

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE TOMATE BAJO INVERNADERO MEJORANDO LA POLINIZACION

Increase of the productivity of a greenhouse tomato crop improving the pollination

Josué Cuéllar¹, Alexander Cooman² y Harvey Arjona³

RESUMEN

En Colombia, la carencia de prácticas de polinización en el cultivo de tomate bajo invernadero, está influyendo en los rendimientos alcanzados actualmente. Con el fin de cuantificar el efecto que tienen las prácticas tendientes a mejorar la polinización sobre la productividad y rentabilidad de este cultivo en la Sabana de Bogotá y su importancia sobre la calidad y tasa de desarrollo del fruto, se probaron dos prácticas de polinización: el uso de vibrador eléctrico o “abejorro mecánico” y la vibración de la planta mediante golpes a los alambres del tutorado. Los resultados indicaron que el uso del vibrador eléctrico incrementó la producción por planta en un 34 %. El peso de frutos individuales, el diámetro y el número de semillas (163,3 g, 70 mm y 128 semillas por fruto respectivamente) también fueron mayores en este tratamiento. El periodo de crecimiento del fruto polinizado con vibrador eléctrico (63,9 días), fue menor al testigo donde no se realizó práctica alguna de polinización. Para todas las variables medidas, el vibrado de la planta golpeando los alambres del tutorado no presentó diferencias significativas frente al testigo. El beneficio marginal logrado en la cosecha de los cinco primeros racimos, fue de \$2.725 por m² al polinizar con vibrador eléctrico, frente a \$508 por m² obtenidos vibrando los alambres del tutorado, muestra que esta primera práctica es más rentable, no solo porque incrementa la producción sino porque se obtiene alta proporción de frutos grandes, que son los de mayor valor en el mercado.

Palabras claves: “abejorro mecánico”, calidad, crecimiento del fruto, fuerza de demanda, polinización.

SUMMARY

The lack of pollination practices is limiting the actual yields of the greenhouse tomato crops in Colombia. In order to evaluate the effect of pollination on productivity and yield of tomatoes in the Bogotá Plateau and its importance on quality and fruit development rate, two practices of pollination were evaluated: the use of an electrical vibrator or “mechanical bee” and the vibration of the plants by means of striking the guiding wires. The results indicate that the use of the electrical vibrator increases the production in 34 % per plant. Fresh weight, fruit diameter and

number of seeds per fruit (163,3 g, 70 mm and 128 seeds per fruit respectively) incremented with this practice. The fruit growth period of electrical vibrated fruits was shorter (63,9 days) than the control treatment. For all the measured variables, the wire striking treatment did not show significant increments. A marginal analysis of cost and benefits showed that the use of the electrical vibrator is a profitable practice, not only because it increases fruit production, but also because a higher proportion of big fruits with greater market value is obtained.

Key words: Fruit growth, “mechanical bee”, quality, sink strength, pollination.

INTRODUCCION

El tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. es una hortaliza ampliamente cultivada en el mundo y aunque su valor nutritivo no es muy elevado (Esquinas-Alcazar y Nuez, 1995), su fruto es utilizado como fuente de vitaminas y minerales en la dieta en todos los continentes (Ho, 1996).

En Colombia, el cultivo de tomate bajo invernadero ha tenido una expansión importante en los últimos años. Solamente en el municipio de Sutatenza (Boyacá), el área de tomate bajo invernadero en enero de 1999 se calculó en 2,8 ha (CIAA, 1999). Para enero de 2000, según el censo realizado en este municipio, el área encontrada fue de 5,8 ha (UMATA, 2000) y la proyección para finales del año 2000 era de 14 ha. Los rendimientos actuales en Colombia se encuentran entre las 150 a 250 t/ha/año (CIAA, 1999), que comparados con los rendimientos alcanzados por países líderes en producción de tomate bajo invernadero como Holanda, Bélgica y España de 450 a 600 t/ha/año (Aldanondo, 1995), hacen evidente la necesidad de mejorar las técnicas de producción utilizadas en Colombia. No obstante que en los últimos años la producción ha mejorando rápidamente mediante la utilización de híbridos de alto rendimiento, el manejo del clima bajo invernadero, el manejo integrado de plagas y el uso eficiente de la fertirrigación, aún existen prácticas que no han sido totalmente incorporadas por los productores, generando un estancamiento en los rendimientos actuales.

La flor de tomate se autopoliniza en más de un 99 % (Hanna, 1999) y sólo se necesita una vibración suficientemente fuerte

¹ E-Mail: josuecuellar@latinmail.co

² Director científico del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. E-mail: alexander.cooman@utadeo.edu.co

³ Profesor Asociado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. E-mail: Hearjona@bacata.usc.unal.edu.co

de la flor para que libere los granos de polen. En campo abierto, se considera que las corrientes de aire o los insectos polinizadores son suficientes para producir esta vibración. En el cultivo bajo invernadero, donde la velocidad del viento es baja y el ingreso de insectos polinizadores restringido, se limita la polinización.

El desarrollo del fruto de tomate es influenciado por diversos factores ambientales y fisiológicos (Coombe, 1976). Las altas temperaturas pueden disminuir la producción, viabilidad y transferencia del polen; si sumado además, existen condiciones de baja luminosidad, se puede presentar el fenómeno de incompatibilidad posicional de las estructuras reproductivas de la flor. Las temperaturas inferiores a 10 °C afectan la producción y la transferencia del polen. La temperatura óptima para la germinación del polen es aproximadamente 25 °C y ésta se detiene cuando la temperatura está fuera del rango de 5 a 37 °C (Ho y Hewitt, 1986). Para que se produzca la germinación, los granos de polen deben adherirse al estigma, por ello es recomendable que la humedad relativa se encuentre por encima del 70 % (Ho y Hewitt, 1986).

Un factor que influencia el tamaño final del fruto, es el número de semillas (Stenvers y Staden, 1976; Imanushi e Hiura, 1975; Varga y Bruinsma, 1976), afectado en forma crucial por la polinización y la fecundación (Ho y Hewitt, 1986). Generalmente, se considera que una pobre polinización es la mayor causa de frutos deformes, huecos o pequeños (Rodríguez *et al.*, 1996).

Imanushi e Hiura (1975) afirmaron que el cuajamiento y el desarrollo del fruto es levemente promovido por auxinas y citoquininas producidas en el polen, en los tejidos del estilo y en las semillas a través de los procesos de polinización, fecundación y formación de semillas. Estas hormonas probablemente promuevan la elongación celular inicial y/o incrementan el potencial del fruto como vertedero de fotoasimilados (Beyer y Quebedaux, 1974). Crane (1969) anota que las auxinas estimulan el crecimiento de los tejidos que rodean a las semillas.

En Europa y América del Norte, los productores de tomate bajo invernadero utilizaban varios tipos de vibradores, sopladores de aire o incluso la pulverización de gotitas de agua sobre la flor, con el fin de mejorar la polinización; en España, también es frecuente el vibrar los alambres de tutorado, para causar el movimiento de la planta (Castilla, 1995). Los vibradores eléctricos o "abejorros mecánicos" fueron ampliamente utilizados y hasta hace algún tiempo se consideraba la vía más efectiva para incrementar la polinización de la flor. La introducción de colmenas de abejorros (*Bombus terrestris*) en los invernaderos, los ha reemplazado paulatinamente. Las mejoras, tanto cuantitativas como cualitativas en la producción, han impulsado su uso y han generado el desarrollo de programas de manejo integrado de plagas con énfasis en el control biológico, con el fin de mantener condiciones ideales para la conservación y actividad de la colonia (Castilla, 1995).

En Colombia, la mayoría de los productores desconocen la importancia que tiene la polinización sobre el rendimiento del cultivo y no realizan práctica alguna para mejorar la polinización. En algunas zonas productoras de tomate bajo invernadero como el Valle de Tenza (Boyacá) y la Sabana de Bogotá (Cundinamarca) se realizan una o varias vibraciones por semana a los alambres de tutorado, con el propósito de generar un movimiento de las plantas y favorecer la polinización.

Aunque no se ha comprobado ni cuantificado, la carencia de prácticas de polinización en el cultivo del tomate bajo invernadero puede estar influyendo en los bajos rendimientos actuales en Colombia. Con los anteriores antecedentes, se planeó el presente estudio con el fin de cuantificar el efecto que tienen las prácticas tendientes a mejorar la polinización sobre la productividad y rentabilidad del cultivo de tomate bajo invernadero en la Sabana de Bogotá y su relación con la calidad y tasa de desarrollo del fruto.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó a partir del 15 de febrero de 2000 en un invernadero del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA) de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, ubicado en el municipio de Chía, Colombia. Para ello se utilizó el híbrido de tomate Boris de la compañía Bruinsma. Esta planta, de crecimiento indeterminado, produce frutos multiloculares, de maduración precoz, uniformes y esféricos con un peso de 180 a 220 g.

El ensayo se realizó en un invernadero de plástico de diseño tradicional, de tres naves de 6,8 m de ancho por 55 m de largo; dotado de una pantalla térmica de polietileno con aditivos para reducir la salida de radiación infrarroja en la noche; el sistema de ventilación funcionó mediante la manipulación manual de las cortinas en la fachada frontal y posterior y una apertura fija de 0,45 m a lo largo de la cumbre; la transmisión del invernadero para la radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue 63 %.

Las plantas de seis semanas de edad fueron transplantadas en surcos dobles con una densidad de 2,5 plantas m⁻², podadas a 5 frutos por racimo excepto para el primer racimo donde se dejaron 4 frutos. Los brotes laterales y hojas senescentes fueron retirados semanalmente. Para el manejo del clima, el riego, la fertilización, el tutorado, el control de plagas y demás prácticas culturales se siguieron las prácticas sugeridas por Escobar y Lee (2001).

