



Establecimiento y desarrollo en el cultivo forzado de tomate: aplicación de dosis variables de fitoreguladores.

Fruit set and development of tomato grown in greenhouse: application of variable doses of plant growth regulators.

Marta S. Agüero
Gabriela Barral

Nancy E. Miguelisse
Oscar E. Castillo

Originales
Recepción: 28/11/2006
Aceptación: 22/05/2007

RESUMEN

Las hormonas vegetales son capaces de controlar el desarrollo reproductivo, desde la diferenciación floral hasta los últimos estadios del desarrollo de los frutos. En particular, la etapa de fructificación y desarrollo depende del contenido endógeno de estas sustancias, y es posible manipular la iniciación del desarrollo del fruto por aplicación externa de hormonas. Previamente se evaluó el proceso de fructificación y desarrollo en el cultivo de tomate en invernadero en respuesta a la aplicación de β -NOA y AG3 en dosis fijas: se observó sensibilidad diferencial dependiendo del genotipo y tipo de regulador.

El objetivo de este trabajo fue establecer dosis y momento óptimo para la aplicación de β -NOA y AG3 como formas de mejorar la fructificación y el desarrollo de frutos partenocárpicos. Como factores se consideraron tipo de regulador - β -NOA y AG3- en dosis y momentos de aplicación variables.

Empleando ovarios no polinizados como sistema experimental fue posible concluir que la aplicación de 40 ppm de β -NOA a 7 días post anthesis ofrece las mayores ventajas desde el punto de vista del rendimiento y menor impacto fisiológico, sin alterar el período de desarrollo de los frutos.

Palabras clave

tomate • fructificación • dosis • giberelinas • auxinas

SUMMARY

Vegetable hormones are capable of controlling the reproductive development, from the flower differentiation until the last stages in the fruit development. In particular, the fruit set and development stage depends on the endogenous content of this substance, being possible to manipulate the beginning of the fruit development by external application of hormones. We have previously evaluated the fruit set and development process in tomato cultivation in greenhouse in response to the application of β -NOA and GA3 in fixed doses. Differential sensitivity was observed depending on the genotype and regulator type.

The purpose of this work is to establish the optimum dose and moment for the application of β -NOA and GA3 as ways to improve the fruit set and development of parthenocarpic fruits. Regulator types β -NOA and GA3 in variable doses and application moments were considered as factors.

Using unpollinated ovaries as an experimental system, it was possible to conclude that the application of 40 ppm of β -NOA at 7 days post anthesis would offer the best advantages from a performance point of view and a lower physiologic impact, not altering the period of fruit development.

Keywords

tomato • fruit set • dose • gibberellins • auxins

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo normal de un ovario, la posibilidad de llegar a fruto depende de que se hayan completado exitosamente la polinización y la fecundación, siendo los óvulos fecundados los responsables de disparar el desarrollo del ovario a fruto. El tamaño final de los mismos estará condicionado por el número de células del ovario previo a la fecundación, el número de fecundaciones exitosas, las divisiones celulares que ocurren dentro de él luego de la fertilización y la extensión de la fase de agrandamiento celular (7, 8, 14, 15).

Durante la germinación del grano de polen y crecimiento del tubo polínico se producen cambios importantes en los niveles endógenos de hormonas que condicionarían las etapas de crecimiento y desarrollo de los mismos. Entre otras, auxinas y giberelinas están involucradas en la regulación de la capacidad como destino de fotoasimilados ya sea a través del control de la división y agrandamiento celular o de la importación de azúcares hacia los órganos destino (4, 14, 15).

En ausencia de los estímulos generados durante los procesos de polinización y fertilización, el ovario inicia un proceso de senescencia caracterizado por dos fases. Durante la primera, el ovario no polinizado permanece en un estado quiescente y es factible revertir este proceso por aplicación hormonal. La fase final, de naturaleza irreversible, se caracteriza por pérdida de sensibilidad al tratamiento con reguladores iniciándose un proceso degenerativo que concluye con la muerte y abscisión de estos órganos (1, 2, 3, 13).

La aplicación de auxinas o giberelinas en la pared del ovario durante la primera fase de la senescencia provocaría la acumulación de reguladores en niveles adecuados para permitir el proceso de división y agrandamiento celular que conduce al establecimiento y desarrollo de frutos partenocárpicos, aun antes de lo que ocurriría en ovarios autopolinizados (5, 7, 12, 14, 17).

Cuando se permite la polinización natural, se ha informado que bajas temperaturas nocturnas, por debajo de 7 °C, provocan una disminución en la calidad del polen y el número de frutos establecidos, a la vez que un aumento en el período total de desarrollo de los frutos (10, 11, 15, 16, 17). Una forma de corregir esta situación es el cultivo bajo cubierta con un adecuado manejo ambiental y/o la aplicación de fitoreguladores.

Es importante destacar que a pesar de lo profuso de los antecedentes en el área de aplicación de reguladores, la posibilidad de extrapolar la información publicada está restringida por la dependencia de los resultados con el genotipo, factores ambientales y metodología de aplicación hormonal: momento de aplicación, tipo y dosis de regulador (14, 15, 17, 18, 21).

Previamente, se evaluó el proceso de fructificación y desarrollo en el cultivo forzado de tomate en respuesta a la aplicación de 100 ppm de ácido giberélico (AG3) o ácido β naftoxi acético (β -NOA), observándose respuestas diferenciales de acuerdo con el genotipo, tipo de regulador y momento de aplicación (9).

Los genotipos evaluados presentaron una mayor respuesta cuali y cuantitativa al tratamiento con auxinas en comparación con giberelinas; solamente la aplicación de β -NOA a 5 días post antesis (dpa) fue capaz de inducir un porcentaje de fructificación y tamaño final de frutos similar a los obtenidos por polinización natural (2, 3, 9).

Se observó además un incremento en el número de ovarios no polinizados con síntomas de senescencia a medida que transcurría el tiempo desde la antesis y disminución del porcentaje de fructificación. Estos resultados, de acuerdo con lo informado previamente, se relacionan con el inicio de la etapa irreversible de la senescencia a partir de los 12 dpa en el híbrido Fortaleza F1 (9).

Objetivo

- Establecer la dosis y el momento óptimo para la aplicación de β -NOA y AG3 como formas de mejorar la fructificación y desarrollo de los frutos partenocárpicos. Se realizaron ensayos en invernadero calefaccionado empleando el genotipo de crecimiento indeterminado Fortaleza F1, evaluando tamaño final y período de desarrollo de los frutos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El cultivo se desarrolló en invernadero calefaccionado ($T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) y la conducción del cultivo se realizó a tallo único, empleándose el híbrido de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de crecimiento indeterminado Fortaleza F1 (Rogers).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue descrito previamente (9). Se utilizaron racimos florales en los que se permitió el desarrollo de un solo fruto por racimo, ya fuera por autopolinización (tratamiento control) o aplicación hormonal a ovarios no polinizados. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 20 μl de una solución de AG3 (7, 15 y 22 ppm) o β -NOA (20, 40 y 60 ppm) a 0, 7 y 14 dpa.

En la elección de las dosis se consideraron las recomendadas comercialmente para cada tipo de regulador y un 50 % por encima y por debajo de la misma.

El tamaño de la unidad experimental fue de 8 plantas con 3 repeticiones, asignando los tratamientos en forma totalmente aleatorizada. Los experimentos fueron repetidos durante dos años con la finalidad de reducir la variabilidad asociada a las condiciones ambientales. Se evaluó el período de desarrollo (días) y el peso fresco de los frutos al alcanzar el tamaño final (g).

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante un test ANOVA considerando las posibles interacciones entre tratamientos y las medias se compararon mediante el test de Duncan ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de β -NOA y AG3 en dosis y momentos variables indujo el desarrollo partenocárpico de frutos, con tendencias similares a las informadas previamente cuando se emplearon dosis fijas -100 ppm- de estos reguladores (9). Asimismo, el empleo de dosis variables de auxinas indujo un tamaño final de frutos significativamente mayor en comparación con el obtenido con giberelinas (ver tabla).

