Como muchos de los productos saludables pertenecen al sistema de defensa de la planta, la aplicación de estreses controlados en plantas puede probablemente incrementar la concentración de componentes deseables. En tomate, la elección de genotipos con un buen sabor y un alto contenido y capacidad antioxidantes debería ser un propósito para programas de mejoramiento a largo plazo con el objetivo de obtener variedades con atributos sensoriales favorables y características beneficiosas y saludables para la salud.

Manejo de la salinidad y calidad de fruto. El control de la salinidad y la regulación del grado de estrés puede ser una efectiva herramienta agronómica para aumentar la calidad de la fruta en atributos sensoriales y en los contenidos de antioxidantes. Diferentes estudios señalan que la salinidad influye sobre los atributos sensoriales en tomate, y se ha demostrado que NaCl reduce la acidez titulable, los contenidos de potasio y nitrógeno en los frutos y aumenta los contenidos de sodio. El mismo estudio concluyó que el NaCl aumenta el dulzor mejorando sobre todo la intensidad del sabor e incrementando su capacidad antioxidante. Ha sido demostrado que la aplicación de un estrés moderado a plantas de tomate aumenta licopeno y otros antioxidantes en el fruto, con respuestas específicas desde un rango de 30% a 85% de aumento comparada con las plantas no estresadas. El efecto osmótico y el iónico de la salinidad afectan directamente el crecimiento, rendimiento y calidad de la fruta en tomate. En estudios en tomate se ha observado que en una variedad



comercial de tomate cherry, el crecimiento y la productividad se afectan por la salinidad en condiciones hidropónicas. Sin embargo, de acuerdo a resultados preliminares en calidad de fruto, el manejo de la salinidad permitiría a los agricultores mejorar la calidad de la fruta. La pérdida del rendimiento (kg/plant), debería ser compensado por el aumento del precio por el mejoramiento de los caracteres sensoriales (sabor y color), condición interesante para el productor. Resultados preliminares muestran que bajo condiciones de salinidad (alta conductividad eléctrica, CE), el tamaño del fruto se reduce, mientras que el contenido de materia seca del fruto se incrementa. En general, la tasa de reducción de rendimiento varía con las interacciones de los cultivares, factores ambientales, composición de la solución nutritiva, y manejo del cultivo. En tomate diversas investigaciones con estrés salino se ha observado que aumenta la calidad inherente del fruto, vale decir, en los componentes que contribuyen en el sabor y el valor nutricional del tomate. Incrementos de la conductividad eléctrica (CE), provocadas por la adición de NaCl a la solución nutritiva, conduce a altos contenidos en licopeno y b-caroteno, y vitamina C bajo condiciones controladas. La Figura 3 muestra valores de licopeno en tomate cultivado y silvestre. La Figura 1 muestra que el tomate silvestre no presenta cantidades medibles de licopeno, en cambio en tomate cherry se observan concentraciones de licopeno que se encuentran comprendidos entre los límites comunicados para diferentes variedades de tomate; estas concentraciones se elevan al incrementar los niveles de NaCl, demostrando una regulación del contenido de licopeno a un mayor stress salino. La incorporación de un manejo controlado de la salinidad definiendo sus niveles podría ser un efectivo método para aumentar la calidad antioxidante de los tomates.

El manejo agronómico del estrés abiótico tales como el salino, incrementan las propiedades saludables en hortalizas y frutales. La generación de tecnología basada en la aplicación de estrés abiótico controlado sobre plantas de interés agrícola, las cuales pueden incrementar, en ciertas condiciones, las concentraciones de compuesto bioactivos deseables. Una buena aplicación de estas prácticas agronómicas podría definir un método efectivo para mejorar la calidad de los productos vegetales de interés agrícola. Dentro de los atributos que se desea enriquecer a través del manejo agronómico está el contenido de compuesto con propiedades antioxidantes y el del buen sabor, incrementando cualidades sensoriales deseables y a la vez beneficiosas para la salud humana. Investigaciones que puedan proporcionar al agricultor de la región de central y norte de Chile una tecnología apropiada para el manejo de suelos y sistemas agronómicos bajo condiciones de salinidad y estrés hídrico representa un potencial para el desarrollo agrícola y agroindustrial de nuestro país.

Por ejemplo, en el caso de condiciones salinas, esta área de investigación permite ampliar la posibilidad de cultivo en zonas costeras, donde se emplean pozos de riego salinizados por la influencia del mar o aguas de baja calidad de ríos del norte de Chile.

Referencias ◀

Asseng S, Cao W, Zhang W y Ludwig F. (2009). Crop Physiology, Modelling and Climate Change: Impact and Adaptation Strategies. In: Crop physiology: applications for genetic improvement and agronomy. Sadras, V.O. Calderini D.F. (eds.). Academic Press.

Chookhampaeng S, Pattanagul W, Theerakulpisut P (2008). Effect of salinity on growth, activity of antioxidant enzymes and sucrose content in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) at the reproductive stage. *ScienceAsia* 34: 69-75.

FAO. 2010. Land and Plant Nutrition Management Service. www.fao.org/nr/land/en/. Land Resources, Management, Planning and Use.

Foyer CH, Noctor G. 2005. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell and Environ.* 28:1056-1071.

Madronich, S., McKenzie, R.L., Caldwell, M.M., Björn, L.O., (1995). Changes in ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *Ambio.* 24: 143-153.

Pinker, R.T., Zhang, B., Dutton, E.G., (2005). Do satellites detect trends in surface solar radiation? *Science* 308: 850-854.

Rosati C, Aquilani R, Dharmapuri S, Pallara P, Marusic C, Tavazza R, Bovier F, Camara B, Giuliano G. 2000. Metabolomic engineering of beta-carotene and lycopene content in tomato fruit. *Plant J.* 24: 413-419.

Wurbs D, Ruf S, Bock R. 2007. Contained metabolic engineering in tomatoes by expression of carotenoid biosynthesis genes from the plastid genome. *Plant J.* 49: 276-288.

▼
*Se agradece al Proyecto FONDECYT
 N°1090405 por financiar investigación
 básica en tomate y CREAS por su apoyo en
 la postulación a este proyecto.*
 ▲