



**OPTIMIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE APLICACIÓN  
DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN LA LÍNEA DE  
EMPAQUE DE MANZANAS (*Malus domestica*, Borkh)**

**Ing. Agr. Adrián Colodner**

Tesis para optar al grado académico de

**MASTER OF SCIENTIA EN FRUTICULTURA  
DE CLIMA TEMPLADO-FRÍO**

INTA Alto Valle

Università degli Studi di Bologna

**General Roca, 2011**

**OPTIMIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE APLICACIÓN  
DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS EN LA LÍNEA DE  
EMPAQUE DE MANZANAS (*Malus domestica*, Borkh)**

**Ing. Agr. Adrián Colodner**

Tesis de maestría

**Director de tesis**

Dr. Jorge Carlos Magdalena

**Comisión evaluadora de tesis**

Dr. Bruno Marangoni

Dra. Ana Paula Candan

Dr. Alcides Di Prinzio

**Defensa formal académica**

16 de Noviembre de 2011

Università degli Studi di Bologna, Italia

A mis padres **Celia** y **Samuel**,  
quienes siempre están presentes en mi corazón.

A **Cecilia**, **Marcos** y **Matías**,  
por la fuerza, la alegría y el amor que me brindan.

## AGRADECIMIENTOS

- Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, por haberme brindado la posibilidad de realizar esta maestría y crecer profesionalmente.
- A los profesores de la maestría, especialmente los italianos, por el esfuerzo que han realizado para compartir sus conocimientos y experiencias con nosotros.
- A Héctor Castro, por su importante labor y compromiso, para la realización de la maestría.
- Al director de esta tesis, Carlos Magdalena, por su apoyo incondicional y por su amistad.
- A la Fundación Argeninta, por la financiación del módulo de lavado que permitió la realización de la presente tesis.
- A Gustavo Casal, de la firma Gustavo A Casal y Cia S.R.L., y a Ricardo Ciporín, de la firma Toberas y Sprinklers S.A., por aportar las boquillas utilizadas en los ensayos.
- A Alcides Di Prinzio, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue, por sus oportunas sugerencias y por facilitarme el banco de prueba de boquillas.
- A Mariela Curetti, por su permanente disposición para colaborar con la revisión de esta tesis y el análisis estadístico de los resultados.
- A Ana Paula Candan, por el tiempo dedicado para la revisión de esta tesis y sus valiosos aportes.
- A Fernanda Menni, por su apoyo en el diseño y análisis estadístico de los datos.
- A Giselle, Sonia y Eduardo, por su invaluable colaboración en la realización de los ensayos.
- A Raquel Luna, por su ayuda y preocupación para conseguir bibliografía relacionada con la temática.

## RESUMEN

Las enfermedades causadas por hongos patógenos son la principal causa de pérdidas durante la poscosecha de frutas. El uso de fungicidas sintéticos es actualmente el método más utilizado y efectivo para su control. En un módulo de lavado experimental, se realizaron una serie de ensayos para estudiar el efecto de las variables que intervienen en el proceso de aplicación de fitosanitarios en la línea de empaque, sobre el nivel de depósito y la eficacia de control de *Penicillium expansum* en manzanas cv. Red Delicious. Se evaluó el efecto de a) 3 boquillas de pulverización: abanico plano; cono hueco y abanico plano con inducción de aire; b) dos presiones de trabajo: una alta y otra baja, ambas dentro del rango de presiones recomendadas y c) dos volúmenes de tratamiento, utilizando 1 o 3 barras de boquillas, así como la interacción entre estas variables. Asimismo, se evaluó un sistema de tratamiento de alto volumen realizado mediante una ducha en la línea. Los resultados demostraron que la combinación entre el tipo de boquilla, la presión de trabajo y el volumen de tratamiento no afectaron el nivel de depósito ni la eficacia de control de podredumbres. En cambio, el sistema de tratamiento mediante una ducha en la línea resultaría más efectivo para controlar las enfermedades que el sistema con boquillas de pulverización debido a un mayor depósito de fungicida o al mayor volumen de líquido aplicado.

### Palabras claves

Poscosecha - Aplicación de fungicida - Control de enfermedades – Boquillas – Volumen – Presión - Depósitos

## **ABSTRACT**

The diseases caused by fungal pathogens are the main cause of fruit losses during postharvest. The use of synthetic fungicides is currently the most effective and most widely used method for their control. Using an experimental washing module, a series of trials were conducted in order to study the effect of the variables that take part in the application process of phytosanitary products in the packing line on the level of deposits and the effectiveness of *Penicillium expansum* control in Red Delicious apples. The effect of the three variables was evaluated :a) 3 spraying nozzles: flat fan, hollow cone and air induction flat fan; b) two work pressures: high and low, both within the recommended pressure range and c) two treatment volumes, using 1 or 3 nozzle bars, as well as the interaction among them. In addition, a high volume treatment system was evaluated by means of an inline shower. The results showed that the combination between the type of nozzle, the work pressure used and the treatment volume did not modify the deposit level nor did it affect the effectiveness of rot control, whereas the inline shower system would prove to be more effective than the spraying nozzle system for the control of diseases, due to the higher amount of deposits or to the larger volume applied.

### **Key words**

Postharvest – Fungicide application – Disease control – Nozzles – Volume – Pressure - Deposits

## RIASSUNTO

Le malattie provocate dai funghi patogeni sono la causa principale delle perdite durante la post raccolta dei frutti. Oggigiorno, l'uso di fungicidi sintetici è il metodo più adoperato ed efficace per il loro controllo. In un modulo di lavaggio sperimentale, si sono relizzate una serie di prove su mele Red Delicious per studiare l'effetto delle variabili che intervengono nel processo di applicazione di fitosanitari nella linea di imballaggio, sul livello di deposito e l'efficacia nel controllo di *Penicillium expansum*. Si è valutato l'effetto e l'interazione tra: a) 3 ugelli di spruzzo: a ventaglio piatto; a cono cavo e a ventaglio piatto con induzione d'aria; b) 2 pressioni di lavoro: alta e bassa, entro il rango delle pressioni raccomandate; e c) due volumi di trattamento, con l'utilizzo di 1 o di 3 file di ugelli. Inoltre, si è valutato il sistema di trattamento di alto volume realizzato attraverso una doccia nella linea. I risultati dimostrarono che la combinazione tra il tipo di ugello, la pressione di lavoro e il volume di trattamento non aumentarono né il livello di deposito né l'efficacia nel controllo del marciume. Invece, il sistema di trattamento attraverso una doccia nella linea risulterebbe più efficace che il sistema con ugelli di spruzzo per controllare le malattie, dovuto alla maggior quantità di deposito o al maggior volume di liquido applicato.

