

Efecto del etileno en el crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*. Jacq.), en fase de vivero

Carlos Eduardo Aucique-Pérez¹; Edison Steve Daza¹;
Hernán Mauricio Romero^{1,2*}

Resumen

El etileno (ET) es un gas producido por todas las plantas y un extenso número de microorganismos. En las plantas funciona como una hormona gaseosa que regula múltiples procesos fisiológicos y de desarrollo como son la emergencia de plántulas, senescencia de hojas y flores, maduración y abscisión de órganos; además de estar vinculado a reacciones de respuesta a patógenos. La aplicación foliar de Ethephon, molécula que al pH celular libera etileno (ET), en dosis de 5.000 y 10.000 ppm sobre plantas de vivero de palma de aceite (*Elaeis guineensis*. Jacq), causó alteraciones en el patrón de crecimiento y desarrollo de las hojas jóvenes, caracterizándose por una reducción o detención en la elongación del raquis que semeja un “achaparramiento”, acompañado de una apertura prematura de las láminas foliares y la formación de folíolos cortos. Asimismo ocasionó una reducción en la altura de las plantas de entre el 45 y 60 % dependiendo de la dosis de ET. El efecto de la aplicación de ET se observó desde 15 días después de la primera, sin embargo, la respuesta de “achaparramiento” de las plantas fue disminuyendo con el tiempo hasta desvanecerse en su totalidad pasados 60 días, de la última aplicación, tiempo en el cual se restableció el patrón normal de crecimiento y desarrollo.

Introducción

En los organismos pluricelulares su funcionamiento normal exige mecanismos precisos de regulación que permitan una

perfecta coordinación de actividades en las células, tejidos y órganos en respuesta a las fluctuaciones ambientales. En las plantas, el mecanismo de regulación más conocido es el sistema de mensajeros químicos (señales) que permiten la comunicación entre células. Dentro de estos mensajeros, las hormonas vegetales o fitohormonas tienen un papel fundamental en la respuesta de la planta a los cambios del medio ambiente, y en especial al estrés biótico y abiótico (Segura, 2008).

El control hormonal del desarrollo de las plantas lo realizan, al menos, once grupos de hormonas diferentes: auxinas, gibberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico, que constituyen las llamadas hormonas clásicas y brasinosteroides, oxilipinas (jasmonatos), poliaminas, salicilatos, oligopéptidos y óxido nítrico, que son de más reciente identificación. Por otro lado, se tiene referencia que las oligosacarinas y la glucosa pueden constituirse como hormonas bajo un criterio más laxo, y considerando los efectos no atribuibles a sus papeles como fuentes de carbono y energía (Segura, 2008; Taiz y Zeiger, 2004).

En la agricultura moderna la manipulación de las fitohormonas se inició con el desarrollo de herbicidas formulados con moléculas tipo auxinas como el 2-4, D conocido comercialmente como TORDON®. Son utilizadas en los sistemas de producción de cultivos para controlar procesos fisiológicos como el florecimiento, fructificación, partición de asimilados, germinación, propagación, suspensión del crecimiento, defoliación, poscosecha, clonación y cultivo de tejidos (Guifoye y Hagen, 2007; Kyozyucha, 2007; Nambara y Marion-Poll, 2005; Sakakidor, 2006).

El etileno (ET), hormona vegetal gaseosa producida por todas las plantas y un extenso número de microorganismos, regula múltiples procesos fisiológicos y de desarrollo en las plantas como son la emergencia de plántulas, senescencia de hojas y flores, maduración y abscisión de órganos. Además está vinculado a reacciones de respuesta a procesos de estrés biótico (Resistencia Sistémica Adquirida – SAR) y abiótico (Al-Masri

¹ Programa de Biología de la Palma y Mejoramiento, Centro de Investigación en Palma de aceite – CENIPALMA, Calle 20 A No. 43 A 50 Piso 4, Fax: (057) 244 47 11. Bogotá, Colombia. ² Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30 No. 45-06. Bogotá.