Comparación de medias para las variables peso fresco y período de desarrollo de frutos de tomate (híbrido Fortaleza F1), correspondientes a cada combinación de niveles de los factores año, hormona, dosis y momento de aplicación (Test de Duncan: $\alpha = 0,05$)

Tratamiento: año-hormona-dosis-momento de aplicación	Peso fresco (g)	Período de desarrollo (días)
1 β -NOA 20 ppm 0 dpa	50,98 IHJ	69,36 A
1 β -NOA 20 ppm 7 dpa	71,40 FGEIHJ	62,70 FBDEC
1 β -NOA 20 ppm 14 dpa	88,09 FGED	61,50 FGDE
1 β -NOA 40 ppm 0 dpa	69,30 FGIHJ	61,75 FGDEC
1 β -NOA 40 ppm 7 dpa	105,73 FBEDC	60,85 FGEH
1 β -NOA 40 ppm 14 dpa	74,87 FGEIH	57,83 GJIH
1 β -NOA 60 ppm 0 dpa	94,51 FED	67,36 BA
1 β -NOA 60 ppm 7 dpa	138,42 BA	59,33 FGIH
1 β -NOA 60 ppm 14 dpa	104,33 FBEDC	60,11 FGEH
1 AG3 7 ppm 0 dpa	55,39 GIHJ	66,00 BDAC
1 AG3 7 ppm 7 dpa	41,04 IJ	63,00 FBDEC
1 AG3 7 ppm 14 dpa	38,58 IJ	56,56 KJIH
1 AG3 15 ppm 0 dpa	44,29 IJ	67,09 BA
1 AG3 15 ppm 7 dpa	39,97 IJ	66,17 BAC
1 AG3 15 ppm 14 dpa	40,31 IJ	57,17 KGJIH
1 AG3 22 ppm 0 dpa	49,13 IHJ	66,89 BA
1 AG3 22 ppm 7 dpa	49,53 IHJ	57,67 GJIH
1 AG3 22 ppm 14 dpa	52,27 GIHJ	57,64 GJIH
1 Autopolinización (testigo)	133,39 BAC	67,00 BA
2 β -NOA 20 ppm 0 dpa	50,33 IHJ	64,47 BDEC
2 β -NOA 20 ppm 7 dpa	83,63 FGEDH	53,00 KLMN
2 β -NOA 20 ppm 14 dpa	88,64 FGED	47,43 PO
2 β -NOA 40 ppm 0 dpa	92,47 FED	61,79 FGDEC
2 β -NOA 40 ppm 7 dpa	131,59 BAC	51,41 LOMN
2 β -NOA 40 ppm 14 dpa	136,51 BA	50,11 POMN
2 β -NOA 60 ppm 0 dpa	107,10 BEDC	57,87 GJIH
2 β -NOA 60 ppm 7 dpa	161,45 A	49,89 PON
2 β -NOA 60 ppm 14 dpa	120,06 BDC	51,26 LOMN
2 AG3 7 ppm 0 dpa	47,42 IHJ	59,15 FGJIH
2 AG3 7 ppm 7 dpa	43,54 IJ	54,56 KLJM
2 AG3 7 ppm 14 dpa	44,85 IJ	46,56 P
2 AG3 15 ppm 0 dpa	41,37 IJ	57,71 GJIH
2 AG3 15 ppm 7 dpa	34,54 J	54,69 KLJI
2 AG3 15 ppm 14 dpa	40,49 IJ	48,94 PON
2 AG3 22 ppm 0 dpa	47,83 IHJ	56,33 KJIH
2 AG3 22 ppm 7 dpa	43,74 IJ	51,13 LOMN
2 AG3 22 ppm 14 dpa	41,81 IJ	45,67 P
2 Autopolinización (testigo)	98,50 FEDC	64,72 BDEC

Como se informara previamente, esta respuesta está asociada a la capacidad de las auxinas de inducir no sólo partenocarpia sino también el desarrollo de placentas y óvulos rudimentarios, generando frutos de tamaño y aspecto similar a los polinizados (9).

Sin embargo, se destaca la respuesta a la aplicación de 20 ppm de β -NOA en el momento de la antesis (0 dpa) que no se diferencia significativamente de la obtenida con AG3, independientemente de la dosis empleada.

En este sentido, con la aplicación de 20 ppm de β -NOA conforme se acercaba el momento de antesis, las respuestas fueron significativamente menores. Es posible suponer que en momentos cercanos a la antesis (0 dpa), la interacción entre dosis y estadio fisiológico de los ovarios al momento de recibir el estímulo exógeno determina que esta dosis de β -NOA es insuficiente para inducir el desarrollo partenocárpico de los frutos.

De acuerdo con lo informado por diversos autores, este comportamiento se relaciona con la disponibilidad de asimilados, niveles endógenos de reguladores y/o la sensibilidad a los mismos (4, 6, 14, 15, 17, 20).

Con el objeto de avanzar en la comprensión de esta respuesta, se ha iniciado el análisis de la capacidad de flores/frutos para actuar como destino de fotoasimilados a través de niveles de carbohidratos y actividades sacarolíticas (datos no consignados).

Las mediciones realizadas mostraron que la concentración de azúcares reductores en los frutos obtenidos con AG3 fue considerablemente menor al valor registrado en los logrados por polinización o aplicación de β -NOA. Estos resultados estarían asociados a una menor capacidad de hidrolizar la sacarosa proveniente de los órganos fuente regulando negativamente la tasa de importación de asimilados (4, 14, 23).

El análisis de la variable tamaño de frutos en los dos años de repeticiones mostró que en el segundo, la mayoría de los tratamientos con auxinas indujeron un valor similar o superior al correspondiente a los frutos polinizados, siendo solamente la aplicación a 20 ppm a 0 dpa de β -NOA la que arrojó valores significativamente inferiores al testigo.

En ambos períodos, el análisis de la variable peso fresco mostró que el mejor momento para la aplicación de β -NOA fue a 7 dpa: hubo diferencias significativas entre las dosis empleadas y un mayor grado de significancia en el segundo año (tabla, pág. 126).

La aplicación de 40 y 60 ppm de β -NOA a 7 dpa permitió obtener un tamaño final de frutos similar e incluso superior al correspondiente a los obtenidos por polinización natural. Es de destacar que la mejor respuesta en los dos años de ensayos fue obtenida con 60 ppm, dosis que en el segundo año indujo un tamaño final aproximadamente un 60 % mayor al correspondiente al testigo (tabla, pág. 126 y figura 1, pág. 128).

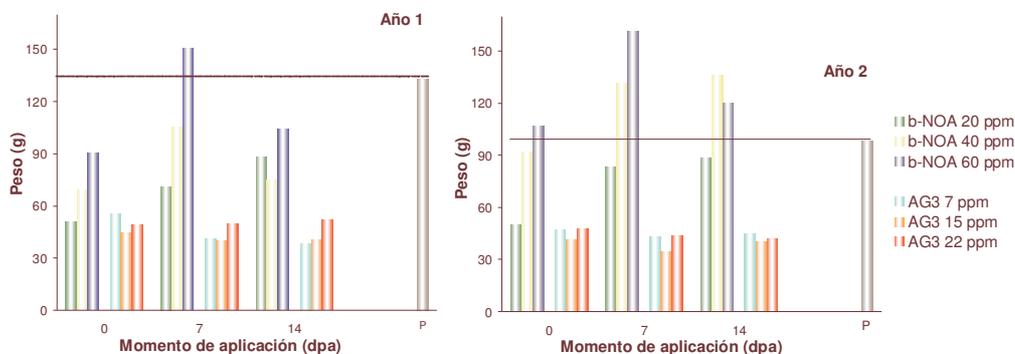


Figura 1. Efecto de la aplicación de β -NOA y AG3 en dosis y momentos variables, sobre el tamaño final de frutos en el híbrido Fortaleza F1.

En relación con la dosis de 20 ppm de auxina, se observó que la aplicación a 7 dpa fue menos efectiva para inducir el desarrollo de frutos, si bien en el segundo año el tamaño final no se diferenció significativamente del testigo. Es de destacar que las condiciones ambientales resultaron más restrictivas para el desarrollo de los frutos con semilla, atenuándose las diferencias con los frutos partenocárpicos.

El análisis de la respuesta a los tratamientos realizados en el momento de antesis mostró que sólo en la segunda temporada de ensayos, la dosis más alta de auxinas (60 ppm) permitió alcanzar un tamaño final de frutos similar al control.

De acuerdo con lo informado por otros autores, el menor tamaño de los frutos polinizados durante el segundo año de ensayos podría deberse a alteraciones en el proceso de polinización y fecundación de los óvulos causado por condiciones térmicas subóptimas (10, 11, 15, 16, 17).

Por su parte, las diferencias en el tamaño de los frutos partenocárpicos obtenidos por aplicación hormonal estarían relacionadas con el estadio fisiológico de los ovarios, en particular con los factores que afectarían la sensibilidad diferencial a los reguladores como la disponibilidad de asimilados y niveles endógenos de hormonas, entre otros (8, 15, 17, 19).

Tomando en consideración los principales componentes del rendimiento, es importante analizar no sólo el tamaño final sino el número de frutos que completan el desarrollo luego de la aplicación hormonal. En este sentido y de manera similar a lo informado previamente (9), se verificó que el mayor porcentaje de fructificación se indujo por aplicación de auxinas a 7 dpa, por lo cual no es recomendable retrasar la aplicación más allá de este momento.

Las diferencias en porcentaje de fructificación en función del momento de aplicación están asociadas a la etapa en que se encuentran los ovarios no polinizados, ya que sólo es posible inducir el desarrollo de frutos durante la fase inicial -reversible- de la senescencia. En este sentido, es posible interpretar la caída en el porcentaje de fructificación informado previamente a partir de los 12 dpa por encontrarse en la fase irreversible de la senescencia (1, 9, 13).

El análisis estadístico del período de desarrollo mostró interacción con las condiciones ambientales solamente en los frutos partenocárpicos (tabla, pág. 126 y figura 2), aunque en los frutos polinizados esta variable no presentó diferencias significativas entre los dos años de ensayo.

Considerando los tratamientos hormonales que produjeron mejor respuesta en relación con el tamaño y porcentaje de fructificación -40 y 60 ppm de β -NOA a 7 dpa- se observó una disminución altamente significativa en el período de desarrollo de los frutos partenocárpicos respecto del testigo.

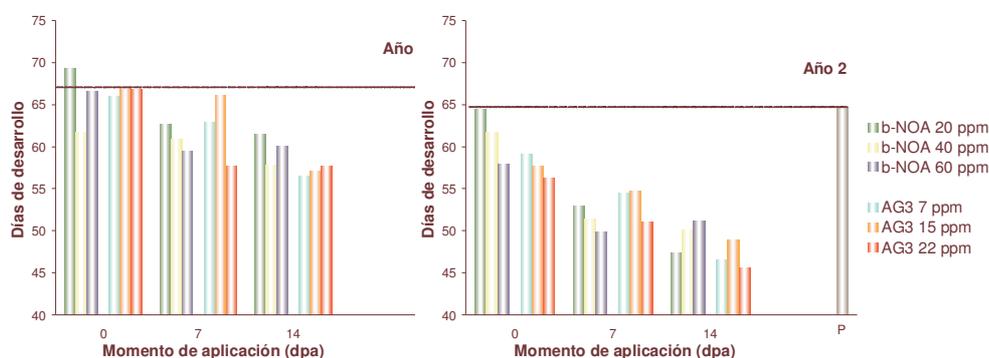


Figura 2. Efecto de la aplicación de β -NOA y AG3 en dosis y momentos variables, sobre el período de desarrollo de frutos en el híbrido Fortaleza F1.

Según se observa en la figura 2 y en la tabla, el período de desarrollo de los frutos partenocárpicos obtenidos por aplicación de dosis variables de auxinas y giberelinas presentó interacción con el momento de aplicación en relación con el testigo. Además, si bien en el primer año de ensayo las diferencias fueron menores, en la segunda campaña se observó una disminución de hasta el 25 % con respecto al polinizado, resultado asociado a que las condiciones ambientales resultaron más restrictivas para el desarrollo de los frutos.

Específicamente, la disminución en la disponibilidad de asimilados se constituiría en la limitante para el desarrollo de los ovarios al momento de realizar los tratamientos hormonales y el posterior establecimiento y crecimiento del fruto (1, 2, 9, 14, 15). Asimismo, de acuerdo con lo informado por otros autores, estas respuestas son afectadas por el tipo y niveles de reguladores endógenos y/o la sensibilidad a los mismos (14, 15, 17).

CONCLUSIÓN

Las aplicaciones de 40 y 60 ppm de β -NOA a 7 dpa ofrecen las mayores ventajas desde el punto de vista del rendimiento y período de desarrollo. De estas dosis, es recomendable efectuar los tratamientos con 40 ppm a los efectos de disminuir el potencial impacto fisiológico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agüero, M. S. 2003. Fructificación partenocárpica en tomate: efecto del ácido giberélico sobre la proteólisis. Tesis de Doctorado. Biblioteca Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires. 165 p.
2. Agüero, M. S.; Granell, A.; Carbonell, J. 1996. Expression of thiol proteases decreases in tomato ovaries after fruit set induced by pollination or gibberellic acid. *Physiol. Plant.* 98: 235-240.
3. Alabadí, D.; Agüero, M. S.; Pérez-Amador, M. A.; Carbonell, J. 1996. Arginase, arginine decarboxylase, ornithine decarboxylase and polyamines in tomato ovaries. *Plant Physiol.* 112: 1237-1244.
4. Balibrea, M. E.; Santa Cruz, A. M.; Bolarín, M. C.; Pérez-Alfocea, F. 1996. Sucrolytic activities to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Science* 118: 47-55.
5. Bangerth, F. 1981. Some effects of endogenous and exogenous hormones and growth regulators on growth and development of tomato fruits. In: *Aspects and prospects of plant growth regulators* (B. Jeffcoat, ed.) British Plant Growth Regulator Group Monograph N° 6: 141-150. Wessex Press, Wantage.
6. Bernier, G.; Havalange, A.; Houssa, C.; Petitjean, A.; Leujene, P. 1993. Physiological signals that induce flowering. *Plant Cell* 5: 1147-1155.
7. Bohner, J.; Bangerth, F. 1988. Effects of fruits sequence and defoliation on cell number, cell size, and hormone levels of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.) within a truss. *Plant Growth Regul.* 7: 141-155.
8. Büniger-Kibler, S.; Bangerth, F. 1982/83. Relationship between cell number, cell size and fruit size of seeded fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), and those induced parthenocarpically by application of plant growth regulators. *Plant Growth Reg.* 1: 143-154.
9. Castillo, O.; Barral, G.; Rodríguez, G.; Miguelisse, N.; Agüero, M. 2005. Establecimiento y desarrollo en el cultivo forzado de tomate: efecto de fitorreguladores. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo.* 32(2): 83-91.
10. Corella, P.; Cuartero, J.; Nuez, F.; Bagueña, M. 1986. Development time of parthenocarpic tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits chemically and genetically induced. *J. Hort. Sci.* 61: 103-108.
11. Dieleman, J. A.; Heuvelink, E. 1992. Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. *J. Hortic. Sci.* 67: 1-10.
12. Fos, M.; Proaño, K.; Alabadí, D.; Nuez, F.; Carbonell, J.; García-Martínez, J. L. 2003. Polyamine metabolism is altered in unpollinated parthenocarpic *pat-2* tomato ovaries. *Plant Physiol.* 131: 359-366.
13. García Martínez, J. L.; Carbonell, J. 1980. Fruit-set of unpollinated ovaries of *Pisum sativum* L. Influence of plant-growth regulators. *Planta* 147: 451-456.
14. Gillaspay, G.; Ben-David, H.; Gruissem, W. 1993. Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5: 1439-1451.
15. Ho, L. C. 1996. Tomato. In: *Photoassimilate distribution in plants and crops, source-sink relationships*. Zamski, E.; Schaffer, A. A. Eds. Marcel Dekker, Inc., New York. 30: 709-728.
16. Peet, M. M.; Bartholomew, M. 1996. Effect of night temperature on pollen characteristics, growth and fruit set in tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 514-519.
17. Picken, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Hortic. Sci.* 59: 1-13.

18. Picken, A. J. F.; Grimmett, M. 1986. The effects of two fruit setting agents on the yield and quality of tomato fruit in winter. *J. Hort. Sci.* 61: 243-250.
19. Russell, C. R.; Morris, D. A. 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationships in young reproductive tomato plant (*L. esculentum* Mill.). *Ann. Bot.* 52: 357-363
20. Sawhney, V. K. 1982. The role of temperature and its relationship with gibberellic acid in the development of floral organs of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Can. J. Bot.* 61: 1258-1265.
21. _____. 1984. Gibberellins and fruit formation in tomato: A review. *Sci. Hort.* 22: 1-8.
22. Stover, E. W.; Stoffella, P. J.; Garrison, S. A.; Leskovar, D. I.; Sanders, D. C.; Vavrina, C. S. 2000. Bloom and postbloom applications of NAD/NAA mixture have minimal effects on yield and fruit size of field-grown tomatoes and peppers. *HortScience* 35: 1263-1264.
23. Wang, F.; Sanz, A.; Brenner, M. L.; Smith, A. 1993. Sucrose synthase, starch accumulation, and tomato fruit sink strength. *Plant Physiol.* 101: 321-327.



Publicación diagramada en el Centro de Ediciones Académicas, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. Junio 2007.



Tirada: 500 ejemplares

Printed in Mendoza, Argentina
Impreso en Mendoza, Argentina