### Parole chiavi

Post raccolta – Applicazione di fungicida – Controllo di malattie – Ugelli – Volume – Pressione - Depositi

# INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Importancia de la problemática.....	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Hipótesis.....	4
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1. Proceso de empaque de frutas de pepita.....	5
2.2. Pérdidas por enfermedades en poscosecha.....	9
2.3. Principales enfermedades de poscosecha en fruta de pepita.....	11
2.4. Control de enfermedades de poscosecha.....	13
2.4.1. Condiciones ambientales.....	14
2.4.2. Resistencia del hospedero.....	15
2.4.3. Inhibición de crecimiento del patógeno.....	17
2.4.3.1. Sanitización.....	17
2.4.3.2. Control biológico.....	19
2.4.3.3. Control químico.....	20
2.5. Aplicación de fitosanitarios en poscosecha.....	22
2.5.1. Ducha de bines o “drench”.....	23
2.5.2. Ducha en la línea.....	24
2.5.3. Pulverización con boquillas.....	25
2.5.4. Dosis de los tratamientos.....	29
2.6. Evaluación de la aplicación de fitosanitarios.....	32
2.6.1. Ensayos biológicos.....	32
2.6.2. Cantidad de depósito.....	33
3. MATERIALES y METODOS.....	35
3.1. Material vegetal.....	35
3.2. Ensayo 1: Capacidad de retención de agua sobre la superficie de los frutos..	35
3.3. Ensayo 2: Cantidad de depósito en frutos y efectividad de control de podredumbres.....	36
3.3.1. Módulo de lavado experimental.....	36
3.3.2. Tratamientos.....	39
3.3.2.1. Boquillas utilizadas.....	40
3.3.2.2. Presión de trabajo.....	42
3.3.2.3. Volumen de los tratamientos.....	42

3.3.3. Determinaciones realizadas.....	43
3.3.3.1. Evaluación de la cantidad de depósito en frutos.....	43
3.3.3.2. Evaluación de la efectividad de control de podredumbres.....	46
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	48
4.1. Ensayo 1: Capacidad de retención de agua sobre la superficie de los frutos...	48
4.2. Ensayo 2: Cantidad de depósito en frutos y efectividad de control de podredumbres.....	53
4.2.1. Cálculo de los volúmenes aplicados.....	53
4.2.2. Cantidad de depósito en frutos.....	54
4.2.3. Efectividad de control de podredumbres.....	59
5. CONCLUSIONES.....	66
5.1. Respuesta a las hipótesis planteadas.....	66
5.2. Otros conocimientos generados.....	66
5.3. Futuras investigaciones.....	67
6. BIBLIOGRAFIA.....	68
7. ANEXO.....	79

## LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

%: por ciento	L: Litro
°C: grados centígrados	lb: libra
μL: microlitro	m: metro
μm: micrómetro	min: minuto
AP: Abanico Plano	mL: mililitro
C: Concentración	mm: milímetro
CH: Cono Hueco	n°: número
cm: centímetro	ng: nanogramo
CO <sub>2</sub> : dióxido de carbono	nm: nanómetro
CRm: Capacidad de Retención máxima	NS: Natrisol Sódico
cv.: cultivar	O <sub>2</sub> : oxígeno
CV: Coeficiente de Variación	P: Peso del fruto
d: diámetro	p: presión
D: Dosis	pH: $-\log[H^+]$
DE: Desvío Estándar	ppm: partes por millón
DL: Ducha en la línea	Q: Caudal
D <sub>r</sub> : Depósito real	rpm: revoluciones por minuto
D <sub>t</sub> : Depósito teórico	s: segundo
E: Eficiencia de aplicación	SC: Solución Concentrada
g: gramo	spp.: especies
ha: hectárea	sp.: especie
hL: hectolitro	T: Tasa
IA: Inducción de Aire	TRV: Volumen de la fila de árboles
kg: kilogramo	UV: Ultra Violeta
kW: kilovatio	UV-c: Ultra Violeta tipo c

# 1. INTRODUCCION

## 1.1. Importancia de la problemática

La Argentina es, desde sus orígenes, un país productor de alimentos y las divisas generadas a través de las exportaciones agroindustriales son fundamentales para su economía. El sector agroalimentario es además una actividad que moviliza a muchos otros sectores como el industrial y el de servicios.

Como puede observarse en la Tabla 1.1., Argentina ocupa el sexto lugar como exportador de agroalimentos a nivel internacional, con un valor de más de 12 mil millones de dólares.

**Tabla 1.1.** Principales países exportadores de productos agroalimentarios

País	Miles de millones de U\$S
Estados Unidos	60,18
Brasil	18,18
Canadá	17,72
Australia	16,16
China	14,00
Argentina	12,54

Fuente: FAO, 2007

En lo que respecta específicamente a las frutas frescas, Argentina exporta 1,38 millones de toneladas, lo que representa un ingreso al país de 758 millones de dólares (Zubeldía, 2007). Las especies que tienen mayor incidencia en el volumen exportado son la pera (*Pyrus communis* L.), el limón (*Citrus limon* L.), la manzana (*Malus domestica*, Borkh) y la naranja (*Citrus sinensis* L.). Estas cuatro especies representan el 85% del total exportado en el período 2000-07, de los cuales el 56% corresponde a manzana y pera (Villarreal, 2008).

