

Una Novedosa Alternativa para Prolongar la Conservación de Frutas: Inhibidores de la Acción del Etileno

Juan Pablo Zoffoli

El compuesto 1- metilciclopropeno es el producto que posee las mejores propiedades de estabilidad y efectividad en el control de la acción del etileno



La conservación de la calidad de un producto vegetal, lograda con las diferentes prácticas de producción, es uno de los principales objetivos técnicos que deben enfrentar las empresas dedicadas a la comercialización de frutas y vegetales.

La conservación de la fruta se basa principalmente en reducir la actividad metabólica del producto; con esto se logran efectos en la calidad tan importantes como atrasar el proceso de solubilización de las pectinas (ablandamiento), degradación de ácidos y clorofila (degradación del color verde, amarillamiento) y los desórdenes relacionados con la senescencia del tejido. Complementario a lo anterior se deberá cosechar en el momento fisiológico óptimo que asegure la maduración de consumo con la máxima aceptabilidad organoléptica del producto; además de mantener la sanidad y evitar la deshidratación.

La implementación de la tecnología de refrigeración es fundamental para conseguir los objetivos anteriores, ya que los procesos metabólicos asociados a la respiración se reducen y el tiempo de conservación se prolonga. En este mismo sentido la complementación con

la modificación de los gases en el entorno de la fruta (reducción del oxígeno y aumento del anhídrido carbónico) acentúan el objetivo propuesto inicialmente de reducir el metabolismo.

Por años la prolongación del almacenaje de la fruta se ha basado principalmente en estas dos herramientas y se complementa con medidas o con principios tecnológicos similares, como la tecnología de atmósfera modificada, a través de las alteraciones en el embalaje o el uso de recubrimientos superficiales, y la aplicación de productos con propiedades antioxidantes para el control de desórdenes fisiológicos.

Los estudios del proceso de maduración han sido importantes para entender su regulación y los cambios asociados. Así, el descubrimiento del gas etileno, como la hormona de la maduración de ciertas especies a principio de los años 30 y su mayor entendimiento a partir de los 50, ofreció un amplio espacio para el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas a prolongar la conservación.

La introducción de los sistemas de remoción del etileno se basó en la búsqueda de mecanismos que favorecieran la oxidación del gas, como los productos químicos permanganato de potasio y ozono, o los sistemas catalíticos a alta

temperatura. Estos, aunque fáciles de implementar, han tenido resultados de una magnitud comercial restringida a especies de alta sensibilidad al etileno, como es el caso de kiwi, y en aquellas de alta perecibilidad, como la variedad de manzana Gala, pero no ha sido factible encontrar un resultado importante en magnitud en otras variedades de manzanas u otras especies, probablemente debido a que es difícil reducir la concentración interna bajo el nivel crítico de acción.

Los trabajos entre los años 60 y 80 realizados en torno al conocimiento de las enzimas que participan en la síntesis del etileno llevaron al desarrollo de productos que inhiben la cantidad de gas producida y atrasan la maduración de la fruta en el árbol, pero no han sido suficientes para prolongar este efecto durante la conservación.

El producto de mayor uso e investigación en esta línea es la 1-aminoetoxivinilglicina (AVG), comercializado bajo el nombre de Retain. En el último tiempo un nuevo grupo de productos químicos, que actúan a nivel de la acción del etileno, ha sido introducido con el objeto de frenar los procesos relacionados con la maduración. Por la efectividad e impacto que pueden llegar a tener estos en el largo plazo, el laboratorio de postcosecha de la

Departamento de Fruticultura y Enología. PUCC

Pontificia Universidad Católica de Chile ha iniciado una serie de trabajos orientados a comprender su uso y la efectividad según los requerimientos de la industria de exportación de fruta del país.

El presente artículo resume los principales antecedentes básicos sobre estos productos, con especial referencia al producto 1-metilciclopropeno, de manera de optimizar sus efectos y racionalizar sus usos.

El Etileno y sus Análogos

La comprensión del modo de acción del etileno, sobre el proceso de maduración de los frutos, ha sido utilizado para estudiar los compuestos análogos de acción similar o represora del etileno en frutos y vegetales. Se ha propuesto que la acción del etileno se produce por la unión de la molécula con receptores que se ubican en la membrana de la célula a través de un metal. Utilizando esta propiedad se ha estudiado la capacidad de acoplamiento de diferentes productos con el ion plata, metal que interactúa con etileno de una manera similar a la relación etileno-receptor.

En estos estudios se demostró que la capacidad del etileno para asociarse con receptores no es única y una amplia gama de compuestos orgánicos de naturaleza química similar al etileno tiene la propiedad de ocupar el sitio activo; la afinidad de la unión, sin embargo, varía. Estos productos se conocen como análogos de etileno.

En general, compuestos tipo olefina con doble enlace adyacente al carbono terminal tienen respuesta similar al etileno. Las estructuras *trans* olefinas y olefinas cíclicas, en comparación a las *cis* olefinas, tienen mayor capacidad para formar una unión estrecha con el complejo receptor-metal. Otros compuestos, como monóxido de carbono y acetileno, son también activos, pero requieren una concentración mayor para producir la asociación.

Los Compuestos Análogos Competitivos con Etileno y su Modo de Acción

A través de los trabajos con compuestos de acción similar al etileno se descubrió la existencia de ciertas moléculas, también tipo olefinas, que tienen la propiedad de acoplarse con receptores en forma similar al etileno, pero que no producen los efectos sobre la maduración, incluso en presencia del gas etileno. Una de las propiedades importante de estos compuestos olefinos es que son moléculas completamente substituidas; ejemplos de este tipo de compuestos son el norbornadieno, el norbornene y el *cis*-2-buteno, pero no el 1-buteno que se une al sitio del etileno y produce efectos similares en la fruta.

En la figura 1 se describen las estructuras de los análogos del etileno y en la figura 2 se explica su relación con el receptor. La afinidad del etileno con el receptor se estima y cuantifica a través del tiempo que requiere el 50% de las moléculas en desacoplarse; existen antecedentes de que esto puede demorar entre dos minutos y 24 horas.

Los análogos competitivos de etileno más eficaces son los que se unen por más tiempo al receptor y por lo tanto, logran competir en mejor forma con el etileno; mientras menor es el tiempo de acoplamiento con el receptor más se

justifica la continuidad en la aplicación o la re aplicación del producto competidor o inhibidor. Por otro lado, en algunas especies la afinidad puede ser tan alta que concentraciones exageradas impiden la maduración óptima de consumo.

Se ha postulado que la pérdida de efecto del producto análogo sobre el sitio activo se debería a la formación de nuevos receptores o a la reactivación del receptor propiamente tal.

A continuación se describen las características de algunos productos que han sido utilizados en investigación, muchos de ellos no han cumplido con los requisitos comerciales, pero el conocimiento de sus limitaciones permite comprender mejor las nuevas alternativas.

Entre los productos que bloquean la acción del etileno figura el 2,5 norbornadieno (2,5 bicyclohepta-2,5 dieno, 2,5-NBD), el cual es líquido a temperatura ambiente y volátil cuando se aplica en una corriente de aire. Se caracteriza por generar su acción a bajas concentraciones pero requiere una exposición permanente para asegurar su efectividad. La naturaleza cíclica de esta olefina se cree que es la responsable del efecto buscado.

Las principales desventajas de este producto para su aplicación comercial

Figura 1. Molécula de etileno y los análogos mas importantes para este gas.

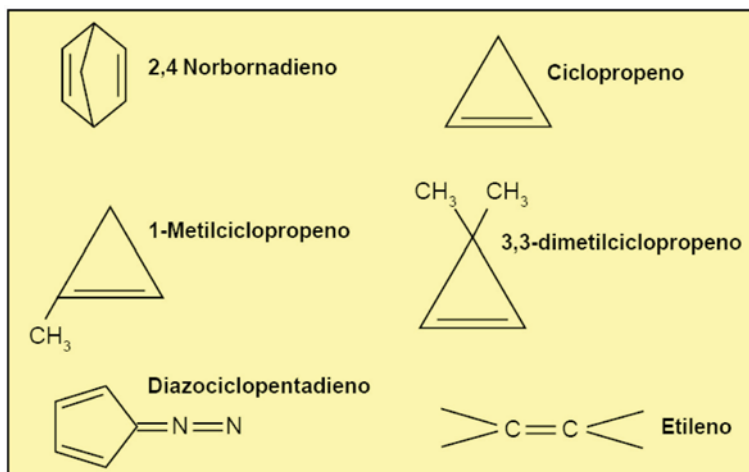
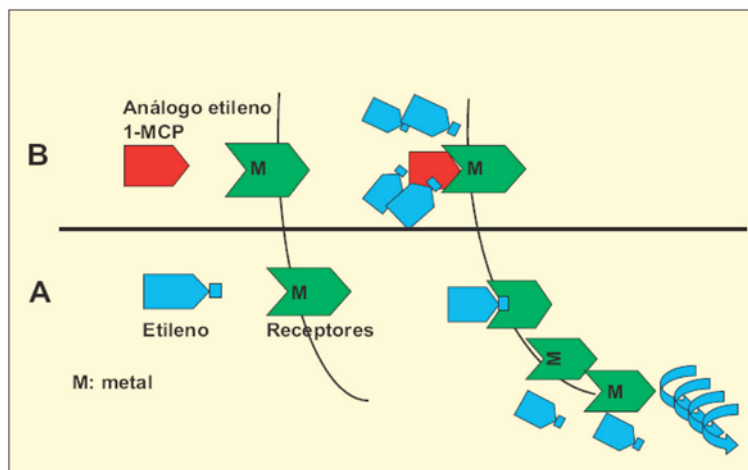


Figura 2. Esquema que representa la interacción entre etileno (A) y sus análogos (B) con los receptores en la membrana. El etileno se acopla a una región del receptor, la alteración química de la molécula produce la transcripción en ARNm para la formación de proteínas y enzimas responsables de la maduración. Compuestos análogos al etileno (B) se acoplan al receptor en forma prolongada y la característica química de la molécula impide la secuencia descrita para el etileno y su acción.



es su desagradable olor, la necesidad de aplicación continuada del producto y los riesgos de producir el efecto opuesto al estimular la producción de etileno.

La investigación en la búsqueda de compuestos de mayor afinidad con los receptores ha encontrado resultados positivos con una serie de otros productos, como las moléculas tipo ciclopentano y, en especial, el producto resultante de la irradiación de diazociclopentadieno (DACP), el cual puede bloquear a los receptores por varios días. Este producto se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente, pero es bastante inestable y no ha logrado ser sintetizado. El DACP, además, es explosivo cuando se concentra y, por lo tanto, debe ser almacenado en solución con algún solvente orgánico, lo cual restringe su uso comercial.

El producto trans-cicloocteno es otra alternativa líquida, lo suficientemente volátil como para hacer aplicaciones en cámara. Es considerado un buen inhibidor de la acción del etileno, pudiendo ser efectivo con concentraciones muy bajas, 50 a 100 veces menores que

el 2,5-NBD. La principal limitación del producto es la dificultad en su síntesis y debe ser aplicado continuamente para lograr resultados y también tiene las limitaciones de olor.

El mejor efecto entre las diferentes alternativas se encuentra en los productos de tipo ciclopropanos, existiendo aquellos de baja o nula afinidad y algunos que pueden llegar a bloquear la acción del etileno por meses. El ciclopropano, el 1-metil ciclopropano (1-MCP) y el 3,3 dimetilciclopropano (3,3 DMCP) son considerados antagonistas efectivos de la acción del etileno, pero el ciclopropano y el 1-MCP son catalogados como 1,000 veces más activos que 3,3 DMCP.

Todos estos compuestos son volátiles a temperatura ambiente, se usan en bajas concentraciones y no presentan olor.

De estas alternativas el compuesto 1- metilciclopropano es el producto que posee las mejores propiedades de estabilidad y efectividad en el control de la acción del etileno y en él se han concentrado los esfuerzos para su aplicación comercial en frutas y vegetales.

1-Metilciclopropano (1-MCP)

La propiedad inhibitoria de la acción del etileno del producto 1-MCP fue descubierta y patentado en EUA en 1996 por Sisler y Blankenship. Los primeros trabajos y el desarrollo comercial del producto se realizó en flores, demostrando el efecto al atrasar la senescencia natural. El producto es comercializado, bajo el nombre Ethylblock y Smartfresh en flores y frutos u hortalizas, respectivamente.

El producto tiene registro para ser usado en EUA en flores y recientemente fue aprobado para su aplicación en manzanas. En la actualidad el producto puede ser comercializado para ser aplicado en manzanas en Chile, Argentina y Nueva Zelanda. El 1-MCP esta clasificado por la Agencia de Protección del Ambiente de EUA como un regulador de crecimiento, con un modo de acción inocuo para el ser humano, cuya concentración no supera las 5 ppb en la pulpa de manzanas.

La aplicación se realiza en forma gaseosa, a través de la volatilización del compuesto en contacto con agua caliente (40°C), con agitación o aireación. La concentración efectiva varía entre 50 a 1000 ppb, y se dosifica en función del volumen total de la cámara. Por ejemplo la dosificación de 1,6 g de SmartFresh 0,14% en 1 m³ producirá 1000 ppb de 1-MCP.

En la actualidad es posible contar con generadores de 1-MCP con cantidades fijas del producto calculadas para volúmenes conocidos de cámaras. Los resultados con aplicaciones comerciales de 1-MCP en flores, demuestran que se mantienen insensibles al etileno por un período de 12 a 15 días a 24 °C.

Los frutos de manzanos que son tratados con este producto y son almacenados a 0°C no responden a la aplicación exógena de etileno por un período de un mes, en cambio, si se almacenan a 20°C, la respuesta en maduración ocurrirá después de 12 a 14 días de la aplicación.

Además de los efectos de inhibición de la acción del etileno, se ha demostrado su efectividad en la reducción de la cantidad de etileno producida por la fruta, que es más importante en variedades de mayor sensibilidad al gas, como es el caso de la manzana cv Gala. En trabajos efectuados por el autor, se demostró el impacto, sobre la producción de etileno, de la aplicación gaseosa de 1 g/m³ de 1-MCP, en el momento de la cosecha, en manzanas cv Gala. (Figura 3).

La efectividad del producto ha sido demostrada en numerosas especies, especialmente, en aquellas que producen etileno, y asociada a los parámetros de la maduración que están relacionados con este gas. Los efectos más importantes en las diferentes especies se pueden resumir en reducción del ablandamiento y la pérdida de acidez, además de mantener el color verde; estos efectos se mantienen durante el proceso de comercialización a alta temperatura.

En el caso del control de desórdenes fisiológicos, el producto no ha sido capaz de reducir la harinosidad en frutos de



Foto: Health and Fitness Now

duraznos y nectarinos cuando se aplica en conjunto con el proceso de atraso de enfriamiento, pero ha frenado la expresión de desórdenes asociados con la senescencia del tejido, como pardeamiento, transparencia de la pulpa y el desarrollo de coloración rojiza en ciruelas. En manzanas se ha reducido la expresión de la piel grasosa, asociada con la sobremaduración, y el desarrollo de escaldadura, pero no los síntomas de pardeamiento interno de la variedad de

manzana Braeburn y ha incrementado los daños de pardeamiento en el cultivar Fuji, incluso en condiciones de bajo anhídrido carbónico. La reabsorción del corazón acuoso es más lenta o puede no ocurrir en la fruta tratada con 1-MCP.

En resumen, los productos inhibidores de la acción de etileno, como el 1-MCP ofrecen interesantes posibilidades para prolongar la conservación de la fruta. La efectividad en reducir el proceso de maduración ha sido demostrada en muchas especies; sin embargo, para conseguir la máxima calidad al consumo no basta con retrasar el ablandamiento, sino que debe asegurarse la maduración final de la fruta sin el desarrollo de desórdenes.

Una sobredosis del producto puede atrasar la maduración en forma permanente y otras alteraciones fisiológicas pueden afectar la calidad final del producto; por lo tanto, es importante definir la concentración óptima en función de la especie, la variedad y el manejo térmico de la fruta.

Fuente:

Revista de Extensión de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Universidad Católica de Chile, 2002.

Figura 3. Producción de etileno, durante el almacenaje a 0°C, de manzanas cv Gala tratadas en la cosecha con 1 g/m³ de 1-MCP por 24 horas a 5°C.