* Autor para correspondencia: hromero@cenipalma.org.

- et ál., 2006; Czarny et ál., 2006; Van Loon et ál., 2006;);
- El efecto de *triple respuesta*, ha sido un término acuñado al patrón clásico de respuestas que caracterizan la acción del ET, este trío de efectos son: la reducción en la elongación del tallo, el aumento del crecimiento lateral (tumorción) y crecimiento lateral anormal (Taiz y Zeiger, 2004), de tal manera que estas respuestas en plántulas se identifica por la inhibición de la elongación celular del hipocótilo y la raíz, abultamiento radial del hipocótilo y la curvatura exagerada de la plúmula (Guo y Ecker, 2004). Azuma et ál. (2007), comprobaron que aplicaciones de ET bajo un 30% de humedad relativa causan una detención del crecimiento de plántulas de arroz, sin embargo, bajo 100% de humedad relativa el ET promueve la formación de raíces, concluyendo que posee efectos duales en la modulación del crecimiento vegetal sumado a la multiplicidad de interacciones que puede generar con otras hormonas como auxinas, giberelinas y poliaminas entre otras.

La síntesis de ET (Figura 1) se presenta en todos los órganos vegetales y su tasa de producción está en función del tipo de tejido y estado de desarrollo del mismo, destacándose las zonas meristemáticas como las más activas en la producción de este compuesto (Taiz y Zeiger, 2004). Los altos niveles de ET son usualmente asociados con efectos deletéreos en el crecimiento y sanidad de las plantas (Czarny et ál., 2006).



Figura 1. Ruta metabólica para la síntesis de etileno (ET). La metionina es el precursor de la síntesis de ET y el ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), se constituye como un producto intermediario en la ruta de síntesis, fundamentalmente la producción de ET e involucra dos etapas: la conversión de S-adenosil metionina (SAM) a ACC, conocido como el ciclo de Yang y el paso de ACC a ET (Bradford, 2008; Taiz y Zeiger, 2004).

Debido a su capacidad de regulación en numerosos procesos fisiológicos y de crecimiento y desarrollo, el etileno es una de las hormonas vegetales más usadas en la agricultura. Sin embargo, al ser una hormona gaseosa, su uso directo es técnicamente muy demandante y costoso. Para solucionar los inconvenientes en la aplicación directa de esta hormona, han sido desarrollados compuestos que lo liberan lentamente. Entre ellos el más conocido es el ácido 2 – cloroetilfosfónico (Ethephon). Este compuesto se disuelve fácilmente en agua y es absorbido y traslocado **rápidamente por la planta. Al entrar en la célula el pH del citoplasma hace que el Ethephon se desdoble y libere etileno dentro de la célula (Figura 2).** Así, la liberación de ET vía Ethephon es fundamental en el manejo agrícola de procesos como la maduración de frutas como manzanas, bananos, tomates, entre otros. Además de otros procesos como la sincronización floral y el inicio del desarrollo del fruto en piña o para el derrame de frutos de cultivos como el algodón (Bleecker y Kende, 2000).

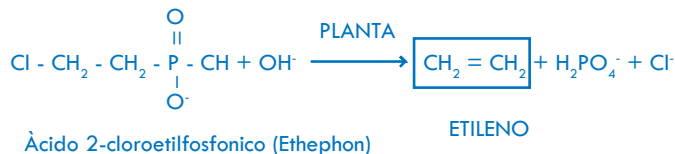


Figura 2. Reacción química efectuada por el Ethephon para liberar etileno cuando es aplicado exógenamente a las plantas (Taiz y Zeiger, 2007).