Las peras constituyen la principal fruta exportada por Argentina, siendo el principal país productor del Hemisferio Sur, con 800.000 toneladas y el principal exportador mundial, con 450.000 toneladas. Respecto a las manzanas, Argentina es el tercer productor del hemisferio sur, con 1 millón de toneladas, precedido por Chile y Brasil. Las

manzanas constituyen la tercera fruta exportada por nuestro país, exportándose 240.000 toneladas. Para ambas especies, el principal destino de exportación es la Unión Europea (Villarreal, 2008). En los valles irrigados de Río Negro y Neuquén se obtiene el 80% de la producción argentina de manzanas y peras (Zubeldía, 2007). Toda la fruta producida y cosechada en la región para consumo en fresco es acondicionada y almacenada en más de 300 establecimientos de empaque (Villarreal, 2008).

Cuando la fruta llega al empaque luego de la cosecha, puede ser procesada directamente “en caliente”, o almacenada en cajones bin en cámaras de frío para su posterior procesamiento. Ya sea embalada o en bines, el almacenamiento frigorífico puede prolongarse desde unos pocos días hasta un año. Si bien el almacenamiento permite mantener la oferta de fruta durante un período prolongado de tiempo, la expone también a sufrir alteraciones que deterioran su calidad y disminuyen el beneficio económico.

En tal sentido, resulta importante señalar que pequeñas pérdidas de calidad durante el almacenamiento pueden representar pérdidas económicas muy importantes, ya que en esta etapa se acumulan los costos de producción, cosecha, transporte, embalado y almacenamiento. Si se considera además la pérdida de confianza comercial que se podría generar si la fruta se deteriora en el puesto de venta mayorista o minorista, las pérdidas de poscosecha tienen un impacto económico aún mayor.

Las enfermedades causadas por hongos patógenos son la principal causa de pérdidas durante la poscosecha. Las mismas constituyen un factor crítico que actúa como limitante a la expansión del negocio frutícola.

Actualmente, el uso de fungicidas sintéticos es el método más utilizado y efectivo para el control de enfermedades. No obstante, los resultados obtenidos en nuestra región utilizando fungicidas para el control de enfermedades de poscosecha han sido históricamente muy heterogéneos (informantes calificados, comunicación personal).

El control químico de las enfermedades depende de tres factores estrechamente vinculados: 1) Estado o momento biológico del patógeno; 2) Producto utilizado para el control y 3) Tecnología de aplicación empleada. Si existen desajustes en alguno de ellos, el control será deficiente (Magdalena *et al.*, 2010).

Muchos trabajos de investigación analizaron los aspectos relacionados con alguno de los dos primeros factores mencionados precedentemente. Sin embargo, muy pocos trabajos han evaluado la tecnología de aplicación de los productos fitosanitarios en las líneas de selección y empaque de frutas de pepita.

Conocer el comportamiento de las variables que intervienen en el proceso de aplicación, así como de sus combinaciones, podría permitir un control más efectivo de las enfermedades de poscosecha. El tipo y número de boquillas utilizadas, así como la presión de trabajo, determinan diferentes volúmenes de tratamiento y definen distintos tipos de distribución y tamaños de gotas. Estas variables podrían modificar la capacidad de cubrimiento del tratamiento, o influir sobre el depósito de fitosanitarios sobre los frutos. En general, estos aspectos no son valorados en las condiciones de trabajo de los empaques de la región. La elección del número y tipo de boquillas utilizadas, así como de las presiones de trabajo, responden a criterios de aplicación propios o recomendaciones basadas en observaciones empíricas, no validadas con trabajos experimentales. Esto implica a su vez que las experiencias en esta temática no sean repetibles y en muchos casos los resultados sean contradictorios.

Para la utilización más eficiente y racional de los productos químicos en la línea de empaque resulta fundamental conocer el comportamiento y la interacción entre las variables intervinientes en el proceso de aplicación de los mismos. Mejorar la tecnología de aplicación de fungicidas en poscosecha permitirá disminuir las pérdidas por podredumbres y mejorar la calidad de nuestra fruta, para favorecer la competitividad de la fruticultura regional.

## **1.2. OBJETIVOS**

### 1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto y establecer una adecuada combinación de las variables intervinientes en el proceso de aplicación de fitosanitarios en la línea de empaque de fruta de pepita, para lograr un control efectivo de las enfermedades de poscosecha, minimizando los efectos no deseados sobre el medio ambiente y la salud humana.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de diferentes tipos de boquillas de pulverización.
- Estudiar el efecto de distintas presiones de trabajo.
- Evaluar diferentes volúmenes de tratamiento.
- Cuantificar el depósito de fitosanitarios sobre los frutos.
- Comparar el sistema de aplicación con boquillas de pulverización versus un sistema de ducha en la línea.

## **1.3. HIPOTESIS**

1.3.1. Una adecuada combinación entre tipo de boquilla, presión de trabajo y volumen de tratamiento permiten controlar el nivel de depósito y aumentar la eficacia de control de podredumbres de poscosecha en frutas de pepita.