Se evaluaron dos tratamientos tendientes a mejorar la polinización y un testigo: (1), vibrado de los racimos florales mediante "abejorro mecánico" o polinización mecánica (PM), (2), agitación de las plantas golpeando la estructura del tutorado, llamado polinización a la guaya (PG) y el testigo mantenido a libre polinización (PL). Las prácticas de polinización fueron realizadas todos los lunes, miércoles y viernes, entre las 9 y 10 am, a partir de la floración del primer racimo. Los tratamientos fueron establecidos en surcos individuales, organizados en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En cada unidad experimental se realizó un seguimiento a los 5 primeros racimos de 5 plantas.

El "abejorro mecánico", es un aparato cilíndrico de aproximadamente 50 cm de largo y 4 cm de diámetro que funciona con una batería recargable. El extremo que vibra, de aproximadamente 15 cm de largo y 0,5 cm de diámetro, se encuentra recubierto con una goma para evitar que la vibración afecte el racimo floral y es colocado sobre el eje floral del racimo, para proporcionar la liberación del polen de las flores que se encuentren en antesis.

Los datos climáticos fueron registrados con un intervalo de 10 minutos. La temperatura y humedad relativa del aire fueron registrados por un par de termocuplas, una como bulbo seco y otra como bulbo húmedo, conectados a un *Data Logger*

(marca COX CT-2E), instaladas en una cápsula blanca con ventilación artificial. La radiación fotosintéticamente activa en el exterior, se midió con un sensor cuántico (marca LICOR modelo LI-190 SA), cuyos registros se almacenaban automáticamente en una computadora.

Se registró la fecha de apertura de la primera flor de cada racimo y la fecha en que este fruto alcanzó los 5 mm de diámetro. Para todos los frutos maduros, se consignó la fecha de madurez, el peso fresco y el diámetro. A una submuestra del 20 % del total de los frutos se les contó el número de semillas por fruto. A otra submuestra del mismo tamaño, se le determinó el contenido de materia seca, mediante secado en un horno ventilado a 105 °C por un tiempo mínimo de 72 horas.

RESULTADOS

Condiciones climáticas

La temperatura promedio dentro del invernadero fue de 17 °C, con un promedio de máximas y mínimas de 23,7 y 10,7 °C respectivamente. En la Figura 1 se muestra el desarrollo promedio de la temperatura y humedad relativa del aire en el transcurso del día. La humedad promedio fue del 75 %, con promedios de máximas y mínimas del 95 y 52 % respectivamente. Al momento de realizar las prácticas de polinización, el rango de temperatura promedio fue de 20,3 a 22,4 °C y el de la humedad relativa fue del 66 a 62 %.

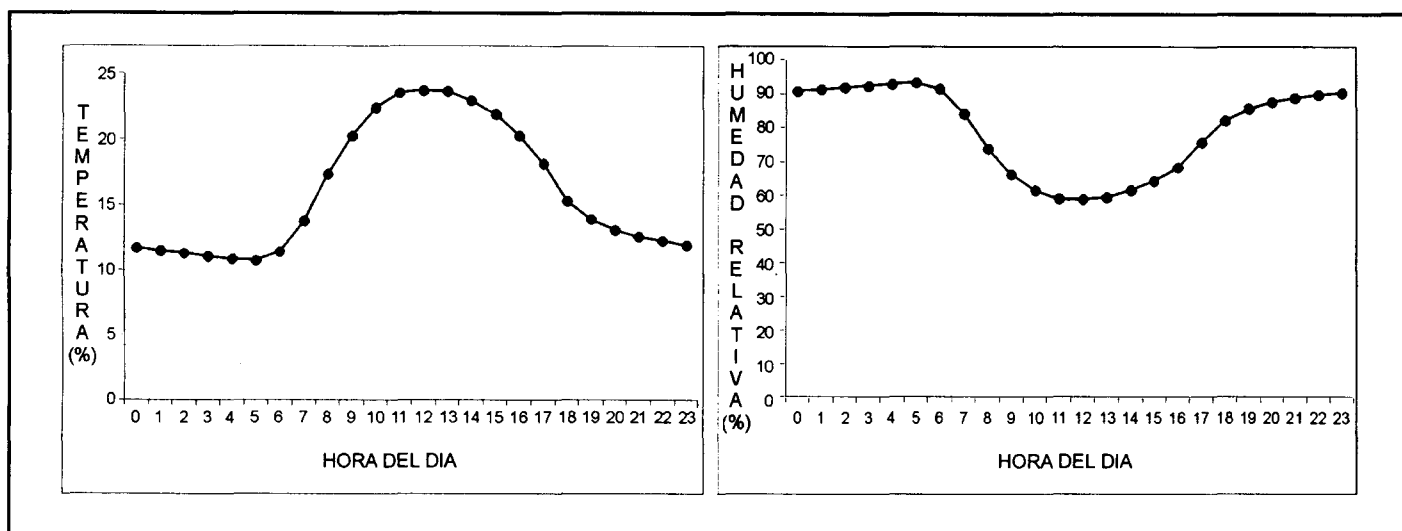


Figura 1. Comportamiento promedio de la temperatura y la humedad relativa del aire en el transcurso del día. Datos registrados durante el ensayo (31/3/2000-30/9/2000).

El promedio de la radiación PAR acumulada en el interior del invernadero fue de 22,5 moles m² día⁻¹. Las condiciones ambientales, tanto de temperatura como de humedad relativa, que se presentaron durante el ciclo de cultivo, son las normales para el crecimiento y desarrollo del tomate bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, y para obtener una eficiente polinización.

Desarrollo de la planta y del fruto

El tiempo promedio entre la floración de racimos consecutivos fue de 10,5 días para los tres tratamientos. En esta variable no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1), indicando que el desarrollo de la planta no se vio afectado por las diferentes prácticas de polinización.

El periodo de cuajado del fruto, cuantificado como el tiempo entre floración y obtención de frutos de 5 mm de diámetro, varió entre 4,7 y 6,2 días para los tratamientos PM y PL respectivamente; indicando que el cuajado de los frutos se aceleró por la polinización mecánica. Aunque en promedio, el tiempo de cuajado de los frutos para las flores polinizadas golpeando la guaya fue 1 día menor que el de los frutos obtenidos a libre polinización, la diferencia no fue estadísticamente representativa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Separación de promedios para el tiempo entre aparición de racimos (RACIMO), el periodo de cuajado de frutos (CUAJADO, tiempo entre antesis y fruto de 5mm de diámetro) y el periodo de crecimiento del fruto (FRUTO, tiempo entre antesis y madurez del fruto).

TRAT	RACIMO (días)	CUAJADO (días)	FRUTO (días)
PL	10,8 _a	6,2 _a	70,0 _a
PG	10,7 _a	5,8 _a	65,8 _a
PM	10,1 _a	4,7 _b	63,9 _b

PL: polinización libre; PG: polinización a la guaya; PM: polinización mecánica. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes (prob <0,05).

El periodo de crecimiento de frutos obtenidos mediante PM fue de 64 días, cuantificadas como el tiempo entre antesis y madurez, en comparación con 66 y 70 días para PG y PL respectivamente (Cuadro 1). La diferencia en el periodo de crecimiento del fruto entre las plantas del tratamiento PG y las de libre polinización no fueron significativamente diferentes.

Producción y tamaño de frutos

El peso fresco promedio de los frutos obtenidos mediante polinización mecánica fue de 163,3 g, 37 y 26,4 g más que los frutos del tratamiento PL y PG respectivamente (Cuadro 2), el cual representa un aumento de 29 % en peso por fruto comparado con los frutos procedentes de flores de libre polinización y de 19 % más que los obtenidos al polinizar las flores golpeando la guaya. La diferencia en peso por fruto entre los tratamientos PG y PL no fue significativa. En el Cuadro 2 se observa la misma tendencia para el peso seco, el diámetro y el número de semillas por fruto. El porcentaje promedio de contenido de materia seca fue de 6,3 % y no se encontraron diferencias entre tratamientos.

Al calcular la tasa de crecimiento relativo promedio para cada uno de los tratamientos, se observa que los frutos polinizados mecánicamente crecen con una tasa de 2,84 g/fruto¹/día¹, el cual es superior en 0,95 g/fruto¹/día¹ comparado con los de libre polinización (incremento de 50 %) y 0,47 g/fruto¹/día¹ más comparados con los frutos del tratamiento PG.

El Cuadro 2 muestra que los frutos polinizados con “abejorro mecánico” alcanzaron en promedio 128 semillas por fruto. Esto representa aproximadamente tres veces el número de semillas formadas en los frutos del tratamiento testigo con 46 semillas por fruto, y dos veces más semillas que en los frutos obtenidos mediante la vibración de los alambres del tutorado (60 semillas por fruto).

Cuadro 2. Características generales de los frutos producidos en los dos tratamientos de polinización y el testigo.

TRAT	Peso fresco (g/fruto ⁻¹)	Peso seco (g/fruto ⁻¹)	Diámetro (mm)	Peso fresco acumulado (g/planta ⁻¹)	Crecimiento relativo (g/fruto ⁻¹ /día ⁻¹)	Número de semillas (un fruto ⁻¹)
PL	126,3 _a	8,06 _a	62 _a	3.037 _a	1,89 _a	46 _a
PG	136,9 _a	8,76 _a	63 _a	3.247 _a	2,37 _b	60 _a
PM	163,3 _b	10,39 _b	70 _b	4.091 _b	2,84 _c	128 _b

PL: polinización libre; PG: polinización a la guaya; PM: polinización mecánica. Valores con la misma letra no son significativamente diferentes (prob<0,05).

La Figura 2, muestra la relación entre el número de semillas y el peso fresco del fruto. Se encontró un coeficiente de correlación de Pearson entre el número de semillas y el peso fresco de 0,72. Entre el número de semillas y el peso seco, el coeficiente de correlación calculado fue de 0,68 y entre el número de semillas y el diámetro de 0,72. Esto indica una mediana correlación entre el número de semillas y las demás variables.

Debido al mayor peso fresco por fruto encontrado en los frutos del tratamiento PM, el peso acumulado por planta para este tratamiento fue de 4.091 g para los frutos cosechados de los primeros cinco racimos, esto es superior en un 34 y 26 % a la producción obtenida en el tratamiento testigo el tratamiento PG respectivamente (Cuadro 2). La Figura 3 muestra la producción acumulada a través del tiempo para los dos tratamientos y el testigo. Entre el tratamiento PL y el tratamiento PG no se presentaron diferencias significativas.

Análisis marginal de costos y beneficios

En la Figura 4 se puede observar la separación por calibres para cada tratamiento de acuerdo a una escala de categorías o calibres manejados por el mercado (González, 2001). Para el tratamiento PM, el 4,6 % de la producción se clasificó dentro del calibre 1, el cual agrupa los frutos con diámetro superior a 82 mm. Para los tratamientos de polinización a la guaya y libre polinización, el 15,9 % y el 13 % de la producción clasificó respectivamente dentro de esta categoría. Dentro del calibre 2, entre 67 y 81 mm, los frutos de polinización mecánica alcanzaron el 71,3 % de la producción, frente a un 43,8 % alcanzado por el tratamiento PG y un 40,4 % del tratamiento PL. Se puede concluir que el 75,9 % de

la producción del tratamiento PM se clasificó dentro de los calibres 1 y 2, comparado con un 59,7 y un 53,4 % para los tratamientos PG y PL respectivamente. En el tratamiento PM cabe también destacar la baja proporción de frutos pequeños (calibre 4 con diámetro entre 40 y 52 mm); el 0,6 % de la producción del tratamiento PM se halla dentro de este rango mientras que en los tratamientos PG y PL el 9,6 y 8,3 % de la producción clasificó en esta categoría.

El coeficiente de variación del diámetro de los frutos del tratamiento PL fue del 55%, para el tratamiento PG este fue del 52 % y para el tratamiento PM este coeficiente de variación fue del 32 %. Lo anterior nos muestra una mayor uniformidad en la distribución del diámetro de los frutos polinizados mecánicamente.

A partir del peso producido por planta, la distribución por categorías y los precios promedio al productor para el segundo semestre del año 2000, se calcularon los ingresos brutos por metro cuadrado por tratamiento para la cosecha de los primeros racimos (Cuadro 3). En el tratamiento PM este ingreso fue de \$9.210 m⁻²; esto significa un incremento de \$2.182 m⁻² frente al tratamiento PG y \$2.724 m⁻² más que el tratamiento testigo.

En el Cuadro 4 se presentan los aspectos que influyeron en el costo marginal de la polinización de los cinco primeros racimos utilizando el “abejorro mecánico” y vibrando los alambres del tutorado. Estimando el costo del vibrador eléctrico en 50 dólares americanos, depreciándolo en 5 años y utilizándose un equipo en 2.000 m², el costo del vibrador para polinizar 5 racimos por planta, es de aproximadamente \$4 m⁻². El costo marginal de la polinización mecánica para los primeros cinco racimos fue de \$143 m⁻² y para polinizar vibrando los alambres del tutorado, el costo calculado es de \$35 m⁻².

