

**INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE DESHIDRATACIÓN
EN LOS NIVELES DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE DEL TOMATE CHERRY (*Lycopersicon
esculentum* var. *cerasiforme*)**

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

Alumna:
Ing. Irene Peinado Pardo

Directora:
Dra. Ana Andrés Grau

Tutora:
Lcda. Ana Heredia Gutiérrez

Centro:
IU-IIAD

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE DESHIDRATACIÓN EN LOS NIVELES DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL TOMATE CHERRY (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)

Peinado, I., Heredia, A. y Andrés, A.

RESUMEN

Mitades de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) fueron sometidas a diversos tratamientos combinando diferentes técnicas de deshidratación (Deshidratación osmótica, Secado convectivo y Secado combinado aire caliente y microondas) hasta alcanzar dos niveles de humedad final del producto, un nivel medio (60 %) y un nivel bajo (30 %) con el fin de evaluar el efecto de las variables de la operación sobre los componentes con actividad antioxidante presentes en el fruto del tomate. En concreto, se estudió el efecto de un tratamiento osmótico previo, la temperatura del aire de secado (40, 55 y 80° C) y la potencia de microondas incidente (0, 1 y 3 W/g) sobre el contenido en ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, licopeno y β -caroteno, así como sobre la actividad antioxidante de las fases liposoluble e hidrosoluble. Los resultados obtenidos mostraron tendencias diferentes en la concentración de los distintos compuestos tras la operación de deshidratación en función de las diferentes variables de proceso. En el caso de los componentes hidrosolubles, la aplicación de la operación de deshidratación con y sin tratamiento osmótico previo, indujo una pérdida significativa de dichos compuestos (ácido ascórbico y fenoles totales). Mientras que, la aplicación de un pretratamiento osmótico favoreció la síntesis de componentes liposolubles (licopeno y β -caroteno) y previno su posterior oxidación durante el secado. En relación al efecto del resto de variables de secado sobre el contenido en licopeno y β -caroteno, los mayores contenidos fueron obtenidos en muestras pretratadas y secadas a 80 °C y 3 W/g.

RESUM

Meitats de tomaca cherry (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) foren sotmeses a diversos tractaments combinant tècniques diferents de deshidratació (Deshidratació osmòtica, Assecat convectiu i Assecat combinat aire-microones) fins assolir dos nivells d'humitat final del producte, un nivell d'humitat mitjà (60 %) i un nivell baix (30 %) amb la finalitat d'avaluar l'efecte de les variables de l'operació sobre els components amb activitat antioxidant presents en el fruit de la tomaca. En concret s'estudià l'efecte d'un tractament osmòtic previ, de la temperatura de l'aire d'assecat (40, 55 i 80 °C) i de la potència de microones incident (0, 1 i 3 W/g), sobre el contingut en àcid ascòrbic, compostos fenòlics totals, licopè i β -carotè, així com la activitat antioxidant de les fases liposoluble i hidrosoluble. Els resultats obtinguts mostraren tendències diferents en la concentració dels diversos compostos segons les variables del procés. En el cas dels components hidrosolubles, l'aplicació de l'operació de deshidratació amb o sense tractament osmòtic previ, va induir una pèrdua significativa dels compostos esmentats (àcid ascòrbic i fenols). Mentre que, l'aplicació d'un pretractament osmòtic va afavorir la síntesi de components liposolubles (licopè i β -carotè) i va previndre la seua oxidació durant l'assecat. Quant a l'efecte de la resta de variables d'assecat sobre el contingut en licopè i β -carotè, els majors continguts s'obtingueren en mostres pretractades i seques a 80 °C i 3 W/g.

ABSTRACT

Cherry tomato halves (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) were submitted to diverse treatments combining different dehydration technologies (Osmotic dehydration, convective drying and combined drying air and microwaves) until two levels of product final moisture were reached, an intermediate level (60 %) and a low level (30 %) in order to evaluate the effect of the process variables on antioxidant components found in tomato fruit. Concretely, the effect of a previous osmotic treatment, the drying air temperature (40, 55 and 80 °C) and the incident microwave power (0, 1 and 3 W/g) on ascorbic acid content, total phenolics, lycopene, β -carotene, and antioxidant activity of lipophilic and hydrophilic phase were studied. The obtained results showed different trends in the different compound's concentrations after drying because of the process variables. When hydrosoluble compounds were studied, the drying process with or without previous osmotic dehydration, resulted on a significant loss of these compounds (ascorbic acid and phenolics). On the other hand, the application of a previous osmotic dehydration treatment helped liposoluble compounds synthesis (lycopene and β -carotene) and avoided their oxidation during drying. Related with the rest of drying variables on lycopene and β -carotene contents, the highest values were obtained when samples were dried at 80 °C and 3 W/g, after pre-treatment.

Palabras clave: deshidratación osmótica, secado combinado aire caliente y microondas, carotenoides, fenoles, ácido ascórbico, actividad antioxidante.

INTRODUCCIÓN

Los antioxidantes son compuestos que inhiben la oxidación de determinadas moléculas mediante la inhibición de la iniciación o propagación de reacciones desencadenantes de daño oxidativo (Velioglu *et al.*, 1998; Javanmardi y Kubota, 2006). Las frutas y hortalizas constituyen una fuente rica de antioxidantes naturales, puesto que contienen una amplia variedad de componentes que presentan acción protectora contra radicales libres que se forman en ciertas reacciones químicas. Estudios epidemiológicos recientes han asociado dichos compuestos con la reducción de varias enfermedades crónicas como, enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, Alzheimer, cataratas, así como desgaste de determinadas funciones relacionadas con la edad entre otros beneficios para la salud (Cao *et al.*, 1996; Cohenistal *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2000; Knekt *et al.*, 2002; Zhang y Hamazu, 2004).

Actualmente, se ha producido un aumento de la demanda de productos alimentarios *ready-to-use*, que presenten beneficios para la salud similares a los beneficios que presentan los alimentos frescos (Dewanto *et al.*, 2002). El procesado de estos productos implica una serie de cambios en sus características físicas y químicas, así como en el valor nutritivo del producto (Sukhwant *et al.*, 1992; Zhang y Hamazu, 2004).

Debido a su elevado consumo, el tomate constituye una fuente importante de compuestos antioxidantes (Raffo *et al.*, 2006). En un estudio concreto sobre alimentos ricos en vitamina C, vitamina E y carotenoides específicos llevado a cabo en España por García-Closas *et al.* (2004), los tomates resultaron ser la fuente más rica de licopeno (71,6 %), segundo alimento como fuente de vitamina C (12,0 %), pro-vitamina A (14,6 %) y β -caroteno (17,2 %), y tercer alimento como fuente de vitamina E (6,0 %). Este estudio resaltó el elevado consumo regular de tomate fresco y procesado en comparación con otras frutas y hortalizas, y por lo tanto su relevancia como fuente diaria de antioxidantes en España y otros países de la cuenca mediterránea. En Italia por ejemplo, el tomate es la hortaliza más consumida con un consumo medio de 75,5 g/ día / cápita (Turrini *et al.*, 2001).

El tomate puede ser consumido en fresco o bien procesado. De entre las diferentes formas de procesado, se encuentra el secado en mitades, rodajas, cuartos (alimento estructurado) o el puré (alimento desestructurado), siendo así ingrediente de alimentos preparados o formulados como pizzas, salsas, sopas o zumos (Toor y Savage, 2005). En distintos estudios realizados sobre los cambios experimentados por los compuestos antioxidantes que tienen lugar al someter el fruto del tomate a diferentes tratamientos térmicos, los resultados obtenidos no mostraron una tendencia clara. Shalin *et al.* (2004) al estudiar el procesado de tomate de diferentes maneras (cocido, fritura y horneado), observaron una reducción de los componentes nutritivos (ácido ascórbico, fenoles y licopeno) en todos los casos con independencia del tratamiento utilizado. De la misma forma, Dewanto *et al.* (2002), Giovanelly *et al.* (2002) y Zaroni *et al.* (1999) apuntaron que la producción de mitades de tomate seco y zumo de tomate, llevada a cabo a temperatura elevada (90º C) daba como resultado una pérdida importante de ácido ascórbico. En otro estudio llevado a cabo por Kerkhofs (2003), el contenido en fenoles totales de tomates disminuyó al ser sometido a una operación de secado a baja temperatura (42º C) hasta una humedad final de 70 %. Del mismo modo Takeoka *et al.* (2001) publicaron pérdidas significativas en el contenido en licopeno en la producción de puré de tomate.