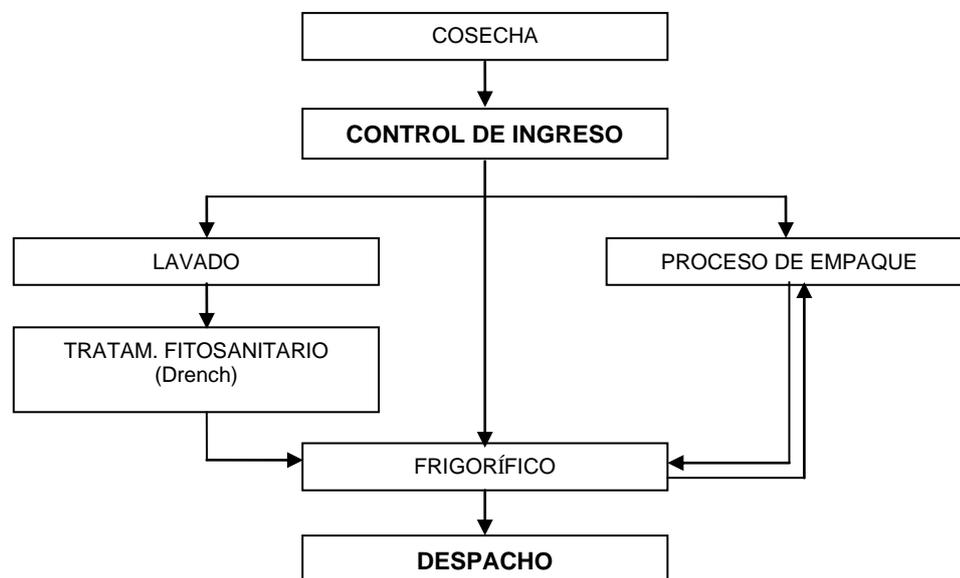
1.3.2. El sistema de tratamiento mediante ducha en la línea resulta más efectivo para controlar las enfermedades de poscosecha que el sistema con boquillas de pulverización.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Proceso de empaque de frutas de pepita

Las manzanas y las peras son productos agrícolas estacionales, perecederos y heterogéneos. El período de cosecha en la Norpatagonia se extiende históricamente desde la segunda semana de enero, con la recolección de peras cv. Williams, hasta las últimas semanas de abril, cuando termina la temporada con la cosecha de la manzana cv. Cripps Pink (Merlo, 2001).

Luego de la cosecha, la fruta es transportada en cajones bin hasta el establecimiento de empaque para su acondicionamiento. Cuando la fruta llega al empaque (Figura 2.1.) puede ser procesada inmediatamente, o almacenada en cámaras frigoríficas para su procesamiento posterior. Dependiendo de la estrategia técnica y comercial de cada empresa, la fruta puede ser tratada con productos fitosanitarios antes de su conservación. Ya sea embalada o en bines, el almacenamiento puede prolongarse desde unos pocos días hasta un año.



**Figura 2.1.** Flujo general de la fruta cuando llega al establecimiento de empaque luego de la cosecha (Fuente: Salazar *et al.*, 2009)

En el proceso de empaque de la fruta de pepita (Figura 2.2.) pueden identificarse las siguientes etapas (adaptado de Striebeck, 1998):

### *Vaciado*

El proceso comienza con el vaciado de los cajones bin. Debido a que se trata de contenedores grandes (entre 350 y 450 kilos), se requiere del uso de equipos especiales. En la actualidad, el sistema más utilizado es la hidroiinmersión, el cual minimiza los golpes y permite trabajar con volúmenes de fruta elevados, aumentando el rendimiento global del resto del proceso. En este sistema, el cajón bin se sumerge en una batea con agua o “hidroiinmensor” y la fruta sale por flotación o por volcado (eco-vaciador).

### *Preclasificación*

La “noria de elevación” extrae la fruta del hidroiinmensor y la transporta hasta la “mesa de preclasificación”. En cuanto a su construcción, la noria y la mesa de preclasificación consisten en rodillos de plástico unidos por medio de cadenas formando una mesa transportadora. En la mesa de preclasificación se realiza una primera selección, para descartar frutos con defectos de calidad groseros. La realización o no de esta tarea depende de las condiciones de la fruta procesada, resultando más importante en lotes de peor calidad.

### *Módulo de lavado*

En el módulo de lavado, la fruta se lava con detergente, se enjuaga con agua y se trata con productos fitosanitarios. En el caso particular de las manzanas, en este sector se realiza también el presecado y la aplicación de cera artificial (encerado). En cuanto a su construcción, el módulo de lavado consiste en cepillos que giran sobre su propio eje y sobre los cuales la fruta avanza rotando por efecto del empuje que provoca la fruta que viene ingresando por detrás. El largo total del módulo de lavado es de aproximadamente 3 metros.

El lavado con detergente se realiza sobre los primeros cepillos del módulo de lavado y tiene como finalidad la remoción de la suciedad y de la cera natural en el caso de manzanas, para facilitar el encerado. Luego, para eliminar los restos de detergente, o simplemente proceder al lavado de la fruta, se realiza un enjuague con agua limpia. Este tramo del módulo de lavado que incluye el lavado con detergente y posterior enjuague, consta de aproximadamente 18 cepillos fabricados con monofilamento de nailon, o de

poli(cloruro de vinilo) o PVC. La velocidad de rotación de los mismos no debe exceder las 95 rpm para manzanas y las 75 rpm para peras.

En el siguiente tramo del módulo de lavado, se realiza la aplicación de productos fitosanitarios destinados al control de enfermedades patológicas o fisiológicas, tales como las podredumbres por hongos o la escaldadura superficial, respectivamente. En la actualidad, el sistema más utilizado es la aplicación mediante pulverización sin recuperación del caldo de tratamiento, pero también pueden utilizarse otros sistemas mediante bandejas rebatibles, vertederos, etc., de fácil limpieza y que contemplan la recirculación del líquido. En cuanto a su construcción, este tramo puede presentar gran versatilidad de modelos, con mayor o menor tiempo de permanencia de la fruta bajo el tratamiento, o con rodillos en lugar de cepillos. Respecto de esto último, los cepillos podrían mejorar el contacto entre el fruto y el producto, pero pueden incrementar los daños por “rolado” sobre la epidermis del fruto, fundamentalmente en peras.

El encerado se realiza para resaltar el brillo del fruto mejorando su aspecto cosmético, para reemplazar la cera natural eliminada en el lavado y para reducir la deshidratación de la fruta. Con el objeto de lograr un buen encerado, luego del lavado con detergente se enjuaga la fruta con agua limpia y caliente aproximadamente a 50°C. Posteriormente, un presecado con aire forzado mediante una serie de electro ventiladores axiales permite la formación de una película de cera bien nivelada. El sistema de aplicación esta construido sobre un módulo de 10-12 cepillos y consta generalmente de rociadores móviles, a manera de tolva viajera, en sentido transversal al avance del flujo de fruta, que aplican el producto directamente sobre ella en forma de micro aspersion.