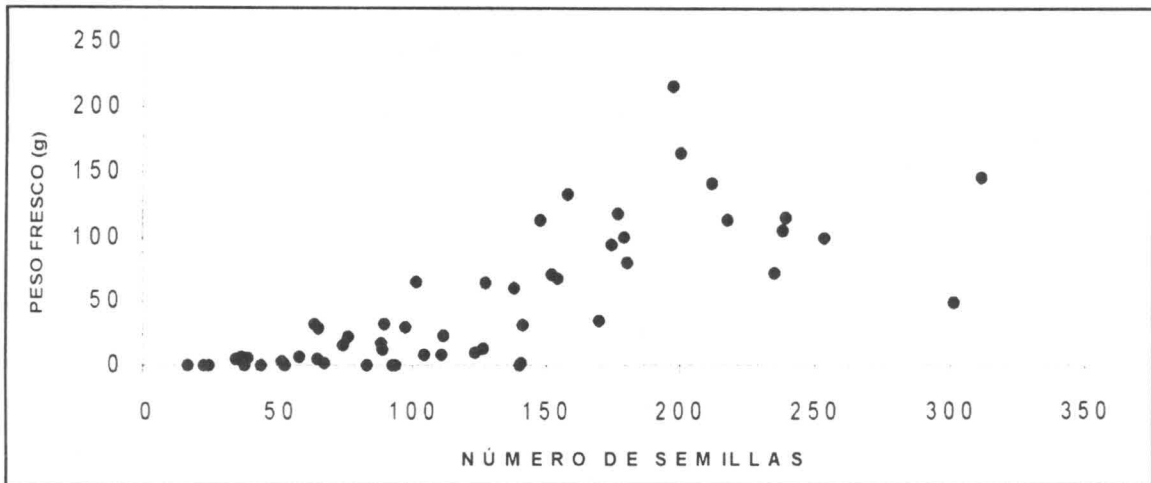


Figura 2. Relación entre el número de semillas por fruto y el peso fresco del fruto. Coeficiente de correlación de Pearson: 0,72

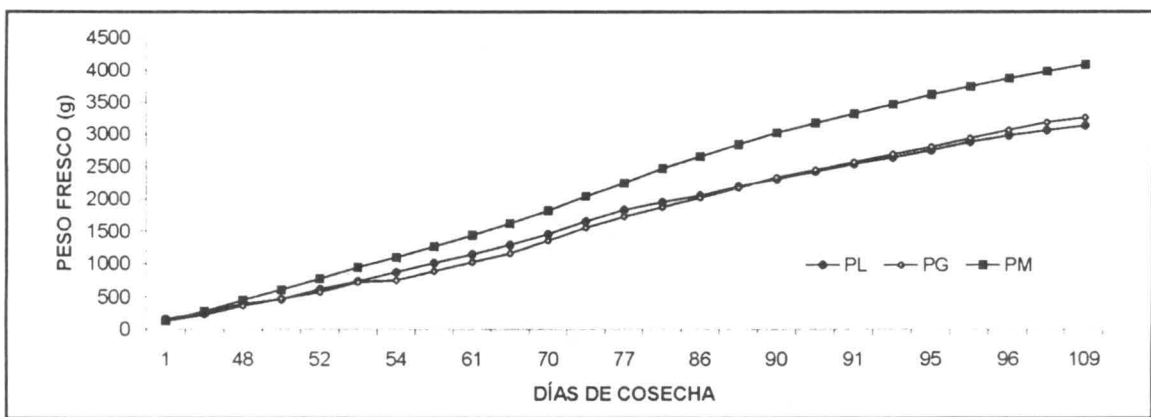


Figura 3. Producción acumulada por planta en los cinco primeros racimos para dos prácticas tendientes a mejorar la polinización: polinización mecánica (PM), polinización a la guaya (PG) y un testigo o libre polinización (PL).

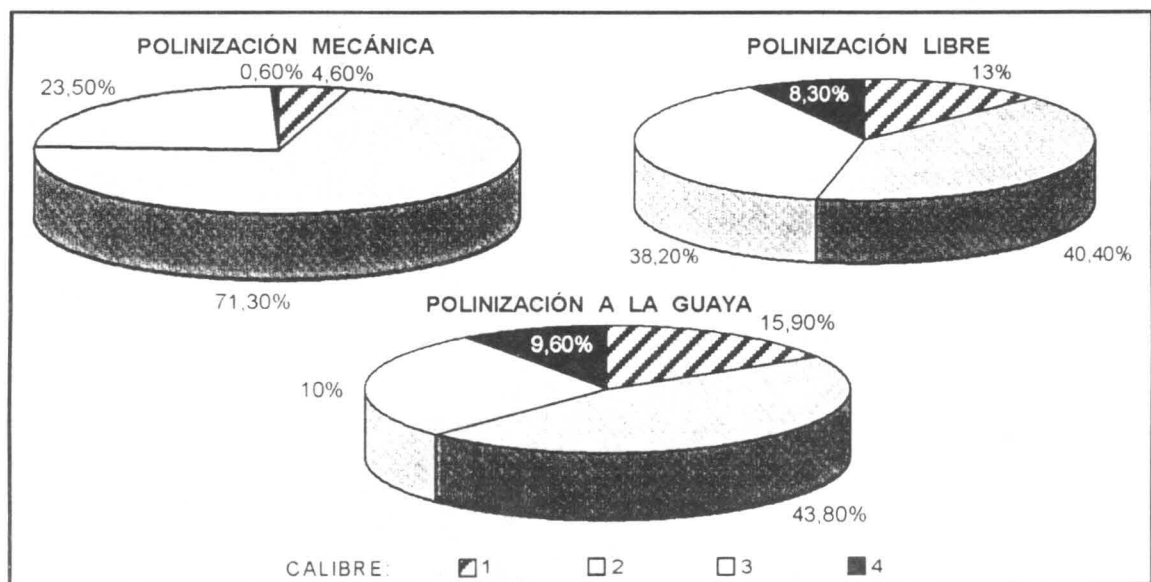


Figura 4. Clasificación de la cosecha para cada uno de los tratamientos de polinización, según diámetro del fruto: calibre 1: diámetro >82 mm; 2: 67-81 mm; 3: 53-67 mm; 4: 40-52 mm.