El ET está involucrado en la respuesta de defensa de la planta al ataque de patógenos y en la activación de la respuesta sistémica adquirida (SAR, por su sigla en inglés). Además es importante para bloquear la entrada de microorganismos fitófagos mediante la respuesta hipersensitiva debido a la explosión productiva de ET sobre los tejidos próximos a la entrada del patógeno. De igual manera, sobre la vía SAR, recientemente se ha comprobado su papel como uno de los activadores, luego de la conocida función del ácido salicílico y jasmónico, estimulando sinergias y antagonismo entre estos (van loon et ál., 2006). Así, el ET se presenta como una hormona con potencial de ser usada en la inducción de respuestas de defensa de las plantas contra los patógenos. Debido a esto, Cenipalma ha iniciado estudios sobre la actividad fisiológica de diferentes inductores de resistencia, entre los cuales se cuenta ET, como moléculas con posibilidad de ser parte del manejo alternativo de enfermedades de impacto económico en el cultivo como la Pudrición del cogollo (PC) y la Marchitez letal (ML). El objetivo de este trabajo fue evaluar cualitativa y cuantitativamente la respuesta de la palma de aceite en fase de vivero a las aplicaciones de etileno en altas dosis, ya que se ha planteado la posibilidad de usar ET como una molécula inductora de respuestas de defensa en la palma de aceite.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el vivero de la plantación Palmar Santa Elena S.A., ubicada a 46 kilómetros del municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño); utilizando palmas de vivero de ocho meses de edad, material Dura X Pisifera. Se hicieron tres aplicaciones de Ethrel® (Ethephon i.a.) a una concentración de 5.000 y 10.000 ppm vía foliar, con una frecuencia quincenal. Se evaluaron variables de crecimiento como: longitud de la hoja 3 (hoja con mayor madurez fisiológica en fase de vivero), número de hojas y número de hojas diferenciadas¹. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones; la unidad experimental fueron 10 palmas. El análisis estadístico se realizó utilizando S.A.S (Statististics Analisis System) versión 9.1.

Resultados y discusión

La respuesta de las palmas tratadas con ET fue inicialmente observada a los 15 días de la primera aplicación (Figura 3), reg-

¹ Es la hoja que posee un 50 % de foliolos diferenciados.

istrando una sintomatología caracterizada por la detención en el proceso de elongación del raquis de las hojas más jóvenes, así como de las hojas flechas² emergentes, este comportamiento se reporta como un patrón clásico de la respuesta de ET a la inhibición de la elongación de tallos en diferentes plantas (Bleecker y Kende, 2000).



Figura 3. Efecto de la aplicación de etileno sobre el desarrollo foliar (1a) de palma de aceite (*E. guineensis*).

Se observó una expansión foliar prematura en las primeras hojas, acompañada de una clara diferenciación de foliolos, los cuales eran más cortos. Así se generó una especie de enanismo o “achaparramiento” de las hojas del tercio apical (figura 4). El efecto de aplicación de ET desapareció en su totalidad pasados 60 días de la última aplicación.



Figura 4. Sintomatología característica de las palmas de vivero en respuesta a las aplicaciones exógenas en dosis altas (5.000 y 10.000 ppm) de etileno.

Se encontraron diferencias altamente significativas ($P > F = <0,0001$) en la longitud de la hoja 3 y en la altura de las palmas, producto de la reducción en la elongación de las hojas jóvenes. De la misma manera fue afectada el área foliar de la planta, con una disminución entre 45,9 % y 59,6 % con respecto al testigo no tratado. (Figura 5). González et ál (2007) en vid encontraron reducciones del 46 y 56 % en el Índice de Área Foliar (IAF) en plantas tratadas con Ethepon en dosis de 400 y 800 mg * L⁻¹ respectivamente, constituyéndose como una práctica agronómica que reduce el impacto del sombreado de las plantas en los rendimientos y, a su vez, facilitando las labores de cosecha. En arroz se observaron reducciones en el

altura total de las plántulas producto de la aplicación de ET a una dosis de 10 µL * L⁻¹, bajo condiciones de 30% de humedad relativa, asimismo en el caso de las hojas bandera y envolvente, se registraron reducciones del 27% en longitud en respuesta a las aplicaciones de ET. Efectos similares fueron reportados por Hayashi et ál., (2001), quienes encontraron que las aplicaciones de 1.000 mg * L⁻¹ Ethepon sobre diferentes herbáceas perennes causan efectos sobre la altura de la planta, aclarando que es más efectivo si se realizan dos aplicaciones de 500 mg * L⁻¹, teniendo en cuenta que las frecuencias y tasas de aplicación pueden alterar el crecimiento de la planta dependiendo de la especie, altura, clima y tipo de cultivo.

