

IMPORTANCIA DEL ETILENO EN LA POSTCOSECHA DE FLORES

Inés Figueroa Cares
Ingeniero Agrónomo M Sc
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chile

Introducción

Durante los últimos años ha aumentado el interés por el estudio de la calidad de las flores cortadas durante todas las etapas del proceso productivo. Sin embargo hay algunos aspectos que demandan una mayor atención como por ejemplo, el prolongar su longevidad una vez cosechada. Durante esta etapa hay varios factores que inciden directamente en la duración de la flor ya cortada, encontrándose entre ellos la producción de etileno por parte de las mismas flores, o bien estando presente en el ambiente. Por lo tanto es de gran importancia conocer el efecto que produce en las flores cortadas y su forma de control más adecuada y eficiente.

Naturaleza del etileno

Entre las diferentes moléculas con características de reguladores del desarrollo, tanto en las plantas como en el reino animal, el etileno es la estructura química más simple con actividad en forma gaseosa. Su efecto en las plantas se produce a muy bajas concentraciones y se manifiesta en prácticamente todas las etapas de su ciclo biológico, desde la germinación de las semillas hasta la maduración y senescencia, o en respuesta al estrés (Zacarías y Lafuente, 2000).

Según su estructura química (Figura 1), el etileno, producto natural del metabolismo vegetal, es la hormona más simple del crecimiento vegetal (Lira, 1994).

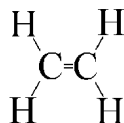


Figura 1. Estructura química del etileno

Existen distintas vías de síntesis de etileno en las plantas. Algunas utilizan ácidos grasos no saturados y también algunos organismos inferiores como bacterias y hongos pueden sintetizar etileno a partir de ácido glutámico. Sin embargo en plantas superiores la vía de síntesis más común es a partir de metionina y la primera etapa es la formación de S-adenosilmetionina (SAM) (Figura 2). Esta conversión está catalizada por la enzima S-adenosilmetionina sintasa y no es específica de la síntesis de etileno. La primera etapa específica de la síntesis de etileno la constituye la conversión de SAM en el ácido 1-

aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), a través de la enzima ACC sintasa (ACS). Existen múltiples factores que estimulan la síntesis de ACC sintasa en plantas. Entre ellos la senescencia, daño en los tejidos, bajas temperaturas, deficiencia de oxígeno y agua. La etapa final de la síntesis de etileno la constituye la oxidación de ACC a etileno por la enzima ACC oxidasa (ACO). Esta actividad ha sido durante varias décadas difícil de estudiar, hasta el descubrimiento de que requiere iones hierro y ascorbato, como otras oxigenasas, para su actividad. Además, la actividad es estimulada por CO₂, presencia de O₂ y de radicales libres.

El conocer la ruta de síntesis de etileno permite controlar o acelerar el proceso.

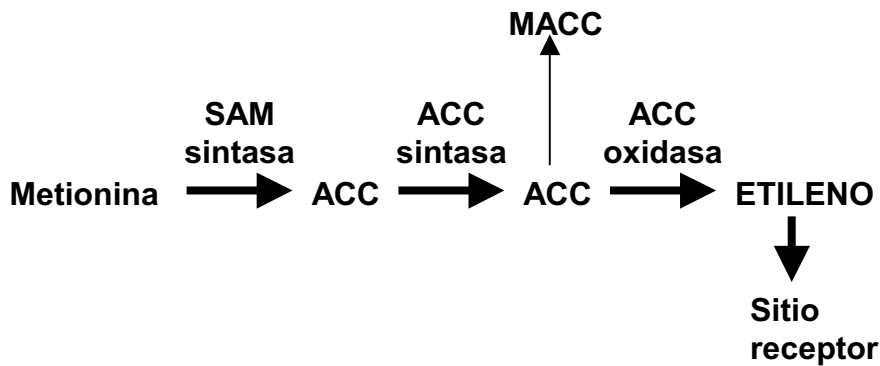


Figura 2. Biosíntesis del etileno

En el caso de la ACS que es una enzima dependiente de fosfato de piridoxal, puede ser inhibida por los ácidos aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) o aminooxiacético (AOA), que son de gran utilidad para determinar cómo se produce la regulación de la producción de etileno por los distintos inductores (Zacarías y Lafuente, 2000). Por otro parte la ACO puede inhibirse por acción de bajas temperaturas, bajas concentraciones de O₂, ácido salicílico, eliminadores de radicales libres y presencia de iones Co⁺⁺. De esta manera es posible controlar la producción de etileno interviniendo las distintas etapas de su ruta de síntesis.