### *Secado*

En este sector se aplica aire forzado con el objetivo de acelerar el secado de la fruta, para que ingrese a las siguientes secciones en óptimas condiciones para su manipuleo y empaque. Cuando la fruta está encerada, el objetivo es apresurar la evaporación del agua contenida en la película de cera aplicada y permitir su rápido endurecimiento. El proceso de secado puede llevarse a cabo utilizando aire a temperatura ambiente o caliente (aproximadamente 50°C), pero cuando se encera la fruta el aire siempre debe ser caliente.

### *Clasificación*

El objetivo de esta operación consiste en seleccionar la fruta para su comercialización en diferentes grados de calidad, de acuerdo a la reglamentación vigente (Decreto Ley 9244/63). Esta selección se basa en aspectos de calidad de los frutos tales como el color, la forma, la presencia o ausencia de manchas, heridas, lesiones, etc. Tradicionalmente la clasificación se realiza en forma manual, pero en la actualidad existen selectores ópticos de color y sistemas de detección no destructivos que permiten diferenciar la calidad de la fruta de manera automatizada.

### *Tamañado*

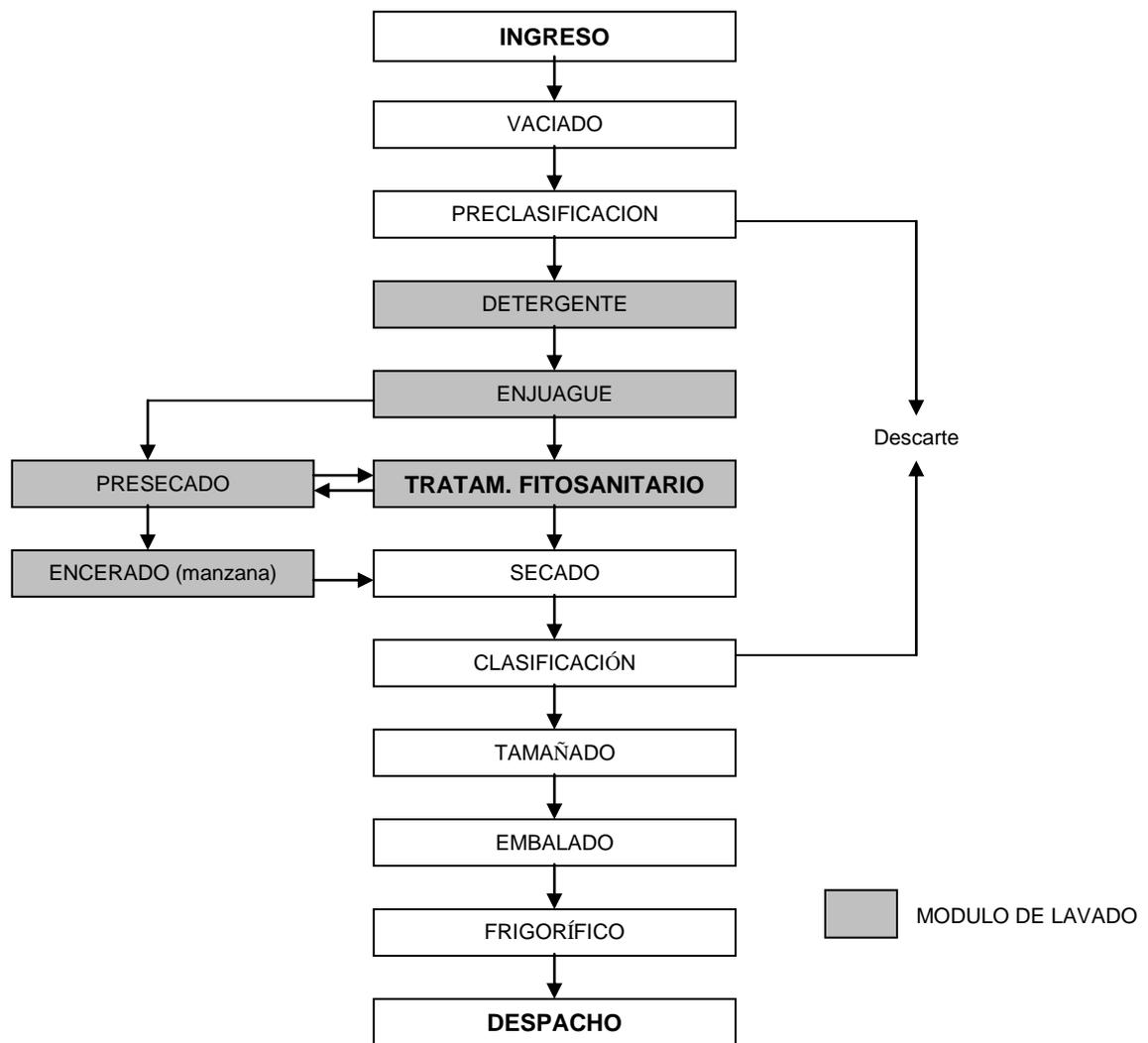
La fruta seleccionada por calidad se separa en esta etapa por su tamaño, mediante la determinación del volumen o del peso de la fruta, siendo esta última la forma más utilizada. Los sistemas de pesaje empleados en el proceso de empaque son dos: mecánico y electrónico, utilizándose para ello una balanza mecánica o electrónica respectivamente. El pesaje electrónico resulta más preciso y operativamente más flexible que el sistema mecánico.

### *Embalado*

Finalmente, la fruta seleccionada según su grado de calidad y tamaño, es embalada en los diferentes tipos de envases comerciales, de acuerdo a la reglamentación vigente (Decreto Ley 9244/63).

### *Frigorífico*

La fruta embalada es enfriada y almacenada normalmente entre -1 y 0°C (Sommer, 1985b) en cámaras frigoríficas hasta su despacho final.



