

I. INTRODUCCION

1.1. MATERIA PRIMA

A escala mundial, el tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. continua incrementando su importancia en el consumo como vegetal fresco y también como componente de muchos alimentos preparados. Su importancia radica en el contenido de minerales y vitaminas, principalmente de ácido ascórbico o vitamina C, considerado como un antioxidante natural (Belitz, 1988).

En general, los miembros del genero *Lycopersicon* toleran un amplio rango de condiciones ambientales y nutricionales. Algunas especies se han cruzado para obtener un gran numero de variedades direccionadas a la producción de cultivos bajo invernadero, para el mercado fresco y de larga vida. En el campo, el tomate es susceptible de cosecharse mecánicamente a través del esfuerzo combinado de trabajadores e ingenieros agrícolas, para producir altos rendimientos y procesado económico.

Los frutos de tomate se utilizan en una amplia gama de productos transformados, enlatados, congelados, conservados o deshidratados; combinados con carnes, pastas, platos preparados, jugos frescos, concentrados, deshidratados, congelados, etc. Por lo tanto, es evidente la importancia económica del tomate en el mercado mundial de los alimentos frescos y procesados. Y en consecuencia, existe una amplia investigación en técnicas de biología molecular e ingeniería genética, para seleccionar los frutos de tomate según la demanda de los diferentes mercados (Hobson, 1993)..

1.2. HISTORIA

El tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill., es un miembro de la familia de las *Solanaceae*, originaria de la parte plana de la costa occidental de América del Sur, desde Ecuador hasta Chile. Allí las corrientes frías del océano moderan las temperaturas significativas del aire. En la época pre-colombina, el tomate aparentemente no era conocido en las Indias occidentales, ya que este vocablo no existía en sus lenguas y no se encuentra ni tradiciones ni vestigios arqueológicos en la región Andina. La domesticación tuvo lugar en México, donde el tomate fue extremadamente popular y las lenguas nativas contiene muchos sinónimos de la palabra tomate.

El tomate fue introducido a España por los conquistadores hacia mediados del siglo XVI. Conocido en tiempos Isabelinos como ‘la manzana del amor’, nombre que tiene dos explicaciones. Cultivos de Sevilla de 1501 tenían frutos amarillos y las semillas fueron transferidas a Marruecos y de allí a Italia hacia y se denominó ‘pomo dei Mori’ o ‘manzana de Moro’ ‘pomodoro’, Y no es difícil imaginar que la corrupta sociedad parisina la denominase ‘la manzana del amor’ y le endilgase propiedades afrodisiacas.

La otra explicación data de 1554, donde frutos amarillos denominados ‘pomo de oro’, ‘mala aurea’ o poma de amor’, sinónimos que persiste hasta bien entrado el siglo XIX. En Italia fue introducida la variedad amarilla (manzana amarilla) (Hobson, 1993). Debido a que pertenecía a una familia de plantas venenosas, el tomate fue considerado por un tiempo como venenoso, lentamente fue aceptado y solo recientemente es considerado como un cultivo alimenticio mayor. A tal punto que actualmente el tomate es considerado como uno de los vegetales más populares y uno de los cultivos de frutas más importantes.

1.3. CLASIFICACIÓN

El tomate pertenece a la familia Solanaceae, y algunos intentos preliminares de clasificación (Hobson, 1993) se han realizado en torno del color del fruto completamente maduro

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. <i>Eulycopersicon</i> | rojo, amarillo o café |
| 2. <i>Eriopersicon</i> | verde o gran parte verde con rayas púrpura |

Citogeneticamente, sin embargo es probablemente mas significativo dividir el género *Lycopersicon* , al cual casi todas las especies de tomate pertenecen, a ‘*L.hirusum-like*’ y ‘*L. peruvianum* and *L. Chilense-like*’. Las divisiones podrían ser:

1. *L. hirsutum-like* (todos los miembros hibridizados-cruzados relavivamente fácil;
L. hirsutum and *L.hirsutum* var *glabratum*.
Solanum pennellii (existe buena evidencia para reclasificación como *L. Pennellii*).
L. sculentum
L. esculentum var *cersiforme*
L. cheesmanii
L. pimpinellifolium
L. parviflorum
L. chmielewskii
Solanum lycopersicoides
2. *L. Peruvianum* and *L chilense-like*
L. Peruvianum
L. Peruvianum var *humifusum*
L. chilense

1.4. PRODUCCIÓN DE TOMATE

Se cultivan principalmente dos tipos de tomate: (i) el determinante, usado principalmente para alimentos procesados y es el tipo comercial al aire libre, más importante en USA. Tiene un período de florecimiento limitado, seguido por un periodo de desarrollo del fruto. (ii) el tomate indeterminado, ampliamente utilizado para la producción de frutos frescos en invernadero y jardines caseros, produce inflorescencias y flores continuamente durante todo el tiempo de vida de la planta. Como resultado, la producción total de los cultivares indeterminados usualmente no se ve afectada por la iniciación de la florescencia.

Por otro lado, dada su importancia económica, el tomate es un material ideal para investigaciones fisiológicas, celulares, bioquímicas y de genética molecular. Es de fácil cultivo, tiene un ciclo corto de vida y es sensible a manipulaciones hortícolas, incluyendo injertos o cortes. Un gran número de genes han sido descritos y asignados a sitios específicos de 12 cromosomas. Actualmente se dispone de numerosos mutantes. En las últimas décadas, estos mutantes han jugado un papel preponderante en los estudios fisiológicos que en un futuro podrían incrementar el conocimiento de sus defectos bioquímicos. (Kinet, 1997)

Durante los últimos 25 años, la producción de tomate ocupa el tercer lugar de la producción mundial de frutas, luego de las uvas y los cítricos; ha sobrepasado a la del banano y las pomos. En términos de peso de cultivo anual en 1993 la producción mundial de tomate fue de 70 millones de toneladas métricas, superior a las bananas, las pomos, naranjas y uvas (FAO, 1994).

Los principales productores de tomate son USA, Rusia, Turquía, China, Egipto e Italia. Aproximadamente del 60 al 65% de la producción total de tomate es destinada al procesamiento y se concentra en dos regiones principalmente, California e Italia.

Los cultivos son de fácil crecimiento, perenne, determinado o indeterminado como se había mencionado (dependiendo de la variedad), tolerante a un amplio rango de condiciones ambientales y nutricionales. La calidad y producción del tomate, especialmente bajo condiciones de invernadero, se ha incrementado considerablemente en los últimos 25 años, debido al conocimiento de las interacciones entre genotipo, nutrición y medio ambiente. Ahora son muy comunes las variedades larga vida, cultivadas o bajo invernadero, tales como las variedades que se analizan en el presente investigación, Alcudia, Daniela, y Rocio (Hobson, 1993; Kinet 1997).

1.5. COMPOSICIÓN DEL TOMATE

El tomate suministra abundante vitamina C como fruta fresca (Tabla 1). El balance entre el contenido de agua y varios constituyentes en el tomate maduro, depende del genotipo, el medio ambiente en el cual crecieron las plantas, el tratamiento nutricional y en menor importancia, la naturaleza del tratamiento postcosecha

1.6. ACIDO ASCÓRBICO (VITAMINA C) Y ENZIMAS RELACIONADAS.

Estrictamente hablando, la vitamina C no es un ácido, ya que su molécula no posee un grupo carboxilo libre; en realidad es una lactona que se comporta como ácido y por lo tanto se considera como tal.

Puesto que el ácido ascórbico sufre reacciones de oxidación reversible a ácido dehidroascórbico, esta vitamina desempeña un papel importante en reacciones metabólicas de oxidorreducción tales como en la síntesis de catecolaminas, hidroxiprolina y corticosteroides (11- β -hidroxilación de desoxicorticosterona, 17- β -hidroxilación de corticosterona). Se absorbe completamente y se reparte por todo el organismo; sin embargo,

Tabla 1. Composición típica de un cultivar de frutos de tomate,
Lycopersicon esculentum Mill., maduro.