El etileno para actuar debe unirse a un sitio receptor que puede encontrarse en las membranas y contiene Cu⁺. Por lo tanto, también se puede controlar el etileno bloqueando directamente la molécula, o el sitio receptor. Entre los compuestos bloqueadores del sitio receptor se encuentran los Quelatos de Cobre que se unen directamente al Cu⁺; en cambio CO₂, Ag⁺ y Norbornadieno se unen directamente al etileno. Es por esto que el etileno proveniente de ácidos grasos no saturados o de ácido glutámico, cuya síntesis es diferente al sintetizado a partir de metionina, sólo se puede controlar de esta forma.

Senescencia de las flores

El etileno es por excelencia la principal hormona vegetal que regula el proceso de senectud en las flores. En la naturaleza, la polinización de las flores desencadena la liberación de etileno que conduce al marchitamiento de la flor, a que se inicie la formación de frutos, y finalmente a que éstos maduren (Halevy y Mayak, 1981; Paulin, 1997). Tras la antesis y la

polinización, comienza la senescencia, tanto de los estambres como de la corola de una flor. El envejecimiento de la corola, pétalos y sépalos, es el proceso más estudiado de la senescencia floral, y al igual que ocurre durante la senescencia de las hojas, el inicio y el desarrollo de la senescencia en las flores depende en muchos casos de la hormona etileno. Es así como encontramos que en algunas especies florales, clasificadas como climatéricas (cuya maduración continúa una vez que la flor ha sido separada de la planta), la presencia de etileno acelera el proceso, a diferencia de otras especies donde el etileno no participa en dicho proceso, que son las no climatéricas. Entre las especies climatéricas se encuentra el rosal (*Rosa spp*) y clavel (*Dianthus caryophyllus*) (Quesada y Valpuesta, 2000). Durante la senescencia se produce una disminución brusca de los niveles de proteínas, así como un incremento en la actividad de enzimas hidrolíticas. Las membranas también resultan afectadas durante la senescencia de los tejidos florales, su degradación es secuencial y termina con la hidrólisis de sus lípidos y proteínas. Por último se activan las rutas catabólicas de los principales pigmentos como carotenoides y flavonoides, lo cual se traduce en un decoloramiento de las flores durante el envejecimiento. La calidad y longevidad de las flores cortadas también dependen de la composición del ambiente en que se encuentran, ya que los efectos más nocivos son causados por el etileno presente en la atmósfera. En un ambiente normal, no contaminado las concentraciones de etileno varían entre 0,003 y 0,005 μl , dependiendo de la época del año. En otoño e invierno el contenido de etileno es más alto ya que hay una menor tasa de degradación fotoquímica (Nowak y Rudnicki, 1990).

El etileno en la atmósfera puede originarse de fuentes naturales como plantas y microorganismos, o puede producirse como producto de instalaciones industriales y motores de combustión. Es producido por muchas flores, generalmente en tres fases (Figura 2).

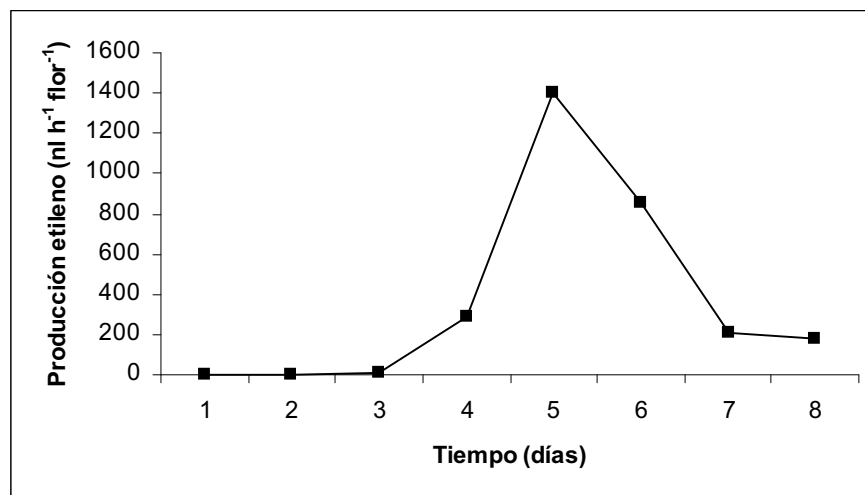


Figura 2. Producción de etileno en flores de clavel (A los 5 días se inicia la senescencia)

Durante las primeras etapas de formación de la flor la producción de etileno es aún muy baja, sin embargo, durante su maduración, se observa un marcado aumento en la

producción de etileno, luego se observa una disminución y posteriormente se estabiliza a un nivel bajo. En botones florales y flores jóvenes la producción es baja y estable.

Se ha encontrado que el etileno contenido en los tejidos florales no se incrementa en forma notoria hasta la etapa de senescencia, sin embargo igualmente hay presencia del gas en la etapa previa. Se debe tener en cuenta que las flores están compuestas por distintos órganos como pétalos, sépalos, pistilos y ovarios, los cuales se encuentran en distintas etapas de su desarrollo. La suma de los cambios internos que ocurren en cada una de estas etapas, afectan por lo tanto la sensibilidad al etileno ya que ocurre una autoinducción de la producción de etileno durante la senescencia, lo cual se inicia una vez que la sensibilidad al etileno ha cambiado en respuesta al gas ya existente. En flores de clavel el etileno es producido principalmente por el estilo, ovarios y pétalos. En estos últimos en la zona basal en mayor cantidad y más tempranamente. La polinización es un proceso que desencadena la producción de etileno y acelera la senescencia de los pétalos. Debido a esto, los primeros signos de senescencia aparecen después de la polinización y son precedidos por un incremento notable de la producción de etileno en todos los órganos florales (Nowak y Rudnicki, 1990; Woodson *et al*, 1992). La reacción de un tallo floral al ser separado de la planta es incrementar la producción de etileno, para que los órganos reproductivos maduren con mayor rapidez y así asegurar su sobrevivencia. Sin embargo ésta es una característica indeseada en flores de corte, ya que disminuye su longevidad floral y, por lo tanto, su valor comercial (Cubillos *et al*, 2002).

Sensibilidad de las flores al etileno

Dependiendo de la especie, las flores cortadas presentan diferentes niveles de sensibilidad al etileno (Cuadro 1). Entre los síntomas que pueden presentar las flores afectadas por etileno se encuentran abscisión de hojas y flores, aborto floral y epinastia. Además, a medida que avanza la senescencia de las flores, se incrementa la sensibilidad. Algunas especies altamente susceptibles al etileno son sensibles al exponerse a concentraciones entre 1 y 3 ppm durante 24 horas, en cambio las menos sensibles resisten concentraciones de hasta 10 y 100 veces más altas. También se ha encontrado que flores cortadas de diferentes cultivares de una misma especie, como en el caso de rosas y alstroemerias, presentan distintos grados de sensibilidad al etileno (Nowak y Rudnicki, 1990).

La tendencia de las investigaciones actuales es generar nuevos productos que actúen contra el etileno endógeno y exógeno, cuyos ingredientes sean fácilmente degradables, para así emplearlos a nivel comercial en la postcosecha de las flores cortadas.

Control del etileno en flores cortadas

Los efectos dañinos del etileno en las flores dependen de diversos factores como concentración de etileno en el ambiente, tiempo de exposición de las flores al gas, temperatura, concentración de CO₂ en la atmósfera, época del año, estado de desarrollo y calidad de la flor al momento de ser cosechada. Es así como para reducir la concentración de etileno tanto en invernaderos, áreas de empaque y cámaras de almacenamiento, se deben incluir métodos de prevención de la contaminación por el gas,

remoción del etileno de la atmósfera e inhibición de la producción y acción del etileno (Nowak y Rudniki, 1990).

Cuadro 1. Nivel de sensibilidad al etileno de flores cortadas (Nowak y Rudnicki, 1990; Dole y Wilkins, 1999; Armitage y Laushman, 2003)

Especies altamente sensibles	Especies relativamente sensibles
<i>Alstroemeria</i> híbridos	<i>Allium</i> spp e híbridos
<i>Antirrhinum majus</i>	<i>Chrysanthemum</i> spp
<i>Aster</i> híbridos	<i>Gerbera jamesonii</i>
<i>Dahlia</i> híbridos	<i>Gladiolus</i> híbridos
<i>Dianthus caryophyllus</i>	<i>Hyacinthus orientalis</i>
<i>Eustoma grandiflorum</i>	<i>Liatris spicata</i>
<i>Freesia</i> híbridos	<i>Matthiola incana</i>
<i>Gypsophila paniculada</i>	<i>Paeonia</i> híbridos
<i>Iris</i> híbridos	<i>Protea</i> sp (y otros géneros relacionados)
<i>Lilium</i> híbridos	<i>Ranunculus asiaticus</i>
<i>Limonium sinuatum</i>	<i>Sandersonia aurantiaca</i>
<i>Narcissus</i> híbridos	<i>Strelitzia reginae</i>
Orquídeas (varias especies)	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
<i>Rosa</i> híbridos	
<i>Zinnia elegans</i>	

Específicamente el etileno puede ser controlado en producciones de flores cortadas mediante los siguientes métodos:

1. Protección de las plantas de daños por insectos y enfermedades
2. Evitando la polinización por insectos
3. Controlando los daños mecánicos a las flores durante la cosecha, clasificación y empaque
4. Cosechando las flores en el estado óptimo de desarrollo del botón floral
5. Manteniendo una adecuada sanidad en invernaderos y demás instalaciones donde se manipulan las flores ya cortadas
6. Reduciendo la temperatura de las flores inmediatamente después de cosecharlas
7. Evitando el almacenamiento de las flores por largo tiempo junto a frutos y hortalizas, ya que producen altas cantidades de etileno

8. Evitando almacenar flores con botones aún cerrados junto a flores completamente abiertas
9. Eliminando equipos de combustión desde invernaderos y demás instalaciones
10. Manteniendo una ventilación adecuada en todas las instalaciones

Sin embargo, como se ha mencionado, la sensibilidad de las flores cortadas al etileno, es mayor en unas flores que en otras, además se sabe que después del almacenamiento en frío, las flores son más sensibles a los efectos del etileno. Debido a lo anterior y con la finalidad de preservar la calidad de las flores, se ha buscado insensibilizar las flores a los efectos del etileno. Uno de los medios más utilizados para lograrlo es el empleo de sales de plata, debido al efecto bloqueador del etileno por medio del ión Ag^+ (Halevy y Kofranek, 1977; Faragher *et al*, 1983).

En un principio se comenzó a utilizar el nitrato de plata (AgNO_3), sin embargo debido a su escasa movilidad no permite alimentar las flores cortadas a través del tallo. Por esta razón el nitrato de plata se ha reemplazado por tiosulfato de plata (STS) que es muy móvil, lo cual lo hace ser más efectivo comercialmente.

El tratamiento con tiosulfato de plata se inicia desde el momento de cosecha, quedando las flores insensibilizadas durante todo su proceso evolutivo. Este tratamiento se ha llamado “tratamiento de carga” y constituye el primer eslabón en los sistemas que buscan conservar la calidad (Paulin, 1997). Es importante tener en cuenta que la eficiencia de los tratamientos a base de tiosulfato de plata, varía en función de la sensibilidad de las distintas especies al etileno exógeno y, en un buen número de ellas, el tratamiento de carga no se justifica. De acuerdo a esto se ha logrado definir tres grupos de flores en función a la eficiencia del tratamiento:

- Grupo 1.** Comprende especies para las cuales el tratamiento con STS es indispensable
- Grupo 2.** Comprende especies cuya longevidad se prolonga significativamente al ser tratadas con STS
- Grupo 3.** Comprende especies insensibles al STS, por lo tanto no se justifica su utilización

En el Cuadro 2 se presentan algunas especies y su clasificación dentro de estos tres grupos.

A pesar de su eficiencia, la utilización de sales de plata presenta problemas relacionados con su comprobada toxicidad y los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas al momento de disponer de sus residuos (Paulin 1997; Dole y Wilkins, 1999; Armitage y Laushman, 2003). Esto ha llevado a la búsqueda de alternativas. De esta forma se ha estudiado la aplicación de AOA y AVG que tienen la propiedad de inhibir la síntesis de etileno catalítico a nivel de la enzima ACS (Reid y Wu, 1992; Paulin, 1997). Se han reportado resultados positivos con productos en base de AOA aplicados en clavel, sin embargo, la longevidad floral de claveles tratados con AOA ha sido siempre menor que la de los tratados con STS. Esto se debe a que como el AOA es un inhibidor de la síntesis de etileno, no impide el efecto del etileno proveniente de otras fuentes. Sin embargo, como no es nocivo al medio ambiente, se ha convertido en una de las alternativas viables ecológicamente (Cubillos *et al*, 2002). Así mismo aplicaciones de aminotriazol, un

compuesto que actúa en forma gaseosa, también inhibe la ACC sintetasa y la producción de etileno (Altman y Solomos, 1994).

Cuadro 2. Eficiencia del tratamiento con STS en varias especies de flores cortadas (Paulin, 1997).

Uso indispensable	Uso recomendable	Insensibles
<i>Antirrhinum majus</i>	<i>Dianthus caryophyllus</i>	<i>Anthurium</i> híbridos
<i>Delphinium</i> híbridos	<i>Crocasmia</i> híbridos	<i>Chrysantemum moriflorum</i>
<i>Dendrobium</i> híbridos	<i>Freesia x hybrida</i>	<i>Dalia</i> híbridos
<i>Eustoma grandiflorum</i>	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Gerbera jamesonii</i>
<i>Gypsophila paniculada</i>	<i>Mathiola incana</i>	<i>Nerine bowdenii</i>
<i>Lilium</i> híbridos		<i>Rosa</i> híbridos (excepto algunas variedades)
<i>Viola odorata</i>		

Otro compuesto que también ha sido estudiado es el 1-metilciclopropano (1-MCP). Corresponde a un compuesto orgánico volátil, relativamente simple, que modifica la unión del etileno al sitio activo y, por lo tanto, previene la acción del etileno exógeno que pueda actuar en la senescencia floral. El 1-MCP ha demostrado ser efectivo en *Alstroemeria*, *Antirrhinum majus*, *Dianthus caryophyllus*, *Matthiola incana* (Peiser, 1986; Serek *et al*, 1994 y 1995). Su efecto se incrementa linealmente con la concentración y su aplicación comercial podría ser antes del empaque, en los vehículos de transporte .

También recientemente Yamamoto *et al* (1994) estudiaron en claveles el efecto del ácido cis-profenilfosfónico (PPOH), análogo estructural del etileno, el cual aplicado como pretratamiento permite tener resultados comparables con los obtenidos con las sales de plata. Sin embargo, existe la premisa que el etileno estará invariablemente presente en el ambiente donde se encuentren las flores ya cortadas, por lo tanto debe ser removido del lugar de almacenaje antes que los daños ocurran. En la actualidad, a nivel comercial se ha incrementado el uso de “adsorbentes” de etileno. Uno de ellos es el permanganato de potasio, el cual se comercializa en forma de pellets impregnados de esta sustancia. Para que sean eficientes, deben ser colocados en el circuito de ventilación del lugar de almacenaje para que el aire conteniendo etileno pase a través del permanganato quedando retenido en él. La acción de este compuesto se comprueba al observar un cambio de color del pellet, de púrpura a café, cuando el etileno ha sido removido del aire (Bame, 2004)

Comentario final

Es importante tener en cuenta que el primer factor que determina la duración de una flor cortada es su estado de desarrollo y calidad al momento de ser cosechada, ya que sólo se

puede esperar mantener su calidad pero no mejorarla una vez ya separada de la planta. En una flor cosechada en forma tardía, cuya senescencia ya ha comenzado, es imposible revertir este proceso. Además se deben tener en cuenta las características de la especie, ya que en algunos casos el uso de los compuestos ya mencionados no se justifica, y su utilización sólo contribuirá en aumentar los costos del producto.

Literatura citada

Altman, S. and T. Solomos. 1994. Inhibition of ethylene biosynthesis and action in cut carnations (*Dianthus caryophyllus* L.) by aminotriazole. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(2):282-287.

Armitage, A. and J. Laushman. 2003. Specialty cut flowers. Timber Press. USA. 586 pp.

Bame, M. 2004. Ethylene eliminators. Floraculture Internacional 14(6):30-31.

Cubillos, E.; V. Molina; V. Flórez y G. Fischer. 2002. Efecto de inhibidores de etileno en la longevidad floral del clavel (*Dianthus caryophyllus*) como probables sustitutos del tiosulfato de plata (STS). (on line)

<http://www.agronomia.unal.edu.co/biblioteca/public/revista/v18/Clavel.htm>

Dole, J. and H. Wilkins. 1999. Postharvest. In: Floriculture: principles and species. Prencice-Hall, Inc. USA. pp. 123-137.

Faragher, J.; A. Borochoy and A. Halevy. 1983. Effect of low temperature storage on the physiology of cut carnation flowers. Acta Hort. 138:218-223.

Halevy, A. and A. Kofranek. 1977. Silver treatment of carnations flowers for reducing ethylene damage and extending longevity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102:76-77.

Halevy, A. and S. Mayak. 1981. Senescence and postharvest physiology of cut flowers, Part 2. Hortic. Rev. 1:204-236.

Lira, R. 1994. Fisiología vegetal. Trillas. México. 237 pp.

Nowak, J. and R. Rudnicki. 1990. Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens and potted plants. Timber Press, Inc. USA. 210 pp.

Paulin, A. 1997. Postcosecha de las flores cortadas: bases fisiológicas. Ediciones HortiTecnia Ltda.. Colombia. 141 pp.

Peiser, G. 1986. Levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase activity, ACC and ACC-conjugate in cut carnation flowers during senescence. *Acta Hort.* 181:99-103.

Quesada, M.A. y V. Valpuesta. 2000. Juvenilidad, senescencia y abscisión. *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.) Fundamentos de fisiología vegetal.* McGraw Hill. pp. 451-464.

Reid, M. and M. Wu. 1992. Ethylene and flower senescence. *Plant. Growth Reg.* 11:37-43.

Serek, M.; E.C. Sisler y M.S. Reid. 1995. Effects of 1-MCP on vase life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regul.* 16(1):93-97.

Serek, M; E.C. Sisler and M.S. Reid. 1994. Novel gaseous ethylene binding inhibitor, prevents ethylene effects in potted flowering plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(6):1230-1233.

Woodson, W.; K. Park ; A. Drory; P.B. Larsen and H. Wang. 1992. Expression of ethylene biosynthetic pathway transcripts in senescing carnation flowers. *Plant Physiol.* 99(2):526-532.

Zacarias, L. y M.T. Lafuente. 2000. Etileno, ácido abscísico y otros reguladores del desarrollo. *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.) Fundamentos de fisiología vegetal.* McGraw Hill. pp.361-375.