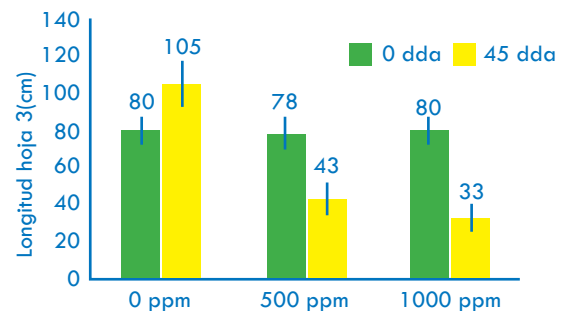


Figura 5. Respuesta de la longitud de la hoja 3 en palmas a la aplicación de altas dosis de etileno (45 DDA), tomando como referencia la altura antes de la aplicación para cada uno de los tratamientos.

En cuando al comportamiento de número promedio de hojas por palma y número promedio de hojas diferenciadas por palma pasados 45 DDA, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con un promedio de hojas/palma entre 11 y 12 (tabla 1). A a pesar de no existir significancia estadística en estas variables, la cuantificación antes de las aplicaciones muestran que el promedio de número de hojas totales del testigo es superior a los tratamientos pasadas las aplicaciones; esta situación favorece a las palmas tratadas con ET, ratificando que es la hormona responsable de la emisión foliar (Smalle y Van Der Straeten, citados por Dugardeyn et ál., (2007).

En el caso de las hojas diferenciadas se encontró 82 % de las estructuras foliares en fase de diferenciación para cada uno de los tratamientos, registrándose una leve diferencia en la cantidad de hojas diferenciadas en el tratamiento con 10.000 ppm de etileno. Entre tanto, se encontró que los tratamientos que recibieron la estimulación con ET manifiestan la aparición de 4 a 5 hojas anormales, equivalentes a modificar el patrón de crecimiento y desarrollo de los dos primeros niveles foliares de la palma de vivero.

Hacia los 60 DDA se observó que la respuesta es momentánea y perdura siempre y cuando las aplicaciones continúen; de lo contrario, la palma recupera su ciclo normal de crecimiento. La apariencia morfológica de las hojas anormales no presenta síntomas de epinastia, que es uno de los efectos

² La hoja flecha es la estructura foliar en forma de bastón que está en crecimiento y aún no ha realizado su apertura de foliolos.

principales de la acumulación de ET en las plantas (Jackson, 1985; Taiz y Zeiger, 2004).

Tabla 1. Comportamiento promedio de la cantidad de hojas presentes y diferenciadas antes y después de las aplicaciones de etileno en altas dosis.

Tratamientos	Antes de aplicación	45 Dda	Antes de aplicación	45 Dda	
	No. Hojas	No. Hojas	No. Hojas dif	No. Hojas dif	No. Hojas anormales
Testigo	9	11	4	9	0
5.000 Ppm	8	11	4	9	4
10.000 Ppm	8	12	4	10	5

Conclusiones

Las aplicaciones en altas dosis de Ethephon tienen un fuerte impacto sobre el crecimiento y desarrollo de palmas de vivero. La respuesta de las plantas a la hormona es evidente en la altura y aérea foliar, producto de la inhibición en la fase de elongación del raquis de la hoja bien sea en estado de flecha o primeras hojas. Como resultado se genera una apertura prematura de las hojas acompañada de una activación temprana de la diferenciación de folíolos, los cuales son cortos.

Agradecimientos

A los directivos y trabajadores de la plantación Palmar Santa Elena S.A. por facilitar el desarrollo de esta investigación. Este trabajo ha contado con la financiación del Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (contrato 2007R4542-241)

Bibliografía

Al-Masri, M; Elad, Y; Sharon, A; Barakat, R. (2006). Ethylene production by *Sclerotinia sclerotiorum* and influence of exogenously applied hormone and its inhibitor aminoethoxyvinylglycine on white mold. *Crop Protection* 25: 356-361.

Azuma, T; Honda, T; Sadai, A; Sasamaya, E; Ithon, K. (2007). Suppression and promotion of growth by ethylene in rice seedlings depends on ambient humidity. *Journal of Plant Physiology* 164: 1683-1687.

Bleecker, A y Kende, H. 2000. Ethylene: A gaseous signal molecule in plants. *Annual Review of Cell Development Biology* 16: 1-18.

Czarny, J; Grichko, V; Glick, B. 2006. Genetic modulation of ethylene biosynthesis and signaling in plants. *Biotechnology Advances* 24: 410-419.

Dugardeyn, J; Hagenbeek, D; Zhang, C; Van Der Straeten, D. 2007. A novel growth modulator interconnects ethylene, ABA, and sugar signaling. *En: Advances in Plant Ethylene Research. Proceedings of the 7th international symposium of the plant hormone ethylene.* Ramina, L; Chang, C; Giovannoni, J; Klee, H; Perata, P; Woltering, E.(ed.) pp. 111 – 112.

González, R; Villalba, P; González, M; Martín, P. (2007). Control of vegetative growth of “Verdejo” grapevines with Ethephon. *En: Advances in Plant Ethylene Research. Proceedings of the 7th international symposium of the plant hormone ethylene.* Ramina, L; Chang, C; Giovannoni, J; Klee, H; Perata, P; Woltering, E.(ed.) pp. 161 -166.

Gou H; Ecker, J. (2004). The Ethylene signaling pathway: new insights. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 40 - 49.

Guifoyle, T and Hagen, G. (2007). Auxin response factor. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 453 – 460.

Hayashi, T; Heins, R; Cameron, A; Carlson, W. (2001). Ethephon influences flowering, height and branching of several herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae* 91: 305 – 323.

Hays, D; Jung, H; Mason, R; Morgan, G; Finlayson, S. 2007. Heat stress induced ethylene production in developing wheat grains induces kernel abortion and increased maturation in a susceptible cultivar. *Plant Science* 172: 1113 – 1123.

Jackson, M. 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 145 – 174.

Kyozucha, J. (2007). Control of shoot and root meristem function by cytokinin. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 442 – 446.

Nambara, E and Marion-Poll, A. (2005). Abscisic Acid: Biosynthesis and catabolism. *Annual Review of Plant Biology* 56: 165 – 185.

Overmyer, K; Brosché, M; Kangasjarvi, J. 2003. Reactive oxygen species and hormonal control of cell death. *Trends in Plant Science* 8: 335 – 342.

Sakakidor, H. 2006. Cytokinis: Activity, biosynthesis and Translocation. *Annual Review of Plant Biology* 57: 431 – 449.

Segura, J. 2008. Introducción al desarrollo, concepto de hormona vegetal. *En: Fundamentos de Fisiología Vegetal 2ª Edición.* Editado por Azcon-Bieto, J y Talon, M. Barcelona España. Editorial McGraw-Hill Iberoamericana. pp. 349 – 376.

Taiz, L; Zeiger, E. (2004). *Plant Physiology* third edition. Sinauer Associates, Inc., EE.UU. 690 pg.

Van Loon, L; Geraats, B; Linthorst, H. (2006). Ethylene as a modulator of disease resistance in plants. *Plant Science* 11: 184 -191.

Director: José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.
Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
Coordinación editorial: Yolanda Moreno Muñóz
Diseño y diagramación: Area 51 Publicidad y Comunicaciones S.A.S.
Impresión: Javegraf

Esta publicación contó con el apoyo de Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero