

## Eficiencia de dos sistemas para la aspersión de plaguicidas en árboles de cítricos

Effectiveness of two systems for the spraying of pesticides in citrus trees

RUBÉN C. VELIZ<sup>1</sup>, CASIMIRO D. GADANHA JR.<sup>2</sup> y JAVIER A. VÁSQUEZ-CASTRO<sup>3</sup>

**Resumen:** En la citricultura normalmente se utilizan volúmenes elevados en los caldos de plaguicidas (de 2.000 a 5.000 L.ha<sup>-1</sup>) para controlar las plagas y las enfermedades que afectan el cultivo, lo cual genera un incremento en los costos de operación. Por ese motivo, se vienen desarrollando diversos sistemas de aplicación que disminuyen los volúmenes de aplicación y mejoran la uniformidad de deposición de los plaguicidas. El presente trabajo evaluó la eficiencia de dos sistemas de aplicación de plaguicidas en árboles de cítricos. Un sistema utilizó un prototipo de aplicación terrestre con atomizadores rotativos de discos que son ampliamente empleados en aviación agrícola, el otro sistema utilizó puntas hidráulicas de chorro cónico vacío. Para el tratamiento de los árboles se utilizó el insecticida metidation en la dosis de 180 g por hectárea. Para estudiar el espectro de gotas se instalaron papeles hidrosensibles en diferentes posiciones en la copa de los árboles y para el estudio de la deposición del insecticida se colectaron hojas de las plantas tratadas. Los papeles hidrosensibles se recolectaron y analizaron a través de un sistema de análisis de imagen computarizado (e-Sprinkle, EMBRAPA, Sao Paulo, Brasil) y las hojas se analizaron mediante técnica de cromatografía gaseosa. La deposición del plaguicida fue similar en ambos sistemas de aplicación, aunque el volumen de caldo utilizado por el sistema de aplicación equipado con atomizadores rotativos de disco representó un cuarto del volumen utilizado por el sistema de aplicación equipado con puntas hidráulicas, esto disminuye considerablemente los costos de los tratamientos fitosanitarios.

**Palabras clave:** Control químico. Tecnología de aplicación. Atomizadores rotativos. Puntas hidráulicas. Cromatografía.

**Abstract:** Citriculture normally uses high application volumes in pesticide solutions (of 2.000 to 5.000 L ha<sup>-1</sup>) to control pests and diseases that affect the crop, which generates an increase in operational costs. For this reason, diverse systems of application are being developed to reduce application volumes and improve the uniformity of pesticide deposition. The goal of this work was to evaluate the efficiency of two application systems of pesticides in citrus trees. One system used a prototype for terrestrial application with rotary disc atomizers that are widely used in agricultural aviation, and the other system used hollow cone tip hydraulics. For the treatment of the trees the insecticide Metidation was used at the dose of 180 gr per hectare. To study the droplet spectrum, water-sensitive papers were installed at different positions in the trees canopy, and for the study of insecticide deposition leaves of the treated plants were collected. The water-sensitive papers were collected and analyzed using a computerized image analysis system (e-Sprinkle, EMBRAPA, Sao Paulo, Brazil), and the leaves analyzed by the technique of gas chromatography. Pesticide deposition was similar in both application system, although the solution volume used by the application system equipped with rotary disc atomizers was one quarter of the volume used by the application system equipped with hydraulic tips, reducing considerably the cost of the phytosanitary treatments.

**Key words:** Chemical control. Application technology. Rotary atomizers. Hydraulic tips. Chromatography.

### Introducción

Mejoras en la uniformidad, eficiencia de deposición del plaguicida y reducción de los volúmenes de aplicación, son requisitos importantes para el éxito del control químico de plagas. Frecuentemente, la plaga se localiza o prefiere ciertas áreas sobre la planta, requiriéndose así una deposición precisa del plaguicida. La irregularidad en la deposición de plaguicidas ocasionará áreas con sub y sobredosis en los campos tratados, lo que podría provocar una presión de selección importante sobre la plaga, favoreciendo la evolución de la resistencia (Vásquez-Castro 2008). Por otro lado, existe tendencia a reducir el volumen de los caldos en las aplicaciones fitosanitarias, para la disminución de costos y el aumento de la eficiencia de pulverización, lo que es posible mediante el uso de sistemas que proporcionen una deposición y un espectro de gotas uniformes (Voll *et al.* 2006).