**Figura 2.2.** Flujo general del proceso de empaque de fruta de pepita (Fuente: Salazar *et al.*, 2009)

## 2.2. Pérdidas por enfermedades en poscosecha

La cosecha de la fruta de pepita se realiza durante un período de tiempo relativamente corto, pero el almacenamiento permite mantener su oferta durante todo el año. Durante este período los frutos están expuestos a sufrir alteraciones que deterioran su calidad y disminuyen el beneficio económico (Sommer, 1985b).

El proceso de maduración de los frutos implica modificaciones morfológicas, bioquímicas y fisiológicas en los mismos, que tienen influencia sobre el desarrollo de las enfermedades de origen biótico (Sommer, 1985a; Bertolini, 2008) (Tabla 2.1.).

**Tabla 2.1.** Principales modificaciones durante la maduración de los frutos, que tienen influencia sobre el desarrollo de las enfermedades de origen biótico.

<b>Modificaciones</b>	<b>Características</b>
Morfológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento del volumen y del número de células.</li> <li>- Producción de un tejido de separación entre la planta y el fruto.</li> <li>- Transformación de los estomas en lenticelas.</li> <li>- Ablandamiento del tejido.</li> </ul>
Bioquímicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformación de las protopectinas en pectinas y solubilización de las paredes celulares (células menos adheridas).</li> <li>- Aumento del espesor de la cutícula.</li> <li>- Transformación del almidón en azúcares simples.</li> <li>- Disminución de los ácidos y aumento del pH.</li> <li>- Disminución de los fenoles.</li> <li>- Disminución de la capacidad de producir fitoalexinas.</li> <li>- Disminución de algunos cationes (por ejemplo calcio) durante la fase final de engrosamiento del fruto (disminución de la concentración relativa).</li> <li>- Emisión de exudados.</li> <li>- Aumento de algunos pigmentos (carotenoides, antocianinas) y disminución de la clorofila.</li> </ul>
Fisiológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento del etileno y de la respiración.</li> <li>- Aumento de compuestos aromáticos.</li> </ul>

Fuente: Bertolini, 2008.

Después de la cosecha los frutos frescos son susceptibles de ser atacados por patógenos saprofitos o parásitos, debido a su alto contenido en agua y nutrientes y porque han perdido la mayor parte de la resistencia intrínseca que los protege durante su desarrollo en el árbol. Su contenido en ácidos orgánicos es suficiente para producir pH inferiores a 4,6. Estos valores de pH hacen que las formas microbianas predominantes en el fruto sean de origen fúngico, principalmente mohos (Viñas, 1990).

Las pérdidas por enfermedades de poscosecha representan una de las reducciones más importantes de la producción (Harvey, 1978; Kader, 1985; Kelman, 1989). Aun pequeñas pérdidas pueden resultar muy importantes si se consideran los costos acumulados de producción, cosecha, transporte, embalado y almacenamiento (Janisiewicz, 1996). Si además se considera la pérdida de confianza comercial que ocurre cuando la fruta desarrolla podredumbres en el puesto de venta mayorista o minorista, es evidente que las pérdidas de poscosecha tienen un alto impacto económico (Eckert y Sommer, 1967).

Dependiendo del producto, las pérdidas por enfermedades de poscosecha en Estados Unidos varían entre el 1 y el 20% (Janisiewicz y Korsten, 2002). Se ha estimado que las pérdidas de frutas sin tratamiento fitosanitario contra podredumbres pueden llegar al 90% durante el manipuleo de poscosecha y en el mercado (Smoot *et al.*, 1971). En nuestra zona, datos obtenidos durante los años 1990 y 1991 indican pérdidas de entre el 8 y 14% solamente atribuidas a *Penicillium expansum* en manzanas Red Delicious conservadas en atmósfera controlada (Dobra y Rossini, 1993). En casos extremos, las afecciones producidas por hongos pueden llegar a afectar hasta un 25% de la producción (Di Masi y Colodner, 2006).

Las podredumbres de poscosecha se desarrollan principalmente por daños en los frutos que se producen fundamentalmente durante o después de la cosecha (Dobra y Rossini, 1993; Förster *et al.*, 2007). Las heridas son la vía de ingreso más importante de los principales hongos y por lo tanto las responsables de los principales problemas en poscosecha. Las mismas dejan los tejidos frescos totalmente desprotegidos facilitando la entrada de las esporas. En estas heridas, el patógeno comienza a desarrollarse según el nivel de inóculo, la susceptibilidad de la fruta y las condiciones ambientales (Sommer, 1985b; Dobra y Rossini, 1993; Nunes, 2001).

### **2.3. Principales enfermedades de poscosecha en fruta de pepita**

Los hongos patógenos responsables de las enfermedades de poscosecha pueden clasificarse en dos grupos según su forma de penetrar al fruto: un grupo puede ingresar solamente a través de las heridas o de las aberturas naturales del fruto, tales como las lenticelas o los lóculos carpelares; otro grupo, tiene la capacidad de penetrar directamente la cutícula y la epidermis del fruto, mediante diferentes mecanismos bioquímicos y físicos (Sommer, 1985b; Dobra y Rossini, 1993; Jijakli y Lepoivre, 2004). Como ejemplos de este segundo grupo se podrían citar a *Rizhopus* spp., o *Colletotrichum* spp. Sin embargo, los patógenos pertenecientes a este segundo grupo también pueden ingresar a través de las heridas (Sommer, 1985b; Bondoux, 1992).

Los factores más importantes que determinan el inicio y la velocidad de desarrollo de una enfermedad en poscosecha son la humedad, la temperatura y las condiciones de resistencia propias de la fruta. Cuando las esporas de un hongo llegan a la superficie de un fruto y encuentran condiciones óptimas, pueden germinar y desarrollar la infección en un tiempo relativamente corto, desde unas pocas horas hasta algunos días. Cuando las condiciones para el crecimiento no son las adecuadas, muchos patógenos tienen la capacidad de detener la infección durante un período de tiempo más o menos

prolongado, reactivándola cuando las condiciones se modifican y le resultan favorables. Este último tipo de infección se denomina “latente” o “quiescente”. (Sommer, 1985b; Dobra y Rossini, 1993; Jijakli y Lepoivre, 2004; Tian, 2007).

Las especies causantes de podredumbres en poscosecha de frutas de pepita tienen poder patógeno débil, están bien adaptadas a las bajas temperaturas y aprovechan las heridas producidas durante la cadena de operaciones que sufre el fruto para iniciar sus infecciones (Viñas, 1990; Dobra y Rossini, 1993).

En nuestro país se han registrado diferentes enfermedades de poscosecha (Tabla 2.2.). Sin embargo, la podredumbre producida por *Penicillium expansum* es la enfermedad de poscosecha más importante en manzanas y peras en nuestro país y en todo el mundo (Eckert y Ogawa, 1988; Dobra y Rossini, 1993; Xu y Berrie, 2005).

**Tabla 2.2.** Enfermedades de poscosecha más importantes en Argentina para manzanas y peras.

<b>Nombre de la enfermedad</b>	<b>Agente causal</b>
Moho azul	<i>Penicillium expansum</i> Link
Moho gris; Pudrición calicinal	<i>Botrytis cinerea</i> Pers.:Fr.
Podredumbre por Alternaria	<i>Alternaria</i> spp.
Corazón mohoso	<i>Alternaria</i> spp.; <i>Penicillium</i> spp.; <i>Fusarium</i> spp.
Podredumbre blanda	<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenberg: Fries) Vuillemin; <i>Rhizopus oryzae</i> Went & Prins. Geerl.; <i>Mucor</i> spp.
Podredumbre amarga	<i>Colletotrichum</i> spp.
Podredumbre negra	<i>Diplodia seriata</i> De Not. (= <i>Botryosphaeria obtusa</i> )
Sarna del manzano	<i>Venturia inaequalis</i>
Ojo de pescado	<i>Athelia epiphylla</i> Pers.
Podredumbre por Cladosporium	<i>Cladosporium</i> spp.

Fuente: Dobra y Rossini, 1993; Mondino *et al.*, 2009; Aragón *et al.*, 2010.

Al menos 11 especies de *Penicillium* han sido aisladas de manzanas infectadas naturalmente por este hongo (Rosenberger, 1990), pero *Penicillium expansum* es la especie más importante. Además de causar pérdidas económicas, *P. expansum* es también importante para la salud pública, ya que produce la patulina (Weidenböner, 2001), una micotoxina crítica para la comercialización de jugo de manzanas (Delage *et al.*, 2003).

En el campo, *Penicillium* spp. sobrevive en los restos orgánicos del cultivo, en el suelo y quizás en la corteza muerta de los árboles. Los conidios están presentes también en el aire y sobre la superficie de la fruta (Rosenberger, 1990; Dobra y Rossini, 1993). No obstante, se observa muy poca presencia de esta enfermedad en el campo (Jijakli y Lepoivre, 2004; Mondino *et al.*, 2009).

En las instalaciones del empaque, el agua utilizada en el drench, en el hidromersor y en los depósitos, es fuente común de esporas de *Penicillium* spp. para la infección de frutas durante el manipuleo y proceso de embalado. Las esporas de *P. expansum* también están comúnmente presentes en la línea de empaque, en el aire y sobre las paredes de las cámaras de almacenamiento (Rosenberger, 1990; Dobra y Rossini, 1993).

*P. expansum* es esencialmente un patógeno de heridas. Por lo tanto, las heridas sobre la piel, como pinchaduras o cortes que se producen durante la cosecha o durante la manipulación en poscosecha son la principal vía de ingreso del hongo. También puede causar podredumbre a través de infección por las lenticelas, principalmente en fruta demasiado madura, o cuando las lenticelas han sido dañadas (Rosenberger, 1990; Snowdon, 1993).

El síntoma de esta enfermedad es una podredumbre blanda, acuosa y en general de color marrón claro, en la cual el tejido afectado se separa fácilmente del sano. En general comienza a desarrollarse a partir de una herida sobre la cual se manifiesta la presencia del hongo, primero el micelio de color blanco, recubriéndose luego de la esporulación azul característica que le da el nombre a la enfermedad (Snowdon, 1993; Mondino *et al.*, 2009).

#### **2.4. Control de enfermedades de poscosecha**

La capacidad de un microorganismo para generar una enfermedad de poscosecha depende de diversos factores relativos al patógeno, al hospedero y al ambiente. Es necesaria una combinación de patógeno infeccioso, hospedero susceptible y ambiente favorable para que se presente una enfermedad y se desarrolle en forma óptima. Las

estrategias para el control de enfermedades de poscosecha incluyen: 1) Generar condiciones ambientales que resulten favorables para el hospedero y desfavorables para el crecimiento del patógeno; 2) Promover la resistencia del hospedero; 3) Inhibir de manera efectiva el crecimiento del patógeno (Sommer, 1982; Tian, 2007).

#### 2.4.1. Condiciones ambientales

La posibilidad de modificar las condiciones ambientales durante la poscosecha de los productos hortofrutícolas para controlar las enfermedades, resulta una diferencia neta respecto del control durante la etapa de producción a campo.

La baja temperatura (conservación refrigerada) es el medio de defensa más utilizado y constituye la base de toda la tecnología de conservación y protección de los productos hortofrutícolas (Tian, 2007; Bertolini, 2008). La temperatura de almacenamiento es tan importante para el control de enfermedades de poscosecha, que los otros métodos de control pueden considerarse como suplementos a la refrigeración (Tian, 2007). Las bajas temperaturas no solamente retardan el crecimiento de los hongos y el desarrollo de las podredumbres, sino que retrasan la madurez y senescencia y por lo tanto, mantienen la resistencia del fruto (Tian y Bertolini, 1999). La acción de la baja temperatura es más eficaz cuanto más breve es el tiempo que transcurre entre la cosecha y la refrigeración (Bertolini, 2008). Cuando la fruta llega al empaque se debe preenfriar lo más rápidamente posible para eliminar el calor de campo. Esto tiene un efecto positivo sobre la calidad de la fruta y la reducción de enfermedades durante el almacenamiento (Kupferman, 1986).

La humedad relativa es un factor ambiental muy importante durante el almacenamiento de los productos vegetales. Las frutas frescas necesitan alta humedad relativa (aproximadamente 95%) durante la conservación para minimizar las pérdidas por deshidratación y prevenir el marchitamiento y la pérdida de turgencia de los tejidos (Mitchell, 1985; Bertolini, 2008). Sin embargo, una alta humedad puede promover el desarrollo de enfermedades, si las temperaturas son favorables (Parker y Sutton, 1993; Creemers, 1998).

El oxígeno es requerido para la respiración normal tanto de la fruta como del patógeno. Los efectos de atmósferas con bajo O<sub>2</sub> (2 a 3 %) y alto CO<sub>2</sub> (2 a 5 %) sobre las enfermedades de poscosecha pueden ser directos o indirectos. El mantenimiento de la fruta en buenas condiciones fisiológicas puede resultar en fruta con considerable resistencia a las enfermedades (Kupferman, 2001; Jijakli y Lepoivre, 2004; Tian, 2007). Asimismo, Bertolini (2008) señaló que concentraciones de O<sub>2</sub> comprendidas entre el 1,5 y

el 3%, utilizadas comúnmente para la conservación de muchas frutas, no tienen una acción efectiva directa sobre los patógenos, pero previenen las podredumbres indirectamente retardando la madurez y senescencia.

#### 2.4.2. Resistencia del hospedero

Todos los organismos vivos normalmente tienen mecanismos muy eficaces de resistencia a las enfermedades (Sommer, 1985a; Van Loon, 1997). Los frutos inmaduros tienen mayor resistencia debido a compuestos fungi-tóxicos pertenecientes al grupo químico de los polifenoles o taninos (Biale, 1964). En general, el contenido total de estos compuestos decrece a medida que los frutos maduran, lo que coincide con una disminución de la resistencia a las enfermedades (Sommer, 1985a; Pérez *et al.*, 1999). Algunos compuestos fungi-tóxicos específicos ausentes durante la maduración pueden ser producidos como consecuencia del ataque de hongos (Bowles, 1990). Estos compuestos pertenecen al grupo de las fitoalexinas y son a menudo de naturaleza polifenólica. En general, la capacidad de producción de fitoalexinas se correlaciona positivamente con el vigor del tejido. Aunque originalmente las fitoalexinas son sustancias químicas específicas provocadas por uno o más patógenos, algunas pueden ser producidas también por los frutos en respuesta a heridas (Eckert, 1978; Sommer, 1985a).

Existen varias prácticas que influyen la fisiología de la fruta y que ayudan a prevenir o retrasar la incidencia de enfermedades de poscosecha en fruta de pepita. Entre estas pueden mencionarse el control de las condiciones de crecimiento de los árboles, la cosecha antes del pico climático, la disminución de daños mecánicos y la modificación del ambiente durante el pre-almacenamiento, almacenamiento y transporte, con el objeto de reducir la tasa de respiración (Sommer, 1985a; Jijakli y Lepoivre, 2004).

Respecto del control de las condiciones de crecimiento de los árboles, por ejemplo una incorrecta nutrición nitrogenada implica que los frutos sean más susceptibles a algunas enfermedades fúngicas. Estudios realizados por Sugar (1994) demostraron que se redujo el desarrollo de podredumbres en fruta con relaciones nitrógeno/calcio relativamente bajas. Por otra parte, frutos que presentaban una alta relación potasio/calcio alcanzaron más rápidamente el punto climático y resultaron consecuentemente más susceptibles al ataque fúngico. Según Conway (1991), mayores concentraciones de calcio en manzanas inhiben o retrasan el desarrollo de síntomas por *P. expansum* y *B. cinerea*.

Las manzanas deben cosecharse antes del pico climatérico. La evolución de la madurez del fruto tiene un rol importante en el desarrollo de podredumbres. Los frutos pre-climatéricos son más firmes que los frutos maduros y más resistentes a los daños mecánicos que ocurren frecuentemente durante la cosecha y el manipuleo poscosecha. Además, como ya fue mencionado anteriormente, la resistencia interna de los frutos contra las enfermedades fúngicas disminuye con la madurez (Sommer, 1985a; Creemers, 1998; Tian 2007; Bertolini, 2008).

Es fundamental manipular la fruta con cuidado durante la cosecha y post-cosecha para minimizar la producción de daños mecánicos (Herregods, 1990). La capacidad de las heridas para cicatrizar resulta muy importante en la resistencia contra los patógenos y se asocia a la producción de etileno (Sommer, 1989). La humedad relativa elevada puede favorecer la cicatrización de las heridas en cítricos, limitando la pérdida de agua e impidiendo la penetración de agentes patógenos (Bertolini, 2008). En manzanas, así como en muchos otros frutos, el proceso de cicatrización se caracteriza por la generación de una barrera o peridermis, la cual puede producirse durante las etapas de división y de extensión celular. Después de la cosecha, la fruta ya no es capaz de producir esta barrera. Sin embargo, todas las células en la herida son capaces de reforzar su pared sintetizando moléculas en base a lignina y calosa, pero las condiciones óptimas para promover este proceso (85% HR y 10°C) difícilmente ocurren durante la cosecha o la poscosecha y nunca durante el almacenamiento (Jijakli y Lepoivre, 2004).

Respecto a las condiciones del ambiente durante la poscosecha, las bajas temperaturas de almacenamiento y la modificación de las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> tienen como objetivo fundamentalmente reducir la actividad respiratoria y otras actividades metabólicas en los frutos, retardando la maduración y la senescencia de los mismos (Bertolini, 2008), tal como ya fue mencionado anteriormente.

El etileno es conocido también como “hormona de la maduración”, debido a que regula numerosos procesos asociados al crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia. Por lo tanto, dada la estrecha conexión entre maduración, senescencia y resistencia a las enfermedades, la regulación de esta hormona permite prevenir o limitar las enfermedades causadas por hongos y bacterias (Bertