

Si has pensado lanzar tu producto a Latinoamérica, no dejes pasar esta oportunidad.



**Alimentariaonline.com**

te ofrece la posibilidad de llegar a más de 50.000 posibles compradores por mes.

Somos el único portal latinoamericano para la industria de los alimentos visitado por más de 50.000 lectores mensuales y que continúan en aumento.

A través de nuestras notas actualizadas diariamente acerca de los alimentos, divulgamos información novedosa tan pronto se genera.

Le invitamos a visitar nuestro portal con la seguridad que encontrará una excelente oportunidad de hacer más negocios a través de la publicidad.

Visitando nuestro portal puede disfrutar de nuestros servicios gratuitos:

- Boletín semanal de noticias
- Revistas en Línea:  
Mundo Alimentario  
Mundo Lácteo y Cárnico
- Bolsa de Empleo
- Directorio Online

Aproveche la oportunidad de crecer su negocio



**DeltaEnfoque**  
Comunicación e Innovación Productivas

Av. Río Mixcoac 36 - 501 B Col. Actipan 03230 México D.F.  
Tel/Fax: (55) 5534-4344, 5534-4153 info@deltaenfoque.com

# Control del Pardeamiento Enzimático

El pardeamiento enzimático se puede controlar a través del uso de métodos físicos y químicos, y, en la mayoría de los casos, se emplean ambos para lograr una mayor eficacia.



Foto: Interchangeable parts

**E**l pardeamiento enzimático se puede controlar a través del uso de métodos físicos y químicos, y, en la mayoría de los casos, se emplean ambos. Los métodos físicos incluyen la reducción de temperatura y/o oxígeno, uso de empaque en atmósferas modificadas o recubrimientos comestibles, tratamiento con irradiación gama o altas presiones. Los métodos químicos utilizan compuestos que inhiban la enzima, eliminen sus sustratos (oxígeno y fenoles) o funcionen como un sustrato preferido.

Antes de que la FDA revocara su estado GRAS en 1986 debido a su riesgo potencial a la salud expuesto por consumidores sensibles (Taylor, 1993), los sulfitos se utilizaron ampliamente para controlar tanto el pardeamiento enzimático como el no enzimático. Debido a que se prohibió su aplicación en frutas y verduras para consumo en crudo, se pensó en otros químicos para prevenir el pardeamiento enzimático. A pesar de que se utilizaron diferentes inhibidores PPO (inhibidor de la protoporfirinogen oxidasa) durante la investigación (Vámos-Vigyázó, 1981; McEvily et al., 1992; Iyengar y McEvily, 1992; Sapers, 1993), sólo se discutirán a continuación la aplicación potencial de inhibidores para frutas y verduras cortadas en fresco. Es importante señalar que algunos químicos utilizados en la investigación no cumplen con los estándares de seguridad y plantean riesgos tóxicos, otros pueden impartir efectos sensoriales no deseables a los alimentos y otros han demos-

trados ser efectivos únicamente en jugos de frutas pero no en superficies cortadas.

Tradicionalmente, el procesamiento convencional de alimentos logra prevenir el pardeamiento a través de la inactivación de PPO con calor, como en el caso del escaldado y la cocción de alimentos. La inactivación con calor es un método efectivo para prevenir el pardeamiento y la PPO se considera como una enzima de baja termoestabilidad, a pesar de que se han reportado diferencias en la estabilidad térmica para diferentes cultivos e isoformas de PPO (Zawistowski et al., 1991).

No obstante, el uso de calor también tiene el potencial de causar la destrucción de algunos atributos de calidad del alimento, como la textura, el sabor y pérdidas nutricionales. Se considera que si se aplica calor en productos frescos cortados, éste se debe minimizar y no causar el cese de la respiración. En lugar, o además del uso de calor para controlar el pardeamiento enzimático, frecuentemente se utilizan diferentes tipos de químicos, generalmente referidos como agentes antipardeamiento.

Para que ocurra una reacción enzimática de oscurecimiento, se requieren de elementos esenciales: la presencia de PPO activa, oxígeno y sustratos fenólicos. La prevención del pardeamiento es posible, por lo menos temporalmente, a través de la eliminación de sustratos y/o inhibición enzimática.

**Tabla 1. Agentes Químicos con Acción Inhibitoria en el Pardeamiento Enzimático**

Inhibidor de Oscurecimiento	Efecto /Acción	Defectos	Comentarios	Ejemplos de Concentraciones Analizadas
<b>Acidulantes</b>				
Ácido cítrico	Posible doble efecto: Baja el pH y quelación al Cu del lugar activo del PPO		Frecuentemente se usa en combinación con otros agentes. Teóricamente, se logra la inhibición del oscurecimiento bajando el pH 2 o más unidades bajo el pH óptimo del PPO	0.5-2%(w/w) <sup>(2)</sup>
Otros ácidos orgánicos: Ácido tartárico, ácido málico, ácido láctico	pH más bajo	Disponibilidad, costo		
Ácidos inorgánicos: ácido fosfórico, ácido clorhídrico	pH más bajo	Efectos sensoriales: sabor		
<b>Reductores (Agentes Reductores/Antioxidantes)</b>				
Ácido Ascórbico (AA)	Reducción de o-quinonas a di-fenoles decolorados	Efecto temporal: el ácido ascórbico también se consume No específico: puede causar formación de colores y/o sabores no deseados Penetración insuficiente dentro del tejido del alimento		0.5%-1% (AA,EA) <sup>(3)</sup>
Ácido Eritórbico	Igual que el ácido ascórbico	Algunos autores reportan que el ácido eritórbico se destruye más rápidamente que el ácido ascórbico		0.8%-1.6% (AA,EA) <sup>(4)</sup>
Ésteres de Ascorbil-fosfato AA-2 fosfato (AAP) AA-trifosfato (AATP)	Libera ácido ascórbico a través de la hidrólisis de la fosfatasa ácida de origen vegetal	Menos efectivos que el ácido ascórbico en algunas aplicaciones y mas efectivos en otras (depende de la actividad de la fosfatasa en cada tejido.	Más estable a la oxidación que el ácido ascórbico.	45.4mM (0.8%AA) <sup>(5)</sup>
Compuestos sulfhidrilo L-cisteína	Reacciona con o-quinonas produciendo aductos estables (sin color)	Caro Formación de sabores discordantes a la concentración requerida	Más efectivos que el ácido ascórbico	230mM <sup>(6)</sup>
<b>Agentes Complejantes</b>				
Ciclodextrinas (oligosacáridos cíclicos)	Formación de complejos con sustratos PPO Atrapamiento de sustratos de PPO o productos	La formación de complejos no es específica. Eliminación potencial de compuestos de color y/o sabor Costo: aún no autorizado	Se sugiere su uso incluso en combinación con otros agentes (acidulantes, quelantes, reductantes) <sup>(9)</sup>	
β-ciclodextrina (β-CD)		Se sugiere utilizarlos en jugos	Soluble en agua Se requieren niveles menores cuando se combinan con fosfatos <sup>(10)</sup> Más soluble que (β-CD)	1-4% <sup>(2)</sup>
Maltosil-(β-CD)				4% <sup>(10)</sup>
Hidroxietyl-(β-CD)				10% <sup>(10)</sup>
<b>Agentes Quelantes</b>				
EDTA	Quelante de metal: enlaza al cobre al lado activo del PPO y el cobre disponible en el tejido.		Se usa comúnmente en combinación con otros químicos antipardeamiento Se permite niveles de hasta 500ppm para disodio EDTA y calcio y disodio EDTA	
Polifosfato	Quelantes	Baja solubilidad en agua fría	Se usa en combinación con otros agentes	0.5-2% <sup>(2)</sup>
Sporix™ Polifosfato ácido	Quelante o acidulante	No aprobado en EUA para su uso en alimentos	A pesar de no ser efectivo cuando se probó sólo en trozos de manzana, en combinación con ácido ascórbico fue muy efectivo (sinergismo aparente)	Spprox 0.24% + 1% de ácido ascórbico <sup>(8)</sup>
Pirofosfato ácido de sodio, Hexametáfosfato de sodio				
<b>Inhibidores de Enzimas</b>				
4-hexil resorcinol	Inhibidor de PPO	No ha sido aprobado para usarse en frutas y vegetales	Acción específica en PPO Soluble en agua Químicamente estable Es seguro para usarse en la prevención de pigmentos en camarones (GRAS) Otros usos potenciales en alimentos	
Aniones:Cloruro (NaCl, CaCl <sub>2</sub> ) (ZnCl <sub>2</sub> )	Interacción con el cobre en el lado activo del PPO	Inhibición débil a concentraciones bajas a moderadas	La inhibición aumenta a pHs bajos	2-4% <sup>(2)</sup>
Tratamiento enzimático con proteasas	Proteólisis	Las preparaciones del higo revelaron compuestos además de la ficina, derivados de resorcinol, los cuales son inhibidores de PPO Costo		
Ficina (de higo), Bromelina (de piña) Papaína (de papaya)				Solución 0.5% p/v <sup>(11)</sup>
Miel	Contiene un péptido pequeño que inhibe el PPO			Solución al 20% <sup>(12)</sup>

Nota: Referencias (1) Whitaker and Lee, 1995; (2) McEvily et al., 1992; (3) Santerre et al., 1988; (4) Sapers and Ziokowski, 1987;(5) Sapers et al., 1989; (6)Kahn, 1985; (7) Montgomery; 1983; (8) Gardner et al., 1991; (9) Hicks et al., 1996; Labuza et al., 1992; (12) Oszmianski and Lee,, 1990.



### Agentes antipardeamiento

Se utilizan varios tipos de químicos para el control del pardeamiento (Tabla 1). Algunos tipos actúan directamente como inhibidores de PPO, otros propician un medio inadecuado para el desarrollo de la reacción de oscurecimiento, y otros reaccionan con los productos de la reacción de PPO antes de que lleguen a formar los pigmentos oscuros.

### Acidulantes

Mientras que se reporta un pH óptimo para PPO que fluctúa entre ácido y neutral, en la mayoría de frutas y vegetales la actividad de PPO óptima se observa a un pH de 6.0-6.5; se puede detectar poca actividad por debajo de un pH de 4.5. También se ha reportado que una inactivación irreversible de PPO se puede lograr a un pH menor a 3.0 (Ricardos y Hyslop, 1985). Sin embargo, también se ha reportado que el PPO de la man-

zana es muy tolerante a la acidez y a un pH 3.0, retiene 40% de su actividad máxima (Nicolas et al., 1994).

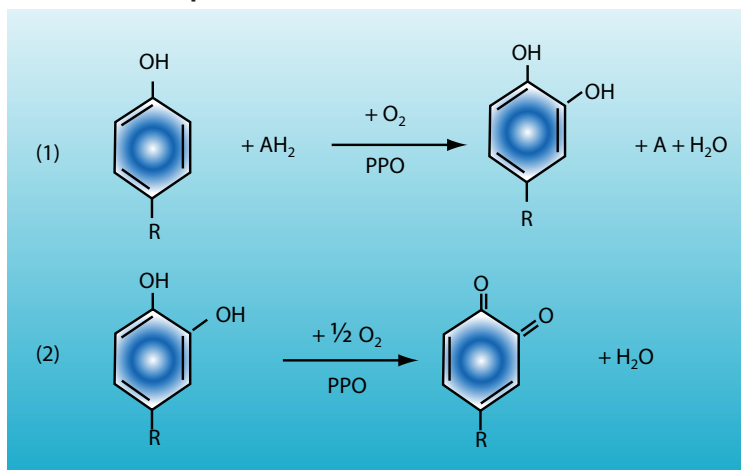
El uso de químicos que bajan el pH del producto, o acidulantes, se pueden aplicar ampliamente para controlar el pardeamiento enzimático. El acidulante comúnmente utilizado es el ácido cítrico. Los acidulantes frecuentemente se usan en combinación de otros tipos de agentes antipardeamiento, ya que es muy difícil lograr una inhibición completa del oscurecimiento únicamente con el control del pH. Además, hay variaciones en el efecto de diferentes ácidos sobre PPO; como un ejemplo, se ha reportado que el ácido málico es más eficiente para prevenir el oscurecimiento del jugo de manzana que el ácido cítrico (Ponting, 1960).



### Agentes Reductores

Este tipo de agente antipardeamiento causa la reducción química de las o-quinonas incoloras como resultado de la reacción de PPO de regreso a o-difenoles (Iyengar y McEvily, 1992). Los reductores se oxidan irreversiblemente durante la reacción, lo que significa que la protección que confieren es únicamente temporal, porque se consumen en la reacción. Cuando todo el agente reductor añadido se oxida, las o-quinonas de la reacción PPO pueden sufrir reacciones de oxidación posteriores (sin involucrar PPO) y finalmente una rápida polimerización produciendo la formación de pigmentos oscuros (Figura 1). Debido a la naturaleza oxidativa del pardeamiento enzimático, los agentes reductores también se pueden aplicar para la prevención de cambios en el color.

**Figura 1. Reacciones que se pueden catalizar con polifenol oxidasa: (1) hidroxilación de monofenoles a o-difenoles y (2) oxidación de o-difenoles a o-quinonas.**



El ácido ascórbico es probablemente el más ampliamente utilizado como agente antipardeamiento, y además a sus propiedades reductoras, disminuye ligeramente el pH. El ácido ascórbico reduce a las o-benzoquinonas a o-difenoles, y también tiene un efecto directo en PPO (Whitaker, 1994; Golan-Goldhirsh et al., 1992).

Los compuestos que contienen tioles, como la cisteína, también son agentes reductores que inhiben el oscurecimiento enzimático. Sin embargo, para un control completo del oscurecimiento, la cantidad requerida de cisteína es muchas veces incompatible con el sabor del producto (Richard-Forget et al., 1992).

### Agentes Quelantes

Al complejar el cobre del sitio activo del PPO, los compuestos quelantes, como el ácido tetraacético de la etilenediamina (EDTA) pueden inhibir el PPO, que es una metaloenzima que contiene cobre en su sitio activo. El Sporix (hexametafosfato de sodio ácido) es un quelante poderoso y también un acidulante. La prevención del oscurecimiento en el jugo de manzana y superficies cortadas se obtuvo con las combinaciones de Sporix y ácido ascórbico (Sapers et al., 1989).

### Agentes Complejantes

Esta categoría incluye los agentes capaces de entrapar o formar complejos con sustratos de PPO o productos de reacción. Ejemplos de esta categoría son las ciclodextrinas u oligosacáridos cíclicos no reductores de seis o más residuos D-glucosa. En solución acuosa, la cavidad central de las ciclodextrinas pueden formar complejos de inclusión con fenoles, consecuentemente disminuyendo los sustratos de PPO. La  $\beta$ -ciclodextrina tiene el tamaño de cavidad más apropiada para los compuestos con complejos fenólicos, pero su solubilidad en agua es baja (Billaud et al., 1995). La  $\beta$ -ciclodextrina no fue efectiva para controlar el oscurecimiento de manzanas rebanadas, presuntamente debido a su baja difusión (Sapers y Hicks, 1989). Se encontraron grandes variaciones en las propiedades inhibitorias de las ciclodextrinas con los diferentes fenoles analizados. La fuerza del enlace de la  $\beta$ -ciclodextrina varía con los diferentes fenoles. En sistemas modelo que contienen un solo compuesto fenólico, la  $\beta$ -ciclodextrina siempre actúa como inhibidor del PPO. Cuando se analizaron las mezclas de compuestos fenólicos, los resultados fueron variables y el balance entre los sustratos de PPO presentes se pudieron modificar, obteniendo cambios

de color después de la oxidación enzimática catalizada por el PPO (Billaud et al., 1995).

### Inhibidores de Enzimas

Uno de los agentes antipardeamiento con el mayor potencial para aplicarse en productos frescos cortados es el 4-hexilresorcinol, un químico que se ha usado con seguridad en medicamento por mucho tiempo y ha sido aceptado como FDA GRASS (generalmente referido como seguro) para uso en la prevención de cambios de color en el camarón (melanosis), el cual probó ser más efectivo que el sulfito en base peso/peso (McEvily et al., 1992). Actualmente, su uso en productos de frutas y verduras se ha retrasado mientras se espera la aprobación de la FDA. Se demostró la eficiencia del 4-hexilresorcinol en pruebas preliminares en manzanas y papas cortadas (McEvily et al., 1991). La combinación de 4-hexilresorcinol con ácido ascórbico mejoró el control de oscurecimiento en rebanadas de manzanas (Luo y Barbosa-Canovas, 1995).



 **Probamex, s.a. de c.v.**

Probamex es una empresa 100% mexicana. Nuestros productos son elaborados bajo estrictas normas, brindando con ello a nuestros clientes, servicio oportuno y productos de primera calidad.

A lo largo de casi 25 años, Probamex se ha dedicado a la manufactura de ingredientes alimenticios especializados.

*¡ Fabricamos productos a la medida de sus necesidades !*

Color Caramelo: **Azurbin®**  
Azúcar Invertido: **Sucrex®**  
Azúcar Caramelizada: **Azuquem®**  
Sazonadores: **Piquipro®**  
Ingredientes Deshidratados Naturales: **Frutipro®**  
Nutriente para Levadura: **Yeastex®**  
Productos AEB Group  
Dióxido de Cloro: **Oxibac®**



Estamos a sus ordenes en:  
Calle Alice Blanco 40; Fracc. Ind. Alice Blanco; Naucalpan, Edo. de México CP 53370  
tels. 5358.7595 / 5358.7675 / 5359.0322 fax. 5358.6188  
ventaspro@probamex.com.mx www.probamex.com.mx

Nota del Editor: Existen otros agentes antipardecimiento que no se detallan en este artículo pero sí en el texto fuente.

### Aplicación de Agentes Antipardecimiento

En general, los químicos usados para prevenir o controlar el pardecimiento enzimático se usan en soluciones, frecuentemente como formulaciones que contienen uno o más compuestos que se usan para las piezas de frutas o vegetales. Se ha reportado que con algunos químicos, como el ácido ascórbico y eritórbito o sus sales, se limita la penetración dentro del tejido de la planta.

**Tabla 2. Efecto de tratamientos con ácido ascórbico (AA) y cloruro de calcio para la prevención de pardecimiento en rebanadas de manzana.**

Tratamiento <sup>1</sup>	Pérdida de Reflectancia (%) Comparado con Rebanadas de Manzanas Frescas	
	Var. 'Newton Pippin'	Var. 'Golden Delicious'
Control-inmersión en agua	62.5	60.5
0.05% CaCl <sub>2</sub>	24.8	58.9
0.1% CaCl <sub>2</sub>	23.3	51.2
0.5% AA	57.9	59.2
0.5% AA + 0.05% CaCl <sub>2</sub>	26.9	48.0
0.5% AA + 0.1% CaCl <sub>2</sub>	24.2	25.6
1% AA	25.5	45.6
1% AA + 0.05% CaCl <sub>2</sub>	20.5	39.2
1% AA + 0.1% CaCl <sub>2</sub>	4.2	17.0

<sup>1</sup>Inmersión durante 3 min en 1 L de solución antipardeciente, posteriormente 1 min de drenado y empacado en bolsas de plástico antes de su almacenamiento a ~1°C por 11 semanas.

Fuente: Adaptado de Ponting et al., 1972.

cloruro de calcio, como se presenta en la Tabla 2 (Ponting et al., 1972). En el caso de dos variedades de manzana, ej., 'Newton Pippin' y 'Golden Delicious', la combinación de altas concentraciones de ácido ascórbico (1%) y CaCl<sub>2</sub> (0.1%) produjo la menor pérdida de reflectancia o lectura de oscurecimiento. Es interesante notar que el uso de sólo CaCl<sub>2</sub> causó casi tanta inhibición en las manzanas 'Newton Pippin' pero no en el caso de las 'Golden Delicious'. La Tabla 3 muestra algunos resultados de un estudio usando diferentes combinaciones de agentes antipardecimiento en rebanadas preparadas de tres variedades diferentes de papa variando el tiempo (Mattila et al., 1993). Otros tratamientos combinados incluyeron el uso de agentes antipardecimiento y métodos físicos, como el tratamiento con calor o atmósfera controlada, la combinación de 0.5% de O<sub>2</sub> y 1% de CaCl<sub>2</sub>, el cual fue muy efectivo para minimizar el oscurecimiento en las rebanadas de peras (Rosen y Kader, 1989).

En la preparación de papas pre-peladas, el daño producido por el método de pelado tuvo un efecto significativo en el pardecimiento del producto. El tejido dañado de las papas peladas se puede eliminar por digestión alcalina o con soluciones ácidas calientes de ácido ascórbico/ácido cítrico antes del tratamiento con inhibidores del oscurecimiento (Sapers et al., 1995).

**Tabla 3. Efecto de Tratamientos Combinados en el Índice de Pardecimiento de Rebanadas de Papa 2 Horas Después de Cortarse**

Agente Antipardecimiento	pH	Índice de Pardecimiento								
		var. 'Bintje'			var. 'Van Gogh'			var. 'Nicola'		
		1 mes	5 meses	8 meses	1 mes	5 meses	8 meses	1 mes	5 meses	8 meses
0.3% AA + 0.5% ácido cítrico	2.4	0	1	1	0	6	2	4	3	3
0.5% AA + 0.5% ácido cítrico	2.4	0	2	0	1	3	2	6	1	2
0.3% AA + 0.3% ácido cítrico + 0.1% CaCl <sub>2</sub>	2.4	0	2	2	6	5	2	4	2	4
0.3% AA + 0.3% ácido cítrico + 0.2% K sorbato	3.2	0	3	3	4	4	4	9	3	3
0.5% AA + 0.5% ácido cítrico + 0.2% K sorbato	2.8	0	2	1	1	2	2	6	2	2
0.1% AA + 0.1% ácido cítrico + 0.1% Na benzoato	3.5	0	4	2	2	7	3	4	8	6
0.5% ácido cítrico + 0.005% 4-hexilresorcinol	2.6	0	1	2	0	3	2	5	3	3
Agua	5.7	1	4	6	10	22	9	67	39	13

Nota: La solución de inmersión se aplicó a 5°C por 1min en una porción de 2L de solución/kg de rebanadas de papa; las rebanadas se drenaron por 1min y se mantuvieron 2h a 23°C antes de evaluar su oscurecimiento.

Fuente: Adaptado de Mattila et al. 1993

### Tratamientos Combinados

Se pueden lograr tratamientos más efectivos para la conservación de productos frescos cortados usando tratamientos combinados. Un tratamiento combinado común incluye el ácido ascórbico y

#### Fuente:

Fresh-cut Fruits and Vegetables Science, Technology and Market. USA, 2002.

Traducción: I.A. Violeta Morales V.



# DEL CAMPO A LA MESA

INFORMACION PARA BUENOS Y SALUDABLES ALIMENTOS

¡Si te ves alentado  
por el éxito de tu  
empresa y trabajas  
con pasión por la mejora  
de la alimentación,  
este es tu espacio!

Le invitamos a visitar nuestro portal [www.delcampoalamesa.com](http://www.delcampoalamesa.com) con la seguridad de que encontrará información e ideas para hacer más negocios. **Es el primer sitio en Latinoamérica** dedicado al sector agrícola, agroindustrial y de seguridad alimentaria, visitado por más de 30,000 lectores mensuales.



**DeltaEnfoque**  
Comunicación e Innovación Productivas

Av. Río Mixcoac 36 - 501 B  
Col. Actipan 03230 México D.F. TEL:  
+ 52 (55) 36-26-01-98, 55-34-43-44  
TEL/FAX: +52 (55) 55-34-41-53  
[info@deltaenfoque.com](mailto:info@deltaenfoque.com)

[www.delcampoalamesa.com](http://www.delcampoalamesa.com)