En el sistema de pulverización, la “punta” de pulverización es el componente más importante, pues ella es la responsable del caudal, generación y distribución de gotas que

cargan el plaguicida hasta el blanco a ser controlado. Las puntas de pulverización son clasificadas básicamente por la forma de energía utilizada para la producción de gotas (energía gaseosa, centrífuga, térmica, eléctrica, hidráulica y combinados). Entre ellas, las puntas hidráulicas son las más importantes en la aplicación de plaguicidas. En ellas, un líquido bajo presión es forzado a través de una pequeña abertura de tal forma que el líquido se esparce, formando una lámina que posteriormente se desintegra en gotas de diferentes tamaños (Vásquez-Castro *et al.* 2007). Otro tipo de sistema utilizado principalmente para la pulverización en la aviación agrícola es el atomizador rotativo de discos, el cual utiliza la energía centrífuga para la formación de gotas. Diversos trabajos han demostrado las ventajas de estos atomizadores frente a las puntas hidráulicas entre las que se destacan la homogeneidad en el espectro de gotas y la reducción en el volumen de aplicación, características que conducen a una mayor eficiencia biológica y reducción de los costos de operación (Bals 1978; Derksen y Bode 1986).

<sup>1</sup> M.Sc. en Máquinas Agrícolas, consultor privado, Lima, Perú. [rdcollantes@hotmail.com](mailto:rdcollantes@hotmail.com), <sup>2</sup> Prof. Dr. Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP 13418-900, Brazil. [cdgadhanh@esalq.usp.br](mailto:cdgadhanh@esalq.usp.br); <sup>3</sup> Prof. Dr. Departamento de Entomología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Universidad s/n, apartado 456, Lima100, Perú. [jaque@lamolina.edu.pe](mailto:jaque@lamolina.edu.pe) Autor para correspondencia.

En la literatura internacional se encuentran algunos trabajos científicos que demuestran la mayor deposición de plaguicidas cuando se disminuyen los volúmenes de aplicación (Hall *et al.* 1981; Carpenter *et al.* 1983; Bukovac 1985; Vanee *et al.* 1985; Raetano 1996; Ramos *et al.* 2004). Sin embargo, existen otros reportes demostrando lo contrario (Rigolin y Tersi 1999; Farooq y Salyani 2002). Por otro lado, la eficiencia en la deposición y penetración de las gotas en la copa de los árboles va a depender de la arquitectura de la planta (Travis *et al.* 1987) y del diámetro de las gotas (Salyani 1988). Los mayores depósitos de plaguicidas ocurren en la parte externa e inferior de la copa de los árboles las cuales son fácilmente alcanzadas por el chorro del pulverizador, al contrario de lo que ocurre con las partes interna y superior de la copa las cuales reciben muy poco o nada del producto químico (Morgan 1981; Palladini 1990; Juste *et al.* 1990). Esa característica operacional ocasionará problemas de residuo de plaguicidas ya que las frutas más expuestas recibirán sobredosis del producto químico y a pesar de cumplirse con el periodo de carencia ese tiempo será insuficiente para que el plaguicida se degrade a niveles por debajo del Límite Máximo de Residuo (LMR) permitido por la Ley, lo cual coloca en riesgo la salud del consumidor y la economía del productor (Vásquez-Castro 2006).

Las pulverizaciones de plaguicidas son generalmente clasificadas en función del tamaño de la gota con particular referencia al diámetro mediano volumétrico (DMV), definido como el diámetro de la gota que divide el volumen de pulverización en dos partes iguales. Así, la mitad del volumen pulverizado formará gotas con diámetros mayores al DMV y la otra mitad con diámetros menores al DMV (Matthews 2000). La variación entre los diámetros de las gotas de una pulverización determina el espectro de gotas, característica definida como amplitud relativa (AR). Si las gotas presentan una diferencia pequeña entre sus diámetros, la pulverización tendrá un espectro de gotas homogéneo. De lo contrario el espectro será heterogéneo. Otra característica importante que debe ser evaluada en las pulverizaciones es la densidad de gotas (DG), definida como la cantidad de gotas por unidad de superficie (Monteiro 2006). A mayor densidad de gotas mayor eficiencia biológica ya que habrá mayor probabilidad que la plaga entre en contacto con la superficie tratada.

De esa forma, la aplicación de plaguicidas se torna una operación bastante compleja debido a muchos factores que intervienen durante su ejecución. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de dos sistemas de aplicación de plaguicidas en árboles de cítricos.

### Materiales y Métodos

Los experimentos se realizaron en un huerto de naranjas de la variedad “Valencia” de 10 años de edad, con árboles distanciados a 6 m entre hileras y 3,5 m entre plantas, y con altura promedio de 4 m. Se evaluaron cuatro árboles para cada sistema de aplicación, los cuales fueron seleccionados por sus semejanzas en la arquitectura de la copa a fin de estandarizar ese factor. Las aplicaciones para ambos sistemas se realizaron con un pulverizador hidroneumático de tipo chorro transportado Arbus 2000, con deflector unilateral de tipo “camarón” con ventilador de 0,85 m de diámetro, el cual genera un flujo de aire de  $12,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  según indicaciones del fabricante, tanque de fibra de vidrio de 2000 L de capacidad, bomba modelo JP-150 de  $150 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , comando convencional y filtro modelo FVS-200. Para accionar el pulverizador se usó un tractor agrícola Massey Ferguson, modelo 5285 con motor Perkins, modelo 4001 de 85 CV de potencia en el motor.

Para el sistema de aplicación equipado con puntas hidráulicas se utilizó solamente el ramal inferior del deflector, provisto de 13 puntas de chorro cónico vacío modelo AD3 con difusor AC 45. La presión del sistema fue de 827 kPa, según recomendación del fabricante. Para el sistema de aplicación equipado con atomizadores rotativos se montó una estructura de fibra de vidrio con soportes para colocar cinco atomizadores rotativos de discos, modelo TT-88B (Fig. 1) con las siguientes características técnicas: cuatro discos de plástico con periferia aserrada y diámetro de 0,088 m accionado por motor eléctrico, el cual recibe energía de la batería del tractor, disco de orificio D-4, velocidad de operación de 1,4 a  $8,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , velocidad de rotación de 2000 a 6000 rpm con un peso aproximado de 1,67 kg. El control de las rotaciones de los discos del atomizador se realizó mediante un controlador de rotación marca Motron, modelo VV 8702, el cual recibía energía de la batería del tractor. La presión del sistema fue de 276 kPa.



Figura 1. Sistemas de aplicación equipados con puntas hidráulicas A y con atomizadores rotativos de disco B.

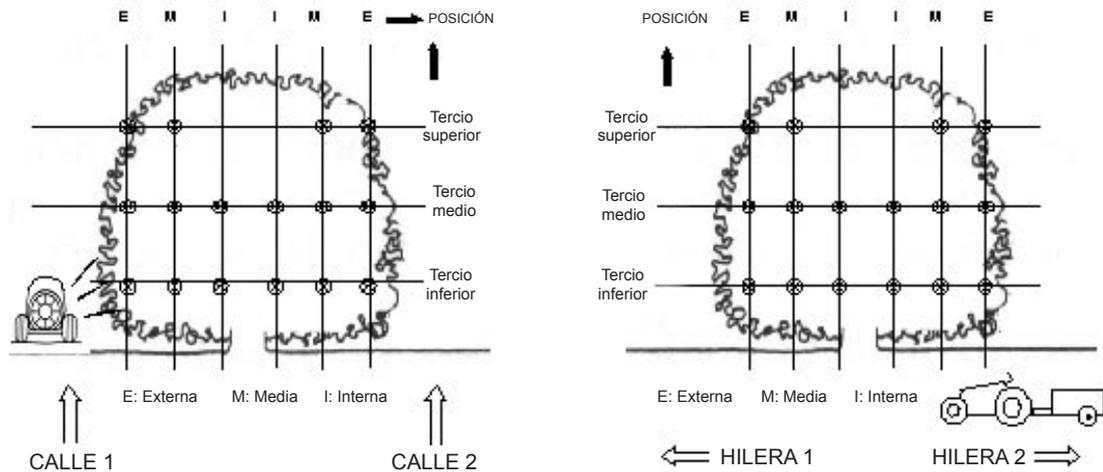


Figura 2. División imaginaria de la copa del árbol y puntos de muestreo.

Para la obtención del caudal real correspondiente para cada sistema de aplicación en las presiones de trabajo indicadas se recolectó durante un minuto el volumen en probeta de 2 L de capacidad. La velocidad de operación para el sistema de aplicación equipado con puntas hidráulicas fue de 0,83 m.s<sup>-1</sup> correspondiente a la marcha del tractor 2ª baja y para los atomizadores rotativos fue de 1,66 m.s<sup>-1</sup> correspondiente a la marcha del tractor 3ª baja.

El volumen de caldo a utilizar en cada sistema de pulverización y la cantidad de insecticida (producto comercial) por hectárea se calcularon a través de las fórmulas 1 y 2 citadas por Ramos y Pio (2003).

$$Q = \frac{600 \times q}{V \times e} \quad \text{Fórmula 1}$$

Donde: **Q** es el volumen de aplicación (L.ha<sup>-1</sup>), **q** es el caudal colectado de los atomizadores rotativos o puntas hidráulicas (L.min<sup>-1</sup>), **V** es la velocidad del conjunto tractor-pulverizador (km.h<sup>-1</sup>) y **e** es la distancia entre las hileras de los árboles (m).

$$Pc = \frac{D \times Ct}{Q} \quad \text{Fórmula 2}$$

Donde: **Pc** es la cantidad de producto comercial (L), **D** es la dosis del producto (L.ha<sup>-1</sup>), **Ct** es la capacidad del tanque (L) y **Q** es el volumen de aplicación (L.ha<sup>-1</sup>).

Para el estudio del espectro de gotas se utilizó el método propuesto por Derksen y Gray (1995) con algunas modificaciones. Los papeles hidrosensibles (0,076 m de largo, 0,026 m de ancho) se colocaron en diferentes lugares de la planta. La copa fue imaginariamente dividida en dos sectores, hilera de plantas y calle; cada sector fue dividido en tres tercios, inferior, medio y superior, y cada tercio fue dividido en tres profundidades, externa, media e interna, generando así 32 puntos de muestreo por árbol (Fig. 2). Para el tratamiento de los árboles se utilizó el insecticida Metidation (Supracid

400 CE®) en la concentración de 0,05 g por 100 L de agua. Después de la pulverización, los papeles hidrosensibles se colectaron y analizaron a través de un sistema de análisis de imagen computarizado, e-Sprinkle EMBRAPA, Sao Paulo, Brasil. Durante los ensayos se registraron temperaturas entre 28 y 30°C, humedades relativas del aire entre 55 y 60% y velocidades de viento entre 2,9 y 4,3 km.h<sup>-1</sup>.

Para el análisis de la deposición del insecticida sobre las hojas de los árboles se utilizó el método propuesto por Hoffmann y Salyani (1996) con algunas modificaciones. Cuatro hojas de cada punto de muestreo fueron colectadas y almacenadas en cámara fría (-20 ± 5°C) hasta la extracción y cuantificación de los depósitos. El método analítico fue adaptado a partir de Andersson y Palsheden (1998). Para la extracción de los residuos, se colocaron cuatro muestras circulares de hojas de 25 mm de diámetro en tubos de ensayo de 50 mL. Luego se adicionaron 15 mL de acetato de etilo y 2 g de sulfato de sodio, siendo posteriormente, el conjunto homogenizado en Vortex y Ultrason por espacio de 1 y 10 minutos, respectivamente. Se transfirieron alícuotas de 12 mL del sobrenadante a tubos de ensayo de 15 mL, adicionando inmediatamente 50 µL de dodecano. Los extractos se evaporaron en Turbo-Vap LV, en baño-maría a 30°C, con auxilio de aire circulante, previamente secado en filtro de silica-gel desecante azul. Los residuos se resuspendieron en 2 mL de una mezcla de ciclohexano/acetato de etilo (1:1, v/v), homogenizados en Vortex y Ultra-son, y se filtraron a través de un filtro de membrana, Millipore, FG, poro 0,2 µm montado en jeringa hipodérmica de plástico (5 mL). La limpieza de los extractos se realizó mediante técnica de Cromatografía de Permeación en Gel (GPC), utilizando una mezcla de ciclohexano/acetato de etilo (1:1, v/v). Las muestras se analizaron con Cromatografía en Fase Gaseosa, utilizándose cromatógrafo a gas, Hewlett-Packard, modelo 6890, equipado con detector selectivo de masas. Los residuos se calcularon usando el software ChemStation versión B.01.00. El método analítico utilizado para las hojas de cítricos se validó mediante fortificación de la matriz con los niveles de 0,05, 0,5 y 5,0 mg.kg<sup>-1</sup>, con tres repeticiones para cada nivel y las recuperaciones entre 70-120% se consideraron aceptables.

Para el análisis estadístico se consideró cada árbol como parcela experimental y cada punto de muestreo como subpar-

cela. Los datos se sometieron al análisis de variancia, utilizándose modelo matemático para el diseño completamente al azar en el esquema de parcelas subdivididas (split-plot). El efecto de los sistemas de aplicación se asoció a la parcela, mientras que el efecto de los puntos de muestreo (combinación de sector, altura y profundidad) se relacionó a la subparcela. El análisis se realizó a través del procedimiento MIXED del programa SAS (1999).

### Resultados y discusión

El caudal promedio del atomizador rotativo de discos fue 2,15 L.min<sup>-1</sup>. De esa forma, el caudal total del sistema (cinco atomizadores rotativos) fue 10,75 L.min<sup>-1</sup>. La velocidad de operación del conjunto tractor-pulverizador fue 1,67 m.s<sup>-1</sup>. Como se utilizó apenas un lado del pulverizador para la aplicación, la distancia entre las hileras de árboles fue dividida en dos a fin de calcular el volumen del caldo, cuyo valor según la Fórmula 1 fue de 368 L.ha<sup>-1</sup>. De acuerdo con la recomendación del fabricante del insecticida, el producto comercial se utilizó a la concentración de 0,125%. Por lo anterior, se utilizaron 500 L de agua y 0,625 L del producto comercial para preparar el caldo insecticida. Con el objetivo de utilizar la misma dosis del insecticida en ambos sistemas de aplicación se despejó la Fórmula 2, cuyo valor fue de 0,45 L.ha<sup>-1</sup> del producto comercial (180 gr de Metidation por hectárea). El caudal promedio de la punta hidráulica fue 1,7 L.min<sup>-1</sup>. De esa forma, el caudal total del sistema (13 puntas hidráulicas) fue 22,1 L.min<sup>-1</sup>. La velocidad de operación del conjunto tractor-pulverizador se estimó en 0,83 m.s<sup>-1</sup> (Fórmula 1) con el fin de aplicar el volumen de caldo recomendado por el fabricante del insecticida de 1500 L.ha<sup>-1</sup>. Esos resultados muestran que el sistema de aplicación equipado con atomizadores rotativos de disco utilizó apenas un cuarto del volumen de caldo utilizado por los sistemas de aplicación tradicionales (puntas hidráulicas). Debido al comportamiento diferencial de las plagas donde

algunas se localizan en la parte externa de la copa de los árboles y otras en la parte interna, y a la gran variabilidad en la arquitectura de las copas, las pulverizaciones generalmente se realizan con volúmenes de caldo elevados en la errónea creencia de que así, aumentará la eficacia del producto químico. Por otro lado, el alto costo de operación de las aplicaciones de plaguicidas asociado al requerimiento de las empresas agrícolas de reducir sus costos de producción se ha creado la imperiosa necesidad de mejorar la eficiencia de los sistemas de aplicación tradicionales.

En relación con el espectro de gotas, se observó que el efecto principal del sistema de aplicación solamente fue significativo para el diámetro mediano volumétrico (Tablas 1, 2 y 3). El sistema de aplicación equipado con puntas hidráulicas presentó un DMV (679 µm) significativamente superior al del sistema equipado con atomizadores rotativos (278 µm). En el proceso de formación de gotas, la energía hidráulica del líquido se transforma en energía cinética de las gotas (Lefebvre 1989). Así, las gotas grandes poseen mayor masa y, por lo tanto adquieren mayor energía cinética. De ese modo, gotas grandes tendrán mayor capacidad para vencer la resistencia del aire al desplazamiento horizontal, llegando a recorrer distancias superiores en relación a las gotas pequeñas (Vásquez-Castro et al. 2007). Por otro lado, las gotas pequeñas tienen mayor capacidad para penetrar la copa de los árboles, llegando a lugares donde las gotas grandes no pueden hacerlo. Sin embargo, las gotas muy pequeñas se evaporan fácilmente o son transportadas por el viento para áreas que no son objeto de tratamiento (deriva), ocasionando pérdidas del plaguicida. En ese sentido, el diámetro de gota más adecuado para el tratamiento de árboles de cítricos parece estar comprendido entre 240 y 340 µm (Salyani 1988) tal como se observó en el sistema de pulverización equipado con atomizadores rotativos de disco.

Los porcentajes de recuperación del insecticida en las hojas de cítricos fueron aceptables (70-120%), validándose

**Tabla 1.** Promedios y desviaciones estándares del depósito de Metidation y del espectro de gotas en función del sistema de aplicación y del sector de la planta.

| Sistema de Aplicación                         | Sector de la planta        |                 | Promedio        |
|---|----------------------------|-----------------|-----------------|
|   | Hilera                     | Calle           |                 |
| Deposición en las hojas (ng/cm <sup>2</sup> ) |                            |                 |                 |
| Punta hidráulica                              | 2,102±0,421                | 2,697±0,421     | 2,400±0,388     |
| Atomizador rotativo                           | 3,007±0,421                | 3,573±0,421     | 3,290±0,388     |
| Promedio                                      | 2,555±0,298 b <sup>1</sup> | 3,135±0,298 a   |                 |
| Diámetro mediano volumétrico (µm)             |                            |                 |                 |
| Punta hidráulica                              | 585,03±164,89              | 772,80±164,89 A | 678,92±144,02 A |
| Atomizador rotativo                           | 236,42±113,53              | 318,68±113,53 B | 277,55±80,28 B  |
| Promedio                                      | 410,73±100,10              | 545,74±100,10   |                 |
| Amplitud relativa                             |                            |                 |                 |
| Punta hidráulica                              | 1,087±0,048 A              | 1,091±0,048 B   | 1,089±0,034     |
| Atomizador rotativo                           | 0,907±0,077 bB             | 1,310±0,077 aA  | 1,109±0,069     |
| Promedio                                      | 0,997±0,045 b              | 1,201±0,045 a   |                 |
| Densidad de gotas (N/cm <sup>2</sup> )        |                            |                 |                 |
| Punta hidráulica                              | 178,84±15,95               | 184,52±15,95    | 181,68±12,37    |
| Atomizador rotativo                           | 163,65±15,95               | 219,29±15,95    | 191,47±12,37    |
| Promedio                                      | 171,24±11,28 b             | 201,90±11,28 a  |                 |

<sup>1</sup> Promedios seguidos por letras minúsculas distintas en las líneas o por letras mayúsculas distintas en las columnas difieren significativamente por el test F ( $P < 0,05$ ).

**Tabla 2.** Promedios y desviaciones estándares del depósito de Metidation y del espectro de gotas en función del sistema de aplicación y del tercio de la copa.

| Sistema de aplicación                         | Tercio de la copa           |               |               | Promedio        |
|---|-----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
|   | Inferior                    | Medio         | Superior      |                 |
| Deposición en las hojas (ng/cm <sup>2</sup> ) |                             |               |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 3,807±0,428 aB <sup>1</sup> | 2,259±0,428 b | 1,139±0,492 b | 2,400±0,388     |
| Atomizador rotativo                           | 5,466±0,428 aA              | 2,319±0,428 b | 2,164±0,492 b | 3,290±0,388     |
| Promedio                                      | 4,636±0,303 a               | 2,289±0,303 b | 1,652±0,348 b |                 |
| Diámetro mediano volumétrico (µm)             |                             |               |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 920,54±169,37 A             | 467,05±169,37 | 665,94±207,55 | 678,92±144,02 A |
| Atomizador rotativo                           | 309,62±119,95 B             | 295,43±119,95 | 214,00±169,64 | 277,55±80,28 B  |
| Promedio                                      | 615,08±103,77               | 381,24±103,77 | 439,97±134,03 |                 |
| Amplitud relativa                             |                             |               |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 1,119±0,051                 | 1,123±0,051   | 1,020±0,072   | 1,089±0,034     |
| Atomizador rotativo                           | 1,265±0,079 a               | 1,004±0,079 b | 1,051±0,094 b | 1,109±0,069     |
| Promedio                                      | 1,192±0,047 a               | 1,064±0,047 b | 1,035±0,059 b |                 |
| Densidad de gotas (N/cm <sup>2</sup> )        |                             |               |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 207,24±16,67                | 179,31±16,67  | 155,20±22,45  | 181,68±12,37    |
| Atomizador rotativo                           | 210,81±16,67                | 176,60±16,67  | 191,96±22,45  | 191,47±12,37    |
| Promedio                                      | 209,03±11,79                | 177,96±11,79  | 173,58±15,87  |                 |

<sup>1</sup> Promedios seguidos por letras minúsculas distintas en las líneas difieren significativamente por el test de Tukey-Kramer ( $P \leq 0,05$ ); promedios seguidos por letras mayúsculas distintas en las columnas difieren significativamente por el test F ( $P \leq 0,05$ ).

el método analítico. En el testigo no se detectó el insecticida Metidation, indicando que las hojas estaban libres de este compuesto. En la Tabla 1 se observa que independientemente del sistema de aplicación utilizado, hubo mayor depósito de Metidation en el sector de la copa expuesta a la calle en comparación con la hilera. Así mismo, los valores de amplitud relativa y densidad de gotas fueron superiores en ese sector.

A mayor valor de amplitud relativa, el espectro de gotas será más heterogéneo. Es decir, habrá una mayor variabilidad en el tamaño de gotas que componen el chorro, característica indeseable en las aplicaciones de plaguicidas. En la Tabla 2 se observa que independientemente del sistema de aplicación utilizado, hubo mayor depósito del insecticida en el tercio inferior de la copa frente a los tercios medio y superior. A

**Tabla 3.** Promedios y desviaciones estándares del depósito de Metidation y del espectro de gotas en función del sistema de aplicación y de la profundidad de la copa.

| Sistema de aplicación                         | Profundidad de la copa     |                            |               | Promedio        |
|---|----------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|
|   | Externa                    | Media                      | Interna       |                 |
| Deposición en las hojas (ng/cm <sup>2</sup> ) |                            |                            |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 2,976±0,428                | 2,442±0,428                | 1,810±0,492   | 2,400±0,388     |
| Atomizador rotativo                           | 3,829±0,428                | 3,137±0,428                | 2,760±0,492   | 3,290±0,388     |
| Promedio                                      | 3,402±0,303 a <sup>1</sup> | 2,790±0,303 b <sup>1</sup> | 2,285±0,348 b |                 |
| Diámetro mediano volumétrico (µm)             |                            |                            |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 837,90±169,37 A            | 474,34±169,37              | 689,08±207,55 | 678,92±144,02 A |
| Atomizador rotativo                           | 305,89±119,95 B            | 300,65±119,95              | 232,75±169,64 | 277,55±80,28 B  |
| Promedio                                      | 571,89±103,77              | 387,49±103,77              | 460,92±134,03 |                 |
| Amplitud relativa                             |                            |                            |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 1,094±0,051                | 1,079±0,051                | 1,073±0,072   | 1,089±0,034     |
| Atomizador rotativo                           | 1,023±0,079                | 1,050±0,079                | 1,241±0,094   | 1,109±0,069     |
| Promedio                                      | 1,058±0,047                | 1,065±0,047                | 1,157±0,059   |                 |
| Densidad de gotas (N/cm <sup>2</sup> )        |                            |                            |               |                 |
| Punta hidráulica                              | 176,06±16,67               | 187,01±16,67               | 178,39±22,45  | 181,68±12,37    |
| Atomizador rotativo                           | 205,05±16,67               | 172,48±16,67               | 193,48±22,45  | 191,47±12,37    |
| Promedio                                      | 190,56±11,79               | 179,74±11,79               | 185,94±15,87  |                 |

<sup>1</sup> Promedios seguidos por letras minúsculas distintas en las líneas difieren significativamente por el test de Tukey-Kramer ( $P \leq 0,05$ ); promedios seguidos por letras mayúsculas distintas en las columnas difieren significativamente por el test F ( $P \leq 0,05$ ).

su vez, los depósitos fueron superiores en la parte externa de la copa frente a las partes media e interna (Tabla 3). Esos resultados demuestran que la parte externa del tercio inferior de la copa del árbol de naranja es la región que recibe mayor cantidad de plaguicidas durante el tratamiento. Por otro lado, las ramas y hojas del árbol se comportan como un “filtro de gotas”, reteniendo las gotas grandes en la parte externa y dejando pasar las gotas pequeñas al interior de la copa. En la literatura se encuentran diversos trabajos que presentan resultados similares (Morgan 1981; Matuo 1988; Derksen y Gray 1995; Hoffmann y Salyani 1996; Cunningham y Harden 1998; Ramos *et al.* 2004). Finalmente, a pesar de que ambos sistemas de aplicación no presentaron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros evaluados, el sistema de aplicación equipado con atomizadores rotativos de disco utilizó apenas un cuarto del volumen de caldo utilizado por el sistema de aplicación tradicional (puntas hidráulicas), lo cual representa beneficio económico para el productor agrícola. Es obvio que una reducción en el volumen de agua utilizado en las aplicaciones de plaguicidas reducirá el costo de operación y por ende habrá un beneficio económico para el productor. La cuantificación de ese beneficio económico es materia de otra investigación.

### Agradecimientos

A la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, Brasil por la concesión de la beca al primer autor y a los Drs. Gilberto Casadei de Baptista y Luiz Roberto Pimentel Trevizan por la orientación durante los análisis cromatográficos.

### Literatura Citada

- ANDERSSON, A.; PALSHEDE, H. 1998. Multi-residue method for the analysis of pesticides in fruit and vegetables using acetate extraction, GPC clean up and GC determination. En: National Food Administration. Pesticide Analytical in Sweden. Uppsala, p. 9-41.
- BALS, E.J. 1978. The reason for C.D.A. (controlled drop application). Proceedings British Crop Production. Weeds 2: 659-666.
- BUKOVAC, M.J. 1985. Spray application technology: shortcomings and opportunities with especial reference to tree fruits. In: Proceedings of the conference by agricultural research institute, Bethesda. p. 25-38.
- CARPENTER, T.G.; REICHARD, D.L.; KHAN, A.S. 1983. Spray deposition from a row-crop airblast sprayer. Transactions of the ASAE 26(2): 338-342.
- CUNNINGHAM, G.P.; HARDEN, J. 1998. Reducing spray volumes applied to mature citrus trees. Crop Protection 17(4): 289-292.
- DERKSEN, R.C.; BODE, L.E. 1986. Droplet size comparisons from rotary atomizers. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 29(5): 1204-1207.
- DERKSEN, R.C.; GRAY, L.E. 1995. Deposition and air speed patterns of air-carrier apple orchard sprayers. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 38(1): 5-11.
- FAROOQ, M.; SALYANI, M. 2002. Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 45(5): 1287-1293.
- HALL, F.R.; REICHARD, D.L.; KRUEGER, H.R. 1981. Effects of spray volume and nozzle pressure on orchard spray deposits. Journal of Economic Entomology 74(4): 461-465.
- HOFFMAN, W.C.; SALYANI, M. 1996. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 39(1): 17-22.
- JUSTE, F.; SANCHEZ, S.; IBAÑEZ, R.; VAL, L.; GARCIA, C. 1990. Measurement of spray deposition and efficiency of pesticide application in citrus orchard. Journal of Agricultural Engineering Research 46: 187-196.
- LEFEBVRE, A.H. 1989. Atomization and sprays. Ed. Taylor & Francis, USA.
- MATTHEWS, G.A. 2000. Pesticide application methods. 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell science, London.
- MATUO, T. 1988. Desenvolvimento de um pulverizador intermitente operado fotoeletricamente para tratamento de pomares de citros. Tesis de libre-docencia, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinaria, Universidade Estadual Paulista, "Julio de Mesquita filho", Jaboticabal, Brasil. 167 p.
- MONTEIRO, M.V. 2006. Compêndio de aviação agrícola. Sorocaba, Brasil. 298 p.
- MORGAN, N.G. 1981. Minimizing pesticide waste in orchard spraying. Outlook on Agriculture 10: 342-344.
- PALLADINI, L.A. 1990. Efeito de condições operacionais de um turboatomizador na cobertura de folhas de citros. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinaria, Universidade Estadual Paulista, "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, Brasil. 93 p.
- RAETANO, C. 1996. Condições operacionais de turboatomizadores na distribuição e deposição da pulverização em citros. Tesis de doctorado, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 93 p.
- RAMOS, H.; PIO, L.C. 2003. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: Zambolim L, Zuppi M, Da Conceição, Santiago T (Ed.). O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários, Viçosa, Brasil. 376 p.
- RAMOS, H.; KIYOSHI, Y.; CORRÊA, M.; BASSANEZI, R.B.; GARCIA, L.C. 2004. Efeito do volume de calda aplicado com turbopulverizador sobre a deposição e cobertura em folhas, ramos, e frutos de citros. In: Anales del simposio internacional de tecnologia de aplicación de agrotóxicos, Botucatu-Brasil: Fepaf, p. 144-147.
- RIGOLIN, A.T.; TERSI, F.E.A. 1999. Redução nos custos de aplicação dos defensivos em citros. Laranja 20(1): 93-106.
- SAS institute. 1999. Sas/stat user's guide 8.0. Cary: SAS Institute inc., 1 Cd-Rom.
- SALYANI, M. 1988. Droplet size effect on spray deposition efficiency of citrus leaves. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 31(6): 1680-1684.
- TRAVIS, J.W.; SKROCH, W.A.; SUTTON, T.B. 1987. Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. Plant Diseases 71(7): 613-615.
- VANEE, G.R.; LEDEBUHR, R.L.; POTTER, H.S. 1985. Air curtain sprayer increases spraying efficiency. Journal of Agriculture Engineering Research 66(7): 15-17.
- VÁSQUEZ-CASTRO, J.A. 2006. Resíduos de fenitrotion e esfenvalerato em grãos de milho e trigo, em alguns de seus produtos processados e sua ação residual sobre *Sitophilus oryzae* (L., 1763), *Sitophilus zeamais* Motsch., 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e *Rhyzopertha dominica* (Fabr., 1792) (Coleoptera: Bostrichidae). Tesis de doctorado, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 213 p.
- VÁSQUEZ-CASTRO, J.A. 2008. Tecnología de aplicación de pesticidas. Revista Agronomía 139: 47-52.
- VÁSQUEZ-CASTRO, J.A.; BAPTISTA, G.C.; GADANHA Jr., C.D.; TREVIZAN, L.R.P. 2007. Influence of emulsifiable concentrate formulation on the physical properties of the fluid, spray characteristics, and insecticide deposits on stored grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 3529-3534.
- VOLL, C.E.; VÁSQUEZ-CASTRO, J.A.; GADANHA Jr., C.D.; LINO, P.L. 2006. Distribución volumétrica de la boquilla de pulverización XR 11003. Revista Peruana de Entomología 45:95-99.