Componente	Cantidad (por 100 g de fruto fresco)	
	(1)	(2)
Energía (kcal)	17	
Energía (kJ)	73	
Nutrientes Principales		
Proteínas (g)	1,0	
Grasas totales (g)	0,2	
Grasas	trazas	
Carbohidratos metabolizables (g)	2,9	
Fibra (g)	1,8	
Agua (g)	93,8	
Colesterol (mg)	0	
Sólidos solubles totales (°Brix, %sacarosa)		4,5
Acido cítrico		0,2
Acido málico		0,2
Minerales		
Sodio (mg)	6	
Potasio (mg)	297	
Calcio (mg)	13	
Fósforo (mg)	27	
Magnesio (mg)	20	
Hierro (mg)	0,5	
Flúor (mg)	0,02	
Níquel (µg)	23	
Trazas de		
Yodo (µg),	2	
Cinc (µg)	240	
Cobre (µg)	90	
Manganeso (µg)	140	
Cromo(µg)	5	
Selenio (µg)	1	
Vitaminas		
A (Retinol µg)	133	
E (Tocoferol, mg)	0,8	
B ₁ (Tiamina, mg)	0,06	
B ₂ (Riboflavina, mg)	0,04	
B ₃ (Niacina, mg)	0,6	
B ₆ (Piridoxina, mg)	0,10	
C (Acido ascórbico),	24	
Acido fólico (µg)	25	
Vitamina K (µg)	8	
Otros		
Purinas (ácido úrico, mg)	10	

Fuente: (1) Ibrahim, et al. 1997. La gran guía de la composición de los alimentos. Quinta edición, editorial Cayfosa, Barcelona, España, Pág.:60, 61, 70-72, 74, 78

(2) Hobson, G., and Grierson, D.1993. Tomato. En: Biochemistry of Fruit Ripening. Edited by G. Seymour, J. Tqaylor and G. Tucker. Published by Chapman & Hall, London. Pág.: 413.

Su deficiencia produce la enfermedad llamada escorbuto, que en sus etapas avanzadas hace al individuo susceptible de contraer infecciones. Las frutas cítricas y los vegetales son muy buena fuente de ácido ascórbico.

La transformación de ácido ascórbico en dehidroascórbico y productos subsiguientes varía con las condiciones existentes, siendo el factor de mayor influencia la presión parcial de oxígeno, el pH, la temperatura, los iones de metales pesados, especialmente el Cu^{2+} y el Fe^{3+} , que producen grandes pérdidas de vitamina C. En presencia de aminoácidos, los ácidos ascórbico y dehidroascórbico pueden dar lugar a reacciones tipo Maillard (Belitz, 1988; Badui, 1986).

Además de la importancia nutricional la determinación y cuantificación del ácido ascórbico presente en frutos y concretamente en tomate, radica en que el ácido ascórbico es un componente nutricional muy afectado por los procesos de postcosecha y transformación y su retención es utilizada como parámetro de retención de otros nutrientes (Nelson, 1972, Klein et al., 1981). Dentro de los métodos cuantitativos para determinar ácido ascórbico en alimentos y productos alimenticios se encuentran los del AOAC: visual y fluorométrico (AOAC, 1980), un método por cromatografía de gases (Schlack, 1974), un método polarográfico (Jadhav et al., 1975) y también se reportan métodos por HPLC de intercambio iónico, y utilizando detectores ultravioleta o electroquímicos (Sood et al., 1976; Augustin et al., 1981; Tsao & Salimi, 1982; Kneifel & Sommer, 1985; Margolis & Black, 1987).

Puesto que el ácido ascórbico es susceptible de rápida oxidación cuando se expone al aire, muestras de vegetales frescos, procesados y congelados se trataron con soluciones protectoras tales como EDTA (Ashoor et al., 1984; Pérez et al., 1997), ácido metafosfórico (Behrens y Madère, 1987; Behrens y Madère, 1989; Moretty et al., 1998), ditiotreitol (Glensler et al., 1995).

Utilizando cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), Sood et al., (1976) reportan un método de análisis de ácido ascórbico, utilizando una columna de intercambio iónico en fase reversa; la muestra fue sometida a extracción con ácido fosfórico, filtración posterior y centrifugación; luego se pasa a través de un filtro Millipore (0.45 μm) y se inyecta en el HPLC (Augustin et al., 1981).

Estudios realizados durante diferentes estadios de maduración de pimiento dulce (Imahori et al., 1998) evidenciaron que el contenido de ascorbato se incrementa durante todo el tiempo de maduración, mientras que la concentración de dehidroascorbato se mantiene constante; el seguimiento del comportamiento de la enzima ascorbato peroxidasa (APOX) mostró un incremento durante los días iniciales de la maduración para decaer a medida que los frutos entraban en la etapa de senescencia.

El comportamiento de ácido ascórbico en frutos de algunas variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tales como Gabriela, Brillante, Daniela, Batseva, Rita y Ariana fue analizado durante su almacenamiento a dos temperaturas, 20°C y 5°C. Las variedades Batseva y Rita presentaron un comportamiento incremental lineal durante las dos primeras semanas, al cabo de la cual se obtuvo el máximo de concentración de ácido ascórbico, para luego descender en la tercera semana y volver a aumentar su concentración en la cuarta semana de conservación (Valenzuela et al., 1999). En el caso de las variedades Brillante, Gabriela, Ariana y Daniela presentaron un descenso en la concentración de ácido ascórbico al cabo de la primera semana de conservación a 20°C para luego aumentar permanentemente hasta el final de la maduración e inicio de la senescencia a la cuarta semana.

En este mismo sentido frutos de tomate (*L. esculentum* Mill.) evidencian un aumento significativo de la concentración de ácido ascórbico en frutos madurados en postcosecha, respecto de aquellos madurados en la planta (Giovanelli et al., 1999).

Las enzimas peroxidasas pertenecen a la familia de las isozymas que catalizan muchas reacciones similares. Todas estas enzimas contiene idénticos grupos hemo pero difieren en la composición de la glicoproteína. Las peroxidasa se encuentran en muchos vegetales tales como papa, zanahoria, tomate, kiwi, coliflor y muchos otros consumidos en la dieta diaria. Normalmente, las peroxidasas, aumentan su actividad y número durante los procesos de maduración. Thomas et al. (1981) encontraron 5 isozimas en frutos de tomate.

Por su parte, Préstamo y Manzano (1993) analizaron la peroxidasa en papa (*Solanum tuberosum* L.; zanahoria, *Daucus carota* L.; tomate, *L. esculentum* Mill.; kiwifruit, *Actinidia deliciosa* (A. Chev.); coliflor, *Brassica olearacea*; habichuela verde, *Phaseolus vulgaris*; y rabano picante, *A Armoracia rusticana*. En todos los casos, la actividad peroxidasa fue inhibida por el ácido ascórbico. Por lo que los autores concluyeron que, productos con alta actividad peroxidasa, deben ser inactivados o tratados con antioxidantes para disminuir la actividad isoenzimática. Frutos y vegetales con baja actividad peroxidasa y conteniendo isoenximas de bajo peso molecular no necesitan tratamientos de inactivación. Por est razón, las zanahorias pueden ser almacenadas a -18°C y 9 meses después son productos congelados aceptables, sin necesidad de escaldado ni adición de antioxidantes (Espinosa et al., 1984). En el caso del kiwi, se obtuvieron resultados similares (Cano et al., 1989). Los frutos de tomate maduro demostraron actividad peroxidasa en el estado verde, la cual se incrementa a medida que la maduración progresa hasta los últimos estadios .