Cuadro 3. Distribución de la producción ($\text{kg} \times \text{m}^2$) para cada una de las prácticas de polinización según escala de categorías utilizadas por el CIAA y cálculo de ingresos brutos ($\text{\$} \times \text{m}^2$) generados por cada una de estas prácticas.

Calibre	Diámetro (mm)	Valor del producto ($\text{\$} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Tratamientos					
			PM		PG		PL	
			($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	($\text{\$} \cdot \text{m}^2$)	($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	($\text{\$} \cdot \text{m}^2$)	($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	($\text{\$} \cdot \text{m}^2$)
1	>82	1025	0,47	478	1,30	1.323	1,00	1.025
2	67-81	931	7,29	6.788	3,92	3.651	3,07	2.856
3	53-67	796	2,40	1.914	2,12	1.689	2,90	2.310
4	40-52	467	0,06	30	0,78	365	0,63	295
TOTAL			10,2	9.210	8,1	7.028	7,6	6.486

PL: polinización libre; PG: polinización a la guaya; PM: polinización mecánica. Precios promedios al productor II semestre de 2000.

Cuadro 4. Cálculo de costo marginal causado por las prácticas de polinización de los cinco (5) primeros racimos utilizando el "abejorro eléctrico" (PM) y vibrando los alambres del tutorado (PG).

Concepto	Unidad	PM Valor	PG Valor
Área a polinizar	m^2	1.000	1.000
Tiempo entre aparición de racimos	Días	10	10
Floración dentro del racimo	Días	2,7	2,7
Tiempo de la planta en floración	Días	61	61
Total semanas en floración	Semanas	8,8	8,8
Frecuencia semanal de polinización	Prácticas	3	3
Total prácticas de polinización	Prácticas	26	26
Tiempo requerido para polinizar	Horas	2	0,5
Total tiempo de polinización por ciclo	Horas	52,5	13,1
Valor hora de trabajo	Pesos	2.650	2.650
Valor total de horas dedicadas a polinización	Pesos	139.238	34.809
Valor del equipo de polinización	Pesos	4.000	-
Costo de polinización por m^2	Pesos	143	35

Para el tratamiento de polinización mecánica, el beneficio marginal calculado fue de $\text{\$}2582 \text{ m}^2$, comparado con el tratamiento testigo, mientras que para el tratamiento de polinización con guaya, este beneficio marginal fue de $\text{\$}508 \text{ m}^2$ (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cálculo del beneficio marginal para cada una de las prácticas de polinización.

TRAT	Ingreso bruto $\text{\$} \text{ m}^2$	Ingreso marginal $\text{\$} \text{ m}^{-2}$	Costo de la polinización $\text{\$} \text{ m}^{-2}$	Beneficio marginal $\text{\$} \text{ m}^{-2}$
PM	9.211	2.725	143	2.582
PG	7.029	543	35	508
PL	6.486			

PL: polinización libre; PG: polinización a la guaya; PM: polinización mecánica.

DISCUSION

Al tener en cuenta el comportamiento promedio de la temperatura y la humedad relativa del aire durante el día, se observa que las horas óptimas para realizar las prácticas de polinización se encuentran entre las 7 y 9 am, cuando la humedad relativa está entre el 65 y 85 %, favoreciendo la liberación del polen del estambre y la adherencia del polen al estigma. Sin embargo, en este experimento se efectuó la polinización entre las 9 y 10 am con un resultado significativo sobre la producción.

De las diferencias observadas se concluye que al vibrar los racimos con el "abejorro mecánico" bajo condiciones óptimas de temperatura y de humedad relativa se mejora la transferencia del polen. Esto se ve expresado en un mayor número de semillas por fruto, aumentando así el peso y diámetro de los frutos individuales y la uniformidad en la producción. En el caso de no efectuar una práctica de polinización, se genera una mayor diferencia en la fuerza de vertedero entre frutos individuales, ya que por factores

externos unos frutos son bien polinizados, compitiendo así con mayor fuerza por fotoasimilados con la mayoría de los frutos con deficiente polinización. La alta proporción de frutos muy grandes y pequeños en PL y PG puede ser debida a este fenómeno. La separación por calibres muestra también una alta proporción de frutos grandes y una baja proporción de frutos pequeños en el tratamiento PM. Esta distribución por tamaños se materializó en un incremento del 42 % de los ingresos brutos frente al tratamiento testigo y del 31 % frente al tratamiento PG.

La mediana correlación (0,72) encontrada entre el número de semillas y el peso final del fruto es inferior a las correlaciones encontradas por Imanushi e Hiura (1975), que son del orden de 0,9. Se debe tener en cuenta que no sólo el número de semillas determina el tamaño y peso final del fruto, por lo que es frecuente encontrar frutos pequeños con un alto contenido de semillas o frutos grandes con bajo número de semillas. Teniendo en cuenta que una buena polinización incide en la fuerza del vertedero (frutos), sólo resultarán frutos de buen tamaño si existe una actividad adecuada en la fuente y si no hay demasiada competencia entre vertederos.

El cultivo de tomate bajo invernadero sin una práctica de polinización adicional a la polinización libre tiene una productividad limitada, especialmente en la Sabana de Bogotá, donde las condiciones climáticas pueden afectar la producción y transferencia del polen; en estas condiciones, es necesario utilizar una vibración sobre el racimo floral, para que se libere una mayor cantidad de polen.

No se encontraron diferencias en el desarrollo de la planta entre los diferentes tratamientos de polinización. Este solo varía con cambios en temperatura y en menor medida con cambios grandes en la relación fuente-vertedero (Gómez, 2000). La disminución en el periodo de cuajamiento y en el periodo de crecimiento del fruto, observados en el tratamiento de polinización mecánica, pueden ser debidos al mayor número de óvulos fecundados induciendo un rápido crecimiento del ovario (Varga y Bruinsma, 1976) y a un incremento en la actividad de demanda provocada por el crecimiento de un mayor número de semillas. Al contrario, Stenvers y Standen (1976), encontraron que entre más semillas el periodo de desarrollo del fruto era más largo.

La falta de diferencias para todas las variables evaluadas entre los tratamientos de polinización con guaya y libre polinización indican que el vibrado de la planta por medio de golpes a los alambres del tutorado no fue una práctica exitosa, pues no se generó una suficiente vibración a la flor para que se provoque la amplia liberación del polen.

El uso de insectos polinizadores se considera más eficiente para la transferencia del polen al causar un vibrado directamente sobre la flor; además, éstos realizan una polinización continua que difícilmente puede ser realizada por personal humano. En Colombia, dada la gran diversidad de especies de abejorros, se da la posibilidad de utilizar colonias de estos insectos polinizadores, no sin antes realizar investigaciones para la adopción de esta tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y a Colciencias el apoyo financiero recibido para esta investigación.

LITERATURA CITADA

- ALDANONDO, A. M. El cultivo y producción de tomate en la Unión Europea y España. En: El cultivo del tomate (Nuez, F. Ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1995
- BEYER, E.M. Y QUEBEDAUX, B. Parthenocarp in cucumber: Mechanism of action of auxin transport inhibitors. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 99: p. 385-390. 1974
- CASTILLA, N. Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: El cultivo del tomate (Nuez, F. Ed). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1995
- CIAA. Segundo informe técnico para COLCIENCIAS: Desarrollo de la producción y el mercadeo de la lechuga, el tomate y la zanahoria dentro del programa EUROFRESH. 1999
- COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. *Ann.Rev.Plan.Physiol.* 27: 207-228. 1976
- CRANE, J.C. The role of hormones in fruit set and development. *HortScience* 4(2): 1969 - 1970
- ESCOBAR, H. Y R. LEE (EDS.) Producción de tomate bajo invernadero. Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 2001
- ESQUINAS-ALCAZAR, J. Y NUEZ, F. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. En: El cultivo del tomate (Nuez, F., Ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1995
- GOMEZ, D. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en función del clima. Monografía. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. 2000
- GONZALEZ, M. Cosecha y poscosecha. En: Producción de tomate bajo invernadero (Escobar, H. y Lee, R., Eds.). Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 2001
- HANNA, H.Y. Assisting natural wind pollination of field tomatoes with an air blower enhances yield. *HortScience* 34(5): 846-847. 1999
- HO, L. C. Tomato. En: Photoassimilate distribution in plants and crops. (Zamki, E. y Schaffer, A.A., Eds.). Marcel Decker, New York. p. 709-728. 1996
- HO, L. C Y HEWITT, J. D. Fruit development. En: The tomato crop- a scientific basis for improvement (Atherton, J.G y Rudich, J., Eds.). Chapman y Hall, Londres, Reino Unido. p. 201-239. 1986
- IMANUSHI, S. E HIURA, I. Relationship between fruit weight and seed content in the tomato. *J. Japan.Soc.Hort. Science.* 44 (11): 33-40. 1975
- RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, R. TABARES-RODRIGUEZ, J. Y MEDINA-SAN JUAN, A. El Cultivo moderno del tomate. 2da edición. Ed Mundiprensa. Madrid. 1996
- STENVERS, N. Y STANDEN, O. N. Growth, ripening and storage of tomato fruits III. Influence of vegetative plant parts and effects of fruit competition and seed number on growth and ripening of tomato fruits. *Gartenbauwiss.* 41(6): 253-259. 1976
- UMATA Municipio de Sutatenza. Censo de cultivo de tomate bajo invernadero. Alcaldía de Sutatenza (Boyacá). 2000
- VARGA, A. y BRUINSMA, J. Roles of seeds and auxins in tomato fruit growth. *Z. Pflanzenphysiol.* 80: 95-104. 1976