En cambio, otros autores señalan la posibilidad de que el tratamiento térmico puede incrementar la actividad antioxidante del producto, Chen, *et al.* (2000) publicaron un aumento de la actividad antioxidante en tomate tras ser sometido a diferentes tratamientos térmicos (hervido, aplicación de microondas o fritura) en comparación al contenido en el fruto fresco. De la misma forma, Nicoli *et al.* (1999), sugirieron que el tratamiento térmico puede dar lugar a la formación de nuevos compuestos como melanoidinas, que podrían incrementar las propiedades antioxidantes del tomate. Wang *et al.* (1996) observaron que el zumo de tomate sometido a tratamiento térmico, presentaba mayor actividad antioxidante que el tomate fresco.

Debido a los cambios que sufre el producto como consecuencia de su exposición a temperaturas elevadas y largos tiempos de proceso comentados anteriormente, la industria alimentaria tiende a utilizar la energía de microondas con el fin de reducir los tiempos de secado. Mientras que el secado tradicional expone al producto a temperaturas elevadas y largos tiempos de proceso, la combinación de aire caliente y microondas podría disminuir la degradación de compuestos nutritivos presentes en el tomate (Vadivambal y Jayas, 2007). Además, el hecho de someter el producto a un proceso de deshidratación osmótica previa al proceso de secado puede ayudar a preservar sus características organolépticas como el color y propiedades nutritivas además de reducir el tiempo de secado posterior. Por lo tanto, resulta de interés, profundizar en el estudio de cómo afectan las variables de proceso en la obtención de productos de tomate obtenidos por combinación de aire caliente y microondas previa deshidratación osmótica.

En el presente trabajo, se estudió el efecto de diferentes variables de proceso (naturaleza del pretratamiento osmótico, temperatura del aire de secado y potencia de microondas) sobre el contenido en ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, licopeno y β -caroteno, así como la actividad antioxidante de la fase liposoluble e hidrosoluble, en mitades de tomate cherry deshidratadas hasta dos niveles de humedad final del producto (60 y 30 %).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Tomates cherry (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme cv. Cocktail), comprados en un supermercado local, fueron seleccionados según color (rojo brillante), tamaño (diámetro 22 a 28

mm) y ausencia de daño físico. Seguidamente, los tomates seleccionados se lavaron y se partieron en mitades. La piel del tomate no se eliminó puesto que la mayor parte del licopeno se encuentra en ella, donde su concentración alcanza niveles que pueden ser hasta cinco veces superiores a su concentración en la pulpa (Al-Wandawi *et al.*, 1985; De Souza *et al.*, 1992; McCollum *et al.*, 1995). En los tratamientos de deshidratación osmótica, se asumió que la difusión de agua y solutos sólo se produce a través de la parte cortada ya que las gruesas capas epicuticulares ceras presentes en la superficie del tomate presentan una gran resistencia a la transferencia de materia (Shi *et al.*, 1997).

Condiciones experimentales

En todos los casos el secado se llevó a cabo con mitades de tomate frescas o sometidas a un tratamiento osmótico previo (Tabla 1) hasta que éstas alcanzaron niveles de humedad medio ($x^w=0,6$) o bajo ($x^w=0,3$) establecidos según los niveles de humedad analizados en productos comerciales.

En la tabla 1, se recogen los tratamientos osmóticos aplicados. Las condiciones de dichos tratamientos fueron seleccionadas en base a un estudio previo de la operación de deshidratación osmótica en mitades de tomate cherry llevado a cabo con disoluciones binarias y ternarias a diferentes temperaturas.

Tabla 1. Condiciones de los tratamientos osmóticos empleados previamente al secado combinado de aire caliente y microondas.

Pretratamientos	Composición de la disolución osmótica (%)		Temperatura (°C)	Tiempo de inmersión (min)
	Sacarosa	NaCl		
DO1	55	-	30	120
DO2	27,5	10	40	60
DO3	42,1	5	30	210

El sistema de secado consistió en un secador convectivo de aire caliente asistido por energía de microondas y monitorizado íntegramente por un ordenador, diseñado a nivel de planta piloto por el Departamento de Tecnología de Alimentos en colaboración con el Departamento de Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia (Martín, 2002).

Dicho equipo permite controlar variables del proceso, tales como la potencia aplicada de microondas, la temperatura y la velocidad del aire de secado. Además, el equipo lleva acoplados sensores para la medida de la humedad relativa y temperatura del aire ambiente.

Con el fin de evaluar el efecto del secado por aire caliente combinado con microondas sobre la actividad antioxidante del tomate, se ensayaron tres temperaturas diferentes de aire de secado (40, 55 y 80 °C) y tres potencias de microondas (0, 1 y 3 W/g).

Determinaciones analíticas

Todas las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado a temperatura ambiente y con la menor iluminación posible para evitar, en la medida de lo posible, la oxidación de los compuestos antioxidantes presentes en el tomate.

La humedad de las muestras se determinó gravimétricamente mediante secado en estufa de vacío a 60° C según el método de la AOAC 20.103 (1980).

El contenido en sólidos solubles se obtuvo a partir de los grados Brix determinados mediante un refractómetro de mesa ABBE ATAGO 3-T a 20^o C.

La actividad de agua se determinó mediante un higrómetro de punto de rocío (Decagon, CX-2 AQUALAB).

El contenido en cloruros se determinó por método argentimétrico mediante un Analizador de Cloruros (modelo 926, Sherwood). Para ajustar las concentraciones al rango de medida del equipo, se pesaron aproximadamente 0,2 g de muestra, se diluyeron y enrasaron en 100 mL de agua destilada. El conjunto se centrifugó a 10000 rpm y 4^o C durante 10 minutos tras los cuales se obtuvo el sobrenadante utilizado para llevar a cabo la medida correspondiente.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN ÁCIDO ASCÓRBICO

El contenido en ácido ascórbico fue cuantitativamente determinado siguiendo el protocolo modificado del método de 2,6-diclorfenolindofenol (DIP). 8 mL de agua destilada fueron añadidos a 1 g de muestra seca, seguidamente el conjunto fue homogeneizado en ultraturrax y centrifugado para una correcta separación de la fase líquida de la matriz sólida. A continuación, 5 mL de fase líquida se mezclaron con 5 mL de una disolución acuosa de ácido metafosfórico al 25 %; dicha mezcla se enrasó a 25 mL y este volumen se valoró mediante 2,6-DIP hasta viraje a color rosa. Previamente, se preparó una disolución estándar de ácido ascórbico de 250 ppm en ácido metafosfórico al 5 % y se valoró con el fin de calcular los miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 mL de indicador.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN FENOLES

El contenido en fenoles fue determinado utilizando el método mediante espectrofotometría de emisión UV-visible modificado del reactivo de Folin Ciocalteu (Eberhardt *et al.*, 2000; Singleton *et al.* 1999, Chang *et al.*, 2006)). Cada muestra (0,5 g de tomate seco y 2 mL de agua destilada) se extrajo en 5 mL de metanol durante una hora en un agitador horizontal. Seguidamente, el extracto metanólico fue diluido con agua destilada en una relación 1:1 (v/v). 125 μ l del extracto diluido se mezclaron con 0,5 mL de agua destilada en un tubo de ensayo y se adicionaron 125 μ l del reactivo de Folin-Ciocalteu. Esta mezcla se dejó en reposo durante 6 minutos, tras los cuales, se adicionaron 1,25 mL de una disolución de carbonato sódico al 7 % y 1 mL de agua destilada para obtener un volumen final de 3 mL que se dejó en reposo durante 90 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia de las muestras a 760 nm utilizando un espectrofotómetro de emisión Perkin Elmer de UV-Visible (mod. Lambda 25).

El contenido en fenoles totales en las muestras se determinó a partir de la curva de calibrado obtenida disoluciones estándar de ácido gálico de 0 a 500 ppm.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN LICOPENO Y β -CAROTENO

Los contenidos de licopeno y β -caroteno fueron determinados mediante espectrofotometría de emisión UV-visible para lo cual, se utilizó un espectrofotómetro de emisión Perkin Elmer de UV-Visible. La extracción se llevo a cabo siguiendo el protocolo de Porter y Anderson (1967), según el cual 0,1 g de puré de tomate se mezclaron con 4 mL de etanol y 3 mL de hexano (99 % de pureza). Tras una hora en agitación horizontal a 150 rpm, 1 mL de agua desionizada miliQ se añadió a la muestra para permitir la correcta separación de las fases. La medida se llevó a cabo inmediatamente después, tomando 0,5 mL de la fase superior que contenía los pigmentos; se realizó un barrido entre las longitudes de onda de 300 a 600 nm. Con el fin de determinar la longitud de onda a la que los carotenoides presentan la máxima absorbancia, se realizó un barrido

entre 300 y 600 nm en patrones de licopeno (99 %) y β -caroteno (95 %) disueltos en hexano a concentraciones crecientes entre 0 y 10 mg/L. Dichos valores (503 y 478 nm para el licopeno y β -caroteno, respectivamente), se utilizaron para calcular la concentración de carotenoides en las muestras (eq. I y II).

$$C_{\text{LYC}} = \frac{A_{503} \cdot M_{\text{LYC}} \cdot V}{m \cdot E_{\text{LYC}}} \cdot 100 \quad (\text{I})$$

$$C_{\beta\text{-CAR}} = \frac{[A_{478} - (A_{503} \cdot 0.9285)] \cdot M_{\beta\text{-CAR}} \cdot V}{m \cdot E_{\beta\text{-CAR}}} \cdot 100 \quad (\text{II})$$

Donde A_{λ} es la absorbancia de la muestra a una determinada longitud de onda (503, licopeno y 478, β -caroteno), M_{LYC} y $M_{\beta\text{-CAR}}$ son las masas moleculares del licopeno (537 g/mol) y β -caroteno (533,85 g/mol), V es el volumen de la fase de hexano (2,7 mL), m es la cantidad exacta de muestra (g) y E_{LYC} y $E_{\beta\text{-CAR}}$ son los coeficientes de extinción para el licopeno (172 m/M) y β -caroteno (139 m/M) en hexano (Sadler *et al.*, 1990).

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de las fases liposoluble (LAA) e hidrosoluble (HAA) del tomate fue determinada utilizando una versión modificada del método de decoloración ABTS/HRP [ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazoline-6-sulfónico)] (Re *et al.*, 1998). El método se basa en la capacidad de diferentes componentes de secuestrar los radicales ABTS (ABTS^+) comparada con un antioxidante estándar (ácido ascórbico o Trólox) en una curva de calibrado entre 0 y 55 ppm para la fase liposoluble y entre 0 y 120 ppm para las fase hidrosoluble

Aproximadamente 0,5 g de muestra se extrajeron con 4 mL de tampón fosfato 50 mM (pH 7,4) y 10 mL de acetato de etilo. Seguidamente, la mezcla correctamente homogeneizada se transfirió a un embudo de decantación para permitir la correcta separación de las fases hidrosoluble y liposoluble, así como la eliminación del residuo sólido totalmente incoloro.

El radical (ABTS^+) se obtuvo al mezclar una disolución de ABTS 7 mM con persulfato potásico hasta una concentración final de 2,45 mM y dejando esta disolución reposar a temperatura ambiente en oscuridad durante 12-16 horas. Para llevar a cabo la medida por espectrofotometría, la disolución de ABTS^+ se diluyó en diferentes disolventes en función de la fase a analizar hasta un valor de absorbancia de 0,7 ($\pm 0,02$). Se tomó 1 mL total de disolución, siendo en la fase liposoluble, 900 μL de la disolución de ABTS^+ (diluida en etanol hasta absorbancia de 0,7) + 100 μL de la disolución que contenía la muestra, y en el caso de la fase hidrosoluble, 970 μL (de la disolución de ABTS^+ diluida en tampón fosfato hasta absorbancia 0,7) + 30 μL de la disolución que contenía la muestra. La absorbancia se midió un minuto después de adicionar la muestra y 6 minutos después, cuando la absorbancia permanecía constante. La disminución de la absorbancia fue determinada a partir de la diferencia del valor obtenido a 743 nm antes (sólo con al disolución de ABTS^+) y después de la adición de la muestra. En ambos casos, la actividad antioxidante se expresó en mg equivalentes de Trólox por 100 gramos de muestra fresca (mg /100 g).

Tratamiento estadístico de los resultados

Los análisis estadísticos de la varianza (ANOVA factorial) se realizaron mediante el paquete informático Statgraphics Plus 5.1 para estimar el efecto significativo de las diferentes variables del proceso (temperatura de aire de secado, potencia de microondas incidente y tratamiento osmótico).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización de la materia prima, así como de la composición de las muestras después de ser pretratados osmóticamente se recogen en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de la muestra fresca y tratada osmóticamente

	Fresco	DO1 ¹	DO2 ²	DO3 ³
a_w	0,988(0,002)	0,9810(0,0012)	0,9650(0,0012)	0,969(0,002)
Humedad (x^w)⁴	0,910(0,007)	0,855(0,006)	0,842(0,002)	0,813(0,013)
Sólidos Solubles (x^{ss})⁴	0,080(0,002)	0,129(0,002)	0,162(0,003)	0,158(0,016)
NaCl (x^{NaCl})⁴	0,0038(0,0012)	0,0054(0,0012)	0,0243(0,0012)	0,023(0,002)
Fenoles totales⁵	56(5)	25,89(1,08)	53(4)	36(5)
Ácido Ascórbico⁶	25(3)	8(3)	9,4(0,9)	14,7(0,9)
Licopeno⁶	4,9(0,5)	5,6(0,7)	8,3(0,7)	5,4(0,4)
β-caroteno⁶	1,52(0,16)	1,82(0,19)	2,78(0,15)	1,84(0,09)
HAA⁷	85,9(1,8)	36 (3)	44,08(1,17)	36 (4)
LAA⁷	21,9(1,3)	19,2(1,9)	12,6(0,8)	8,2(1,3)

¹ DO1 (55 Brix, 30 °C, 120 minutos).

² DO2 (27,5 % Sacarosa, 10 % NaCl, 40 °C, 60 minutos).

³ DO3 (42,1 % Sacarosa, 5 % NaCl, 30 °C, 210 minutos).

⁴ Expresado en fracción másica.

⁵ Expresado en mg GAE/100 g de tomate fresco.

⁶ Expresado en mg /100 g de tomate fresco

⁷ Expresado en mg de Trólox /100 g de tomate fresco

Las tablas 3 y 4 recogen los resultados obtenidos de los diferentes componentes antioxidantes así como la actividad antioxidante de los mismos, tras los diferentes tratamientos de deshidratación. Cabe resaltar aquí, que los niveles de los compuestos antioxidantes, así como la actividad antioxidante están siempre referidos a 100g de producto fresco con el fin de poder evaluar las variaciones debidas al procesado. No obstante, hay que tener en cuenta, que cualquier proceso de deshidratación conlleva una concentración de los compuestos presentes en el producto, con lo cual, siempre que las condiciones de proceso sean adecuadas para evitar pérdidas, el contenido en compuestos antioxidantes por 100 gramos de muestra seca será superior al contenido en compuestos antioxidantes por 100 gramos de producto fresco.

Tabla 3. Contenido en compuestos antioxidantes y actividad antioxidante de muestras secas hasta una humedad del 60 %.

Pot. (W/g)	Tª (°C)	DO*	Á. ascórbico ¹	Fenoles totales ²	Licopeno ¹	β-caroteno ¹	A. antioxidante (HAA) ³	A. antioxidante (LAA) ³	
0	40	-	2,8 (0,4)	32,39(0,12)	5,0(0,4)	1,68(0,03)	24,2(1,9)	10,3(0,8)	
		DO1	3,7(0,4)	30 (2)	7,0(0,5)	2,44(0,16)	34,0(0,8)	10,8(0,4)	
	55	-	18,7(0,3)	34 (4)	2,5(0,3)	1,0(0,2)	16,85 (-)	5,310(1,004)	
		DO1	3,7(0,3)	20,5(0,6)	4,4(0,4)	1,9(0,6)	2,02(-)	7,4(0,3)	
		DO2	5,4(0,4)	3,9(0,6)	5,0(0,3)	1,77(0,08)	34 (2)	11,5(0,7)	
		DO3	15,5(0,5)	3,3(1,7)	3,21(0,18)	1,28(0,05)	25,8(1,7)	11,31(1,12)	
	80	-	5,1(0,4)	18,9(0,4)	4,1(0,4)	1,388(0,119)	24,4(1,2)	9,116(1,014)	
		DO1	9,6 (1,0)	39,2(11,0)	4,81(0,17)	1,64(0,03)	21 (7)	12,5(0,3)	
	1	40	-	4,80(0,18)	6,2(1,6)	6,77(0,18)	2,54(0,06)	24,2(0,3)	9,0(0,5)
			DO1	4,2(0,8)	7,4(0,3)	7,9(0,3)	2,18(0,09)	27 (6)	15,9(1,4)
			DO2	12,7(1,5)	2,0(0,9)	4,0(0,3)	1,64(0,13)	21,7(1,3)	6,0(0,7)
			DO3	6,2(0,8)	22 (3)	6,8(0,5)	1,82(0,08)	22,1(0,4)	13,9(0,2)
55		-	8,1(1,9)	12,2(0,7)	1,96(0,12)	0,65(0,03)	25 (3)	9,1(0,7)	
		DO1	10 (2)	8,7(1,4)	4,8(0,4)	1,609(0,118)	34,6(1,4)	8 (7)	
		DO2	8,9(0,8)	3,5(0,5)	4,13(0,06)	3,05(0,17)	23,8(1,3)	7,6(0,5)	
80		DO3	2,0(0,5)	3,2(1,4)	2,72(0,18)	1,13(0,04)	7,9(0,2)	4,2(0,4)	
		-	5,1(0,9)	3,4(0,7)	4,1(0,4)	1,5(0,3)	10,14(1,15)	0,6(0,2)	
		DO1	2,5(0,2)	5,95(0,12)	4,20(0,04)	1,507(0,109)	14,24(1,16)	5,35(0,19)	
		DO2	7,5(0,5)	1,6(0,2)	7,2(0,5)	3,02(0,06)	13,7(0,7)	4,6(0,6)	
3		40	DO3	3,3(0,8)	6,5(0,5)	5,59(0,05)	1,87(0,02)	20,21(1,08)	4,5509(0,1112)
	-		16,02(1,19)	6,5(0,7)	3,9(0,4)	1,51(0,07)	22 (2)	11,5(0,5)	
	55	DO1	7,0(0,6)	22 (4)	7,6(0,8)	2,6(0,2)	17 (2)	9,18(1,07)	
		-	14,9(1,6)	6,4(0,6)	4,8(0,5)	2,1(0,2)	18,1(1,2)	(-)	
		DO1	12,1(1,3)	29,3(0,9)	4,0(0,3)	1,6(0,2)	23,9(0,5)	12,20(0,02)	
		DO2	1,88(0,13)	2,98(1,17)	10,14(0,03)	2,6(0,2)	5,1(0,3)	2,2(0,2)	
	80	DO3	7(2)	18,3(3,7)	4,44(0,17)	1,47(0,04)	20,3(1,6)	7,4(0,8)	
		-	12,5(0,9)	5,1(0,6)	8,0(0,2)	3,55(0,15)	23,5(1,5)	9,6(0,4)	
		DO1	22,7(1,3)	2,2(0,4)	4,0(0,4)	1,82(0,18)	29 (2)	10,6(0,3)	
		DO2							

* DO1 (55 Brix, 30 °C, 120 minutos).

* DO2(27,5 % Sacarosa, 10 % NaCl, 40 °C, 60 minutos).

* DO3(42,1 % Sacarosa, 5 % NaCl, 30 °C, 210 minutos).

¹ Expresado en mg /100 g de tomate fresco.

² Expresado en mg GAE/100 g de tomate fresco

³ Expresado en mg de Trólox /100 g de tomate fresco

Tabla 4. Contenido en compuestos antioxidantes y actividad antioxidante de muestras secas hasta una humedad del 30 %.

Pot. (W/g)	Tª (°C)	DO*	Á. ascórbico ¹	Fenoles totales ²	Licopeno ¹	β-caroteno ¹	A. antioxidante (HAA) ³	A. antioxidante (LAA) ³	
0	40	-	4,2(0,4)	18,8(1,2)	6,2(0,2)	2,0(0,3)	17,9(0,4)	12,3(0,4)	
		DO1	2,0(0,7)	19,4(0,9)	5,3(0,4)	2,0260	3,9(0,8)	8,7(0,7)	
	55	-	4,36(0,05)	25 (4)	2,93(0,15)	1,09(0,06)	6,28(0,12)	5,557(0,019)	
		DO1	5,1(0,4)	22,2(1,4)	7,3(0,7)	2,5(0,2)	17,9(0,3)	6,5(0,8)	
		DO2	4,5(0,9)	16,57(0,15)	4,1(0,2)	1,53(0,09)	17,7(0,8)	13,93(0,13)	
		DO3	2,6(0,5)	3,3(1,4)	7,5(0,6)	2,7(0,59)	9,4(0,6)	7,2(0,6)	
		-	1,95(0,15)	17 (2)	5,5(0,5)	1,8(0,2)	13,6(1,4)	9,4(0,5)	
	80	DO1	13,65(1,06)	49 (8)	3,60(0,16)	1,24(0,04)	7,72(-)	13,1(0,3)	
		-	7,71(0,15)	7,5(0,4)	5,2(0,4)	2,0(0,3)	7,93 (0,12)	3(2)	
	1	40	DO1	12(3)	5 (2)	6,66(0,06)	2,15(0,09)	15,0(0,4)	15,2(0,4)
			DO2	13,3(1,2)	8,35(0,19)	3,8(0,5)	1,9(0,2)	18,1(1,4)	14,0(0,6)
			DO3	6,3(0,8)	16 (5)	4,14(0,15)	0,72(0,02)	10 (6)	9,4(0,4)
-			10,4(0,9)	6,48(0,12)	5,4(0,5)	2,2(0,3)	12,5(0,5)	0,305(-)	
55		DO1	1,06(0,03)	3,19(0,02)	5,4(0,4)	1,97(0,05)	5,8(0,5)	3,440(0,113)	
		DO2	6,5(0,7)	1,5(0,4)	3,97(0,18)	1,78(0,06)	6,9(0,9)	4,9(0,3)	
		DO3	0,56(0,02)	3,37(0,06)	4,7(0,5)	1,53(0,12)	1,55(1,17)	1,056(0,006)	
80		-	2,79(0,09)	2,3(0,9)	6,3(0,5)	2,14(0,07)	4,0(0,7)	0,71(0,08)	
		DO1	0,24(0,04)	3,34(0,18)	6,7(0,4)	2,7(0,2)	5,13(0,04)	3,71(0,03)	
		DO2	5,2(0,9)	2,1(0,9)	4,0(0,8)	1,8(0,3)	4,24(1,14)	4,3(0,3)	
		DO3	7,23(1,12)	22 (3)	5,7(0,3)	2,34(0,06)	8,7(1,7)	9,9(0,2)	
3		40	-	19,0(1,8)	12,9(1,9)	1,55(0,09)	0,50(0,06)	17 (8)	10,0(0,6)
	DO1		7,4(1,7)	21 (2)	5,0(0,8)	2,2(0,4)	6,9(0,7)	14,64(0,09)	
	55	-	7,4(1,4)	7,8(0,9)	2,31(0,14)	1,21(0,09)	18,1(1,2)	10,8(0,4)	
		DO1	12,4(1,3)	38 (2)	3,4(0,6)	1,72(0,19)	23,9(0,5)	8,1(0,7)	
		DO2	1,31(0,09)	1,65(0,13)	3,601(0,112)	1,41(0,04)	2,31(0,13)	1,247(0,104)	
		DO3	8,3(0,5)	14,9(0,7)	5,0(0,5)	1,60(0,19)	9 (3)	8 (2)	
	80	-	18,4(0,9)	21 (5)	3,602(0,119)	1,30(0,09)	12,6(1,7)	12,92(0,13)	
		DO1	6,84(0,19)	15 (4)	4,4(0,4)	1,63(0,19)	-	-	

* DO1 (55 Brix, 30 °C, 120 minutos).

* DO2(27,5 % Sacarosa, 10 % NaCl, 40 °C, 60 minutos).

* DO3(42,1 % Sacarosa, 5 % NaCl, 30 °C, 210 minutos).

¹ Expresado en mg /100 g de tomate fresco.

² Expresado en mg GAE/100 g de tomate fresco

³ Expresado en mg de Trólox /100 g de tomate fresco

Influencia de las variables de proceso sobre la evolución del contenido en ácido ascórbico

El ácido ascórbico es uno de los nutrientes presente en frutas y hortalizas más sensibles a la temperatura, pH y luz. De hecho, operaciones como el cortado, pelado o la desestructuración de las frutas y hortalizas, sin ni tan siquiera aplicación de calor, implican pérdidas considerables.

La pérdida de vitamina C se debe básicamente a la degradación química que sufre dicho componente debido a la oxidación promovida por el enzima ascorbato oxidasa (Zanoni *et al.*, 1999). Por otro lado, la ruptura de la compartimentalización acelera su destrucción, ya que se facilita el acceso del oxígeno a la matriz vegetal.

Los valores del contenido en ácido ascórbico (vitamina C) obtenidos en tomate cherry fresco, (Tabla 2) se situaron dentro del intervalo encontrado para este fruto en la bibliografía (18 a 48 mg/100g) (Raffo *et al.*, 2006). La variabilidad presentada por esta vitamina en el fruto de tomate

en función de la variedad así como de las condiciones de cultivo (Abushita *et al.*, 1997; Gahler *et al.*, 2003; Toor y Savage, 2006).

En relación al efecto del pretratamiento osmótico, los resultados obtenidos pusieron de manifiesto una pérdida significativa de ácido ascórbico independientemente de cualquiera de los tres tipos de disolución osmótica utilizada (Tabla 2). Estos resultados representaron pérdidas, respecto al contenido inicial, de entre un 40-67 %. Dado que el ácido ascórbico es un componente hidrosoluble, parte del mismo pudo migrar con el flujo de agua que se produce durante la deshidratación osmótica.

Tras la deshidratación osmótica, las muestras fueron sometidas a la operación de secado tal y como ha sido explicado previamente. Dicha operación ocasionó una degradación aún mayor del ácido ascórbico, registrándose pérdidas que variaron en función de las condiciones de proceso aplicadas en cada caso.

La diferencia en el contenido de ácido ascórbico presentado por las muestras de tomate cherry, resultó estadísticamente significativa, siendo las muestras sometidas al pretratamiento DO3, aquellas que presentaron contenidos ligeramente superiores a los registrados por el resto de muestras incluidas aquellas que no fueron sometidas a ningún pretratamiento osmótico (Sin Pr)(figura 1).

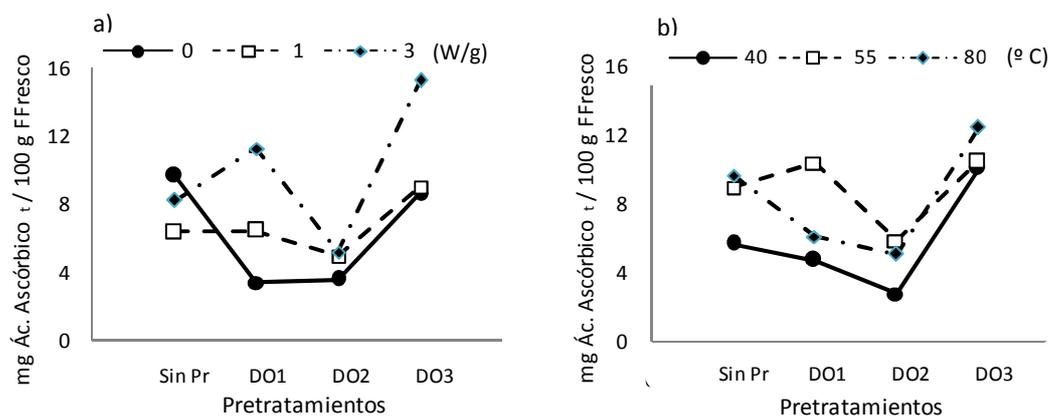


Figura 1. Gráficos de interacción Potencia-Pretratamiento (a) y Temperatura-Pretratamiento (b) del contenido en ácido ascórbico (mg Ác. Ascórbico/100 mg F Fresco) obtenidos a partir del análisis estadístico ANOVA multifactorial a un nivel de confianza del 95 %

En cuánto al efecto de la temperatura del aire de secado, un aumento de la temperatura (de 40 a 55 o 80 °C) implicó, que tanto las muestras pretratadas como las frescas, presentasen una menor pérdida de ácido ascórbico (Figura 1). Sin embargo, pareció favorecer más la retención de esta vitamina, la temperatura intermedia de 55 °C que la más elevada (80 °C).

El efecto del nivel de potencia de microondas aplicado sobre el contenido final de ácido ascórbico de las muestras, fue diferente dependiendo de si las muestras habían sufrido un tratamiento osmótico previo o no. En este sentido, las muestras tratadas a mayores niveles de energía de microondas presentaron mayor contenido en ácido ascórbico que las muestras pretratadas, mientras que en las muestras sin pretratar, se observó el fenómeno contrario. El efecto beneficioso de aumentar el nivel de potencia de microondas con el fin aumentar la retención de esta vitamina, estaría relacionado con la importante reducción del tiempo de secado que esto conlleva (Figura 1).

En general, los productos de tomate cherry seco obtenidos tras el secado presentaron menores niveles de ácido ascórbico a 30 que a 60 % de humedad, lo que pondría de manifiesto la elevada relevancia del factor tiempo sobre la evolución de esta vitamina. Así pues, los resultados

obtenidos son coherentes con los obtenidos en otros estudios que evidenciaron una significativa pérdida de ácido ascórbico tanto más acusada conforme aumentó la temperatura, la presencia de oxígeno y tiempo del tratamiento (Burg y Fraile, 1995; Zaroni *et al.*, 1999; Lavelli *et al.*, 1999; Murcia *et al.*, 2000; Dewanto *et al.*, 2002; Chang *et al.*, 2006)

Influencia de variables de proceso sobre la evolución del contenido en compuestos fenólicos totales.

Los compuestos fenólicos son productos biosintetizados en las plantas como productos secundarios de su metabolismo que contienen al menos un grupo fenol en su estructura molecular. Representan un grupo heterogéneo de productos con más de 10.000 compuestos. Algunos son solubles en solventes orgánicos, otros son glucósidos o ácidos carboxílicos y por lo tanto solubles en agua, y otros son polímeros muy grandes e insolubles. Según su estructura química pueden clasificarse en fenoles simples (ácido trans-cinámico, esteres cíclicos como umbeliferota o derivados del ácido benzoico) y fenoles complejos (flavonoides) (wikipedia, 1.12.07).

Estos compuestos son, junto con la vitamina C, los principales componentes hidrosolubles con actividad antioxidante del fruto de tomate. En la tabla 2 se recoge el contenido en compuestos fenólicos totales expresados como equivalentes de ácido gálico por 100 g de tomate fresco (mg GAE/100 g tomate fresco) para tomate cherry fresco y tomate cherry pretratado osmóticamente. El contenido en compuestos fenólicos analizado en las muestras de tomate cherry fresco se encontró dentro de la media obtenida en otros estudios para la misma variedad de tomate aunque distinto cultivar (George *et al.*, 2004). Se observó que la aplicación de un tratamiento osmótico previo al secado conllevó una reducción del contenido en compuestos fenólicos totales debido probablemente al carácter hidrosoluble de estos compuestos (Tabla 2), excepto en el caso del tratamiento DO2 en el que no se apreció un menor contenido (Figura 2). Este resultado pareció indicar una mayor dependencia de la cinética de degradación de estos compuestos con el tiempo de tratamiento que con la temperatura del mismo, ya que los otros dos pretratamientos se prolongaron durante un periodo de tiempo superior, 120 y 210 minutos, pero a 30 °C.

En relación al efecto del nivel de potencia de microondas aplicado, pareció observarse una tendencia decreciente en el contenido en fenoles totales conforme aumentó la potencia aplicada (Figura 2). Aunque el mayor contenido en compuestos fenólicos tras el secado lo presentaron las muestras secadas por combinación de aire caliente a 40 °C y un nivel de potencia de 1 W/g sin pretratamiento osmótico.

Por otro lado, el efecto de la temperatura del aire de secado se vio influenciado por el nivel de potencia de microondas incidente, y viceversa. Como puede ser observado en la figura 2, cuando el secado por aire caliente fue llevado a cabo sin energía de microondas (0 W/g), las pérdidas en fenoles totales en las muestras llevadas hasta 60 % de humedad fueron muy similares con independencia de la temperatura aplicada tanto en muestras pretratadas como sin pretratamiento, si bien fueron algo menores a 40 °C y en tomate cherry sin pretratamiento. Sin embargo, cuando esas muestras fueron secadas hasta un 30 % de humedad final, un aumento de la temperatura favoreció la retención de compuestos fenólicos.

Por otro lado, al aplicar una potencia de microondas de 1 W/g, las pérdidas fueron superiores conforme aumentó la temperatura tanto en los productos con 30 como 60 % de humedad final.

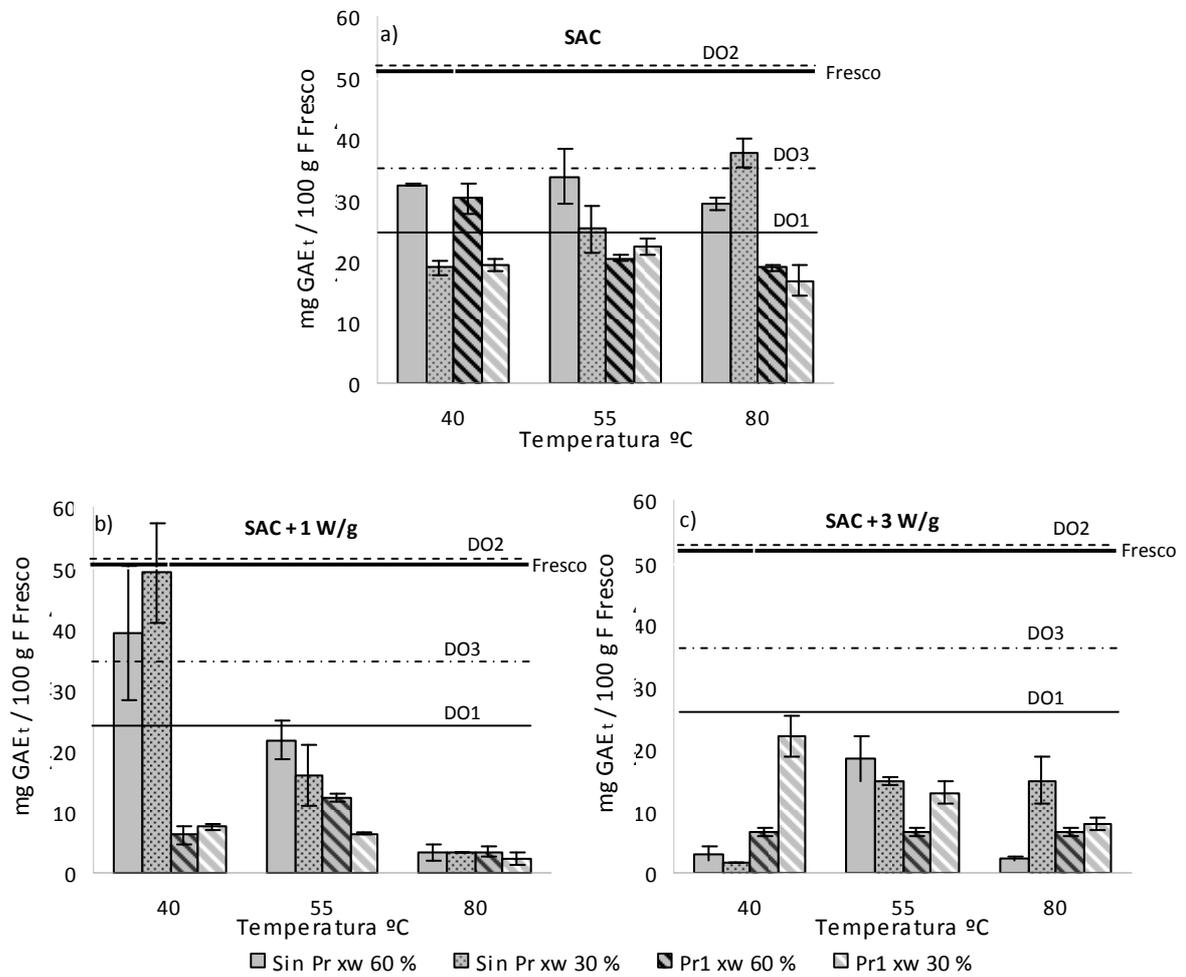


Figura 2. Efecto de potencia de microondas aplicada (0 W/g (a), 1 W/g (b) y 3 W/g (c)) sobre el contenido en fenoles totales (mg GAE/ 100 g F fresco) a las diferentes temperaturas 40, 55 y 80 °C.

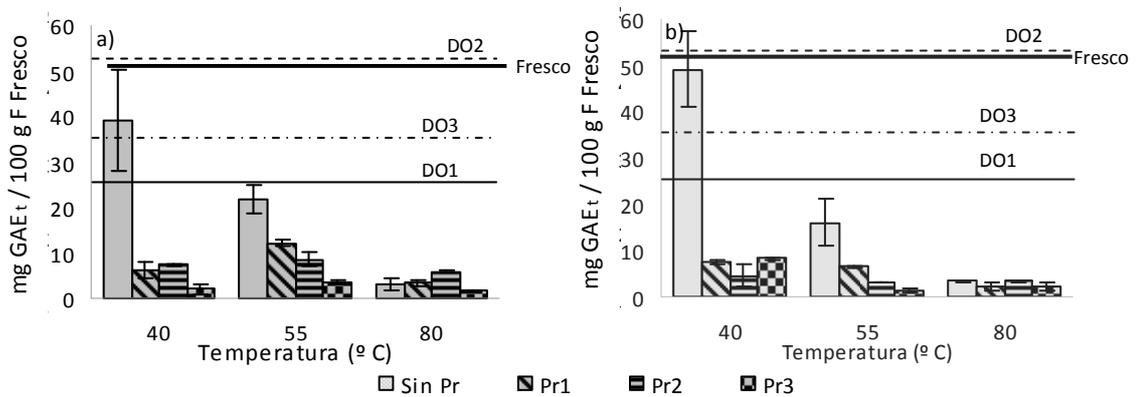


Figura 3. Efecto de la temperatura de secado sobre el contenido en fenoles totales (mg GAE_t/ 100 g F Fresco) a 1 W/g en muestras deshidratadas hasta niveles de humedad del 60 % (a) y 30 % (b).

Respecto al contenido en compuestos fenólicos tras el secado a diferentes temperaturas (40, 55 y 80 °C) y 1 W/g, las pérdidas fueron más acusadas en aquellas muestras que habían sido pretratadas osmóticamente (Figura 3). De hecho, las muestras que no habían sido sometidas a ningún tratamiento osmótico presentaron valores en compuestos fenólicos superiores al resto después del secado, especialmente cuando la temperatura del aire fue de 40 °C..

Influencia de las variables de proceso sobre la evolución del contenido en licopeno y β -caroteno

Los carotenoides son pigmentos orgánicos que se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. Se conoce la existencia de más de 700 compuestos pertenecientes a este grupo. Son el grupo más representativo de los tetraterpenos, compuestos que se caracterizan por una estructura con 40 átomos de carbono. En tomate maduro, el licopeno es el carotenoide más importante, representando entre el 80 y 90 % de sus pigmentos totales. El resto está constituido fundamentalmente por β -caroteno y en menor proporción α -caroteno, luteína y β -criptoxantina (Curl, 1961).

Los carotenoides representan la mayor proporción de la fase liposoluble de la actividad antioxidante del tomate. La tabla 2 recoge los contenidos en licopeno y β -caroteno expresados como mg de carotenoide por 100 g de tomate fresco, de tomate cherry fresco y osmóticamente deshidratado que coincidieron con los presentados por otros autores (Raffo *et al.*, 2006; Olives *et al.*, 2006). Los resultados obtenidos mostraron un aumento en la concentración de licopeno y β -caroteno al deshidratar osmóticamente mediante el pretratamiento DO2 (Tabla 2).

Aunque no se han encontrado referencias bibliográficas que expliquen el aumento observado, sí ha sido señalado, que la síntesis de carotenoides se ve favorecida por condiciones de estrés hídrico durante el cultivo, dicho estrés podría ser comparable al estrés osmótico que, combinado con temperaturas cercanas a la óptima de síntesis, podría producir un efecto parecido al que se da durante el cultivo (Thompson *et al.*, 2000). Por otro lado, Purcell *et al.* (1961) ya observaron la efectividad de la glucosa como precursora en la síntesis de ciertos carotenoides, hecho que podría ser extensible a la sacarosa ya que este azúcar es una doble molécula de glucosa.

El ANOVA factorial realizado para la concentración de licopeno y β -caroteno en función de las diferentes variables de proceso (humedad final de las muestras, pretratamiento osmótico, potencia de microondas aplicada y temperatura del aire de secado) reveló que la concentración de carotenoides presentes en las muestras, siguió una tendencia similar para ambos compuestos, siendo significativos ($p < 0.05$) los efectos de la humedad final del producto, la temperatura y el pretratamiento. Por otro lado, aunque la potencia no presentó un efecto significativo individualmente ($p = 0.8$ para el licopeno y $p = 0.16$ para el β -caroteno) sí lo hizo su interacción con el resto de variables (Figura 5).

En cuanto a los tratamientos de secado, los resultados no mostraron una tendencia clara, así pues, en la figura 5(a) puede apreciarse como en el caso del secado combinado a 0 y 1 W/g, el contenido en carotenoides fue similar en las muestras de humedad intermedia (60 %) y baja (30 %), mientras que cuando se aplicó una potencia de 3 W/g, la concentración en carotenoides fue mayor en las muestras de humedad intermedia (60 %).

Por otro lado, la figura 5(b) muestra el efecto de la temperatura en función del nivel de potencia de microondas incidente. De forma que, al aplicar un nivel de potencia de 0 y 1 W/g, el contenido en carotenoides de las muestras secadas a 40 y 80 °C fue notablemente superior al de las muestras secadas a 55 °C. En cambio, cuando se aplicaron 3 W/g, el mayor contenido en carotenoides lo presentaron claramente las muestras deshidratadas a 80 °C.

De los resultados obtenidos, se podrían diferenciar dos etapas en cuanto a la degradación de los compuestos carotenoides. Un primer periodo, en el cual las muestras alcanzarían una humedad del 60 %, y en el que la combinación de potencia y temperatura podría ayudar a preservar el contenido en carotenoides, y un segundo periodo, en el cual las muestras alcanzarían una humedad del 30 %, y en el que se produciría un sobrecalentamiento de las mismas. Esto se produciría puesto que al no quedar agua libre en el producto, parte del calor proporcionado al mismo sería invertido en recalentarlo. Este aumento drástico de la temperatura interna del producto podría estar relacionado con la ruptura celular en el interior del mismo y por lo tanto con la degradación de los compuestos carotenoides, fenómeno que probablemente no se produciría en el primer periodo en el que la estructura celular permanecería relativamente intacta, con la consecuente menor degradación de carotenoides.

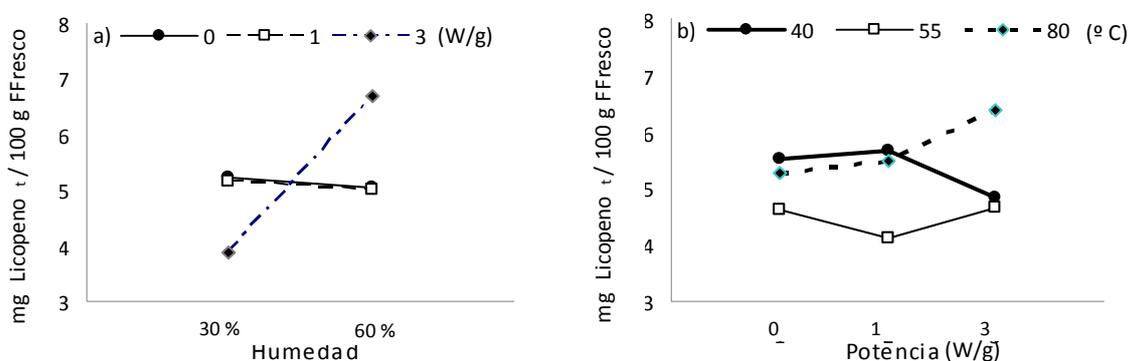


Figura 5. Gráficos de interacción Humedad-Potencia (a) y Potencia-Temperatura (b) del contenido en licopeno (mg licopeno/100 mg F Fresco) obtenidos a partir del análisis estadístico ANOVA multifactorial a un nivel de confianza del 95 %.

Mientras que Takeoka *et al.* (2001) publicaron pérdidas importantes de licopeno durante la producción de puré de tomate a altas temperaturas a partir de tomate fresco y Zanoni *et al.* (1999) publicaron pérdidas significativas de licopeno (12 %) durante el secado de tomates a 110 °C, Kerkhofs (2003) observó un aumento significativo del contenido en licopeno después de secado por aire caliente a 42 °C hasta una humedad final del 70 %. De igual forma, en otros estudios llevados a cabo por Dewanto *et al.* (2002) y Tonuci *et al.* (1995) se registraron aumentos en el contenido de licopeno en productos procesados de tomate en comparación con el contenido de licopeno en tomate fresco.

Este fenómeno podría deberse a que al deshidratar a una temperatura por debajo o igual a 80 °C, se produce un aumento de licopeno biodisponible al destruir las paredes celulares favoreciéndose el mecanismo de hidrólisis frente al de degradación (Thompson *et al.*, 2000). Además, la menor humedad de las muestras minimizaría la transferencia de calor fomentando así la hidrólisis de derivados del licopeno dando lugar así a mayor cantidad de licopeno biodisponible (Mayeaux *et al.*, 2006), fenómeno observado en el secado combinado por aire caliente y microondas a 3 W/g (Figura 5(a)).

Influencia de las variables de proceso sobre la actividad antioxidante de mitades de tomate cherry

Los resultados referentes al análisis de actividad antioxidante de las muestras de tomate cherry fresco y pretratado se encuentran recogidos en la tabla 2. Como puede ser observado, la

actividad antioxidante de la fase hidrosoluble (HAA) representó el 80 % de la total. Estudios publicados en los cuales se evaluó este parámetro en tomate obtuvieron niveles similares de actividad antioxidante en fase hidrosoluble (HAA) y liposoluble (LAA) (Shalin *et al.*, 2004; Toor y Savage, 2006). Las muestras de tomate cherry deshidratadas osmóticamente presentaron niveles de actividad antioxidante, HAA y LAA, inferiores respecto al fresco. El menor nivel de HAA pareció estar directamente relacionado con los menores niveles de componentes hidrosolubles (ácido ascórbico y fenoles totales) contenidos por las muestras tras el tratamiento osmótico (Tabla 2). En cambio, mientras que las muestras de tomate cherry deshidratadas osmóticamente presentaron contenidos en carotenoides similares e incluso superiores a los presentados por el fruto fresco, dichas muestras mostraron una LAA inferior en comparación con la presentada por las muestras frescas, excepto aquellas que fueron deshidratadas con la disolución binaria de sacarosa (DO1). Este fenómeno indicó que no es tan sólo importante el contenido en licopeno o β -caroteno total, sino también el tipo de isómeros en los que se presentan dichos compuestos como ya ha sido apuntado por otros autores (Shi *et al.*, 1999; Lee y Chen, 2001).

Después de la operación de secado, las muestras de tomate cherry pretratadas osmóticamente presentaron, en general, niveles de HAA y LAA, superiores a aquellas muestras sin pretratar. Concretamente, las muestras pretratadas con la disolución DO2 y DO3 presentaron los valores más elevados de HAA, mientras que las muestras pretratadas con DO2 presentaron niveles superiores de LAA (Figura 6).

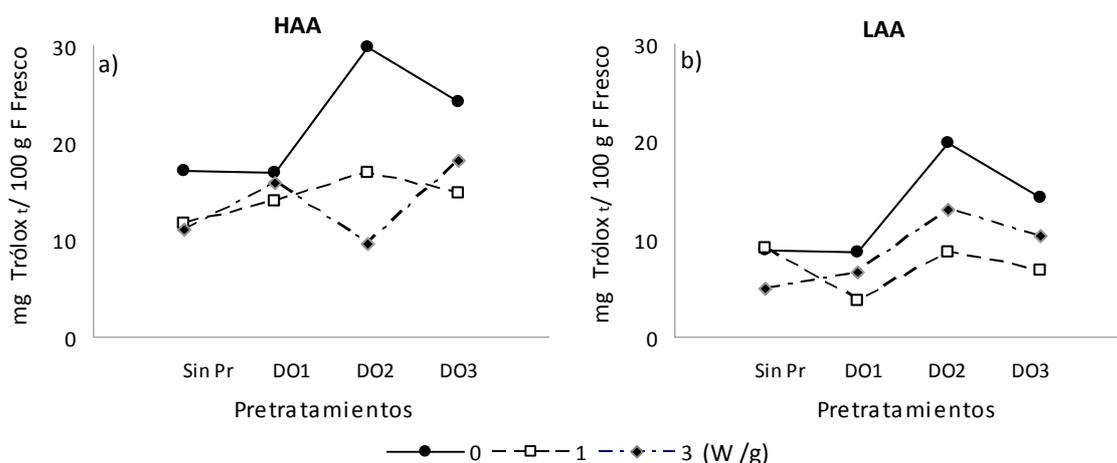


Figura 6. Gráficos de interacción Pretratamientos-Potencia de la actividad antioxidante en la fase hidrosoluble (a) y en la fase liposoluble (b) (mg de Trólox/100 mg F Fresco) obtenidos a partir del análisis estadístico ANOVA multifactorial a un nivel de confianza del 95 %.

La temperatura del aire de secado no resultó tener un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido en HAA de las muestras secas, aunque sí lo fue sobre la LAA, siendo la temperatura de 40 °C la más adecuada (Figura 7). De nuevo, estos resultados ponen de manifiesto la importancia de determinar la naturaleza isomérica del compuesto de licopeno después del secado, dado que las muestras pretratadas con la disolución DO2 y secadas por secado combinado a 55 °C y 3 W/g presentaron los mayores niveles de licopeno tras el secado pero no de LAA en comparación con el fresco (Tablas 3 y 4). Respecto al nivel de microondas aplicado, la mayor

retención de actividad antioxidante (HAA y LAA) se dio en las muestras secadas exclusivamente por aire caliente (0 W/g) (Figura 7).

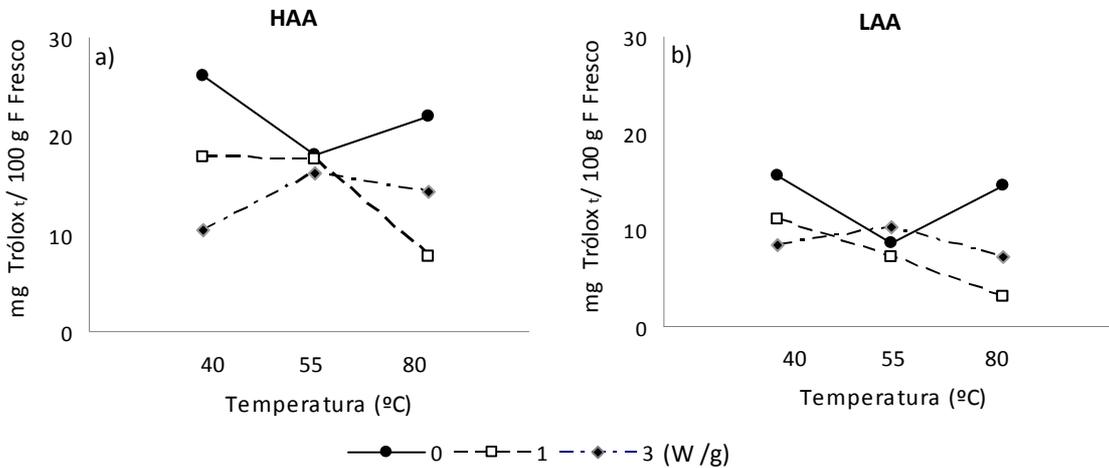


Figura 7. Gráficos de interacción Temperatura-Potencia de la actividad antioxidante en la fase hidrosoluble (a) y en la fase liposoluble (b) (mg de Trólox/100 mg F Fresco) obtenidos a partir del análisis estadístico ANOVA multifactorial a un nivel de confianza del 95 %.

Por último el tiempo de secado, directamente relacionado con la humedad final de las muestras también fue relevante pero afectó de forma diferente a HAA y LAA presente en las muestras. En general, las muestras con un 60 % de humedad final presentaron mayores niveles de HAA que aquellas con 60 % de humedad. Sin embargo, no se observó una tendencia general para el caso de la LAA según el contenido en humedad final presentado por las muestras como puede ser observado en las tablas 3 y 4.

CONCLUSIONES

Después de la aplicación de un pretratamiento osmótico así como del secado combinado aire caliente y microondas, las muestras de tomate cherry presentaron un contenido en ácido ascórbico y en fenoles totales inferior al presentado por las muestras de tomate cherry fresco. En cambio, el contenido en licopeno y β -caroteno en tomate seco fue, en muchos casos, superior al contenido de estos carotenoides en comparación al presentado por el fresco.

En relación a la actividad antioxidante de la fase hidrosoluble (HAA) y liposoluble (LAA) cabe destacar que, mientras en general, la HAA se vio afectada por las variables de proceso de forma similar que los componentes hidrosolubles de carácter antioxidante responsables de la misma; en el caso de la LAA, las condiciones más adecuadas para su estabilidad, no coincidieron las variables de proceso que proporcionaron una mayor cantidad de licopeno y β -caroteno en las muestras de tomate seco. Estos resultados pondrían de manifiesto la necesidad de analizar la naturaleza de los isómeros de licopeno, por presentar éstos diferentes características antioxidantes.

En cualquier caso, cabe destacar que en la mayoría de los casos, 100 g de tomate seco proporcionaron una mayor cantidad de compuestos con actividad antioxidantes que 100 g de tomate fresco dada la mayor concentración de los mismos en el producto seco.

REFERENCIAS

- Abushita, A.A., Hebshi, E.A., Daood, H.G. y Biacs, P.A. (1997). Determination of antioxidants vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60(2), 207-212.
- AOAC (1980). Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis. Washington DC.
- Burg, P., & Fraile, P. (1995). Vitamin-c destruction during the cooking of a potato dish. *Food Science and Technology*, 28, 506-514.
- Cao, G., Sofic, E. y Prior, R. L. (1996). Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 3426-3431.
- Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.H. & Liu, H.C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*. 77, 478-485.
- Chen, R. Y., Wu, J. J., Tsai, M. J., y Liu, M. S. (2000). Effect of storage and thermal treatment on the antioxidant activity of tomato fruits. *Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society (Taiwan)*, 38, 353-360.
- Cohen, J. H., Kristal, A. R. y Stanford, J. L. (2000). Fruit and vegetable intakes and prostate cancer risk. *Journal of National Cancer Institute*, 92, 61-68.
- Curl, A. L. (1961). The xanthophylls of tomatoes. *J. of Food Science*, 26, 106-111.
- Dewanto, V., Wu, X. Z., Adom, K. K. y Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3010-3014.
- Eberhardt, M. V., Lee, C. Y., y Liu, R. H. (2000). Nutrition-antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405, 903-904.
- Gahler, S., Otto, K., & Bohm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7962-7968.
- García-Closas, R., Berenguer, A., Tormo, M.J., Sánchez, M.J. y Quirós, J.R. (2004). Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain. *British Journal of Nutrition*, 91, 1005-1011
- George, B., Kaur, C., Khurdija, D.S. & Kapoor, H.C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 84, 45-51.
- Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V. y Nani, R. (2002). Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. *Journal of Food Engineering*, 52, 135-141.
- Javanmardi, J. y Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 41, 151-155
- Kerkhofs, N. S. (2003). An investigation of the influence of air-drying on the antioxidant components and antioxidant activity of New Zealand grown tomatoes. B.Sc. (Honours), Lincoln University.
- Knekt, P., Kumpulainen, J., Jarvinen, R., Rissanen, H., Heliövaara, M., Reunanen, A., Halulinen, T y Aromaa, A. (2002). Flavonoids intake and risk of chronic diseases. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 560-568.
- Lavelli, V., Hippeli, S., Peri, C., y Elstner, E. F. (1999). Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3826-3831.
- Lee, M. and Chen, B. (2001). Separation of Lycopene and Its *cis* Isomers by Liquid Chromatography. *Cromatographia*, 54, 613-617.
- Liu, S., Manson, J. E., Lee, I. M., Cole, S. R., Hennekens, C. H., Willett, W. C. y Burning, J. (2000). Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease: The Women's Health Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 922-928.
- Mayeaux, M., Xu, Z., King, J.M. y Prinyawiwatkul, W. (2006). Effects of Cooking Conditions on the Lycopene Content in Tomatoes. *Journal of Food Science* Vol. 71, Nr. 8.
- Martín, M.E. (2002). Utilización de microondas en el secado por aire caliente de manzana (v. Grany Smith). Influencia del pretratamiento por impregnación a vacío. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- Murcia, M. A., Lopez-Ayerra, B., Martinez-Tome, M., Vera, A. M., & Garcia-Carmona, F. (2000). Evolution of ascorbic acid and peroxidase during industrial processing of broccoli. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1882-1886.

- Nicoli, M. C., Anese, M. y Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 94–100.
- Olives, A.I., Cámara, M., Sánchez, M.C., Fernández, V. i López, M. (2005). Application of a UV–vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry*, 95, 328–336.
- Olorunda, A. O., Aworh, O. C., y Onuoha, C. N. (1990). Upgrading quality of dried tomato: Effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *J. of the Science of Food and Agriculture*, 52, 447–454.
- Porter, J.W. y Anderson, D.G. (1967). Biosynthesis of carotenoids. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, 18, 197-228.
- Purcell, A. E., Guy, A. i Thompson, Jr. (1961). Glucose as a carbon source for carotene synthesis in tomatoes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 93, (2), 231-237.
- Raffo, A. La Malfa, G., Fogliano, V., Maiani, G. y Quaglia, G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 11–19
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1998). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, vol 26, 1231-1237
- Sahlin, E., Savage, G. P. y Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, 635–647
- Salder, G., Davis, J. y Dezman, D. (1990). Rapid extraction of lycopene and b-carotene from reconstituted paste and pink grapefruit homogenates. *J. of Food Sci.*, 55, 1460-1461.
- Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y. i Lipatay, A. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Res Intl*, 32(1), 15-21.
- Singleton, V. L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Oxidants and Antioxidants*, Part A, 299, 152–178.
- Souza J.S., Medeiros M.F.D., Magalhães M.M.A., Rodrigues, S. y Fernandes, F.A.N. (2007). Optimization of Osmotic Dehydration of Tomatoes in a Ternary System followed by Air-Drying. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 501-509
- Sukhwant, M. K., Harvinder, K. y Tejinder, G. (1992). Effect of cooking on fibre content of vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 29, 185–186.
- Takeoka, G. R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D. M., Jewell, W. T. y Huebner, B. (2001). Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3713–3717.
- Thompson, K.A., Marshall, M.R., S12ms, C.A., Wei, C.I., Sargent, S.A. i Scott, J. W. (2000). Cultivar, Maturity, and Heat Treatment on Lycopene Content in Tomatoes. *J. of Food Sci.*, 65, 791-795.
- Tonucci, L. H., Holden, J. M., Beecher, G. R., Khachik, F., Davis, C. S. y Mulokozi, G. (1995). Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 579–586.
- Toor R.K. & Savage G.P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food chemistry*, 94, 90-97.
- Toor. K. y Savage. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International* 38 (2005) 487–494
- Turrini, A., Saba, A., Perrone, D., Cialfa, E. y D’Amicis, A. (2001). Food consumption patterns in Italy: the INN-CA study 1994–1996. *European Journal of Clinical Nutrition* 55, 571–588.
- Vadivambal, R. y Jayas, D. S. (2007). Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. *Biosystems engineering* 98, 1 – 16
- Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. y Oomah, B.D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *J. Agric. Food Chem.* 46, 4113–4117.
- Wang, H., Cao, G. H. y Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 701–705.
- Zanoni, B., Peri, C., Nani, R. y Lavelli, V. (1999). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*, 31, 395–401.

Zhang. D. y Hamazu. Y. (2004). Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chemistry* 88, 503–509

Páginas web visitadas:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Fenoles> (01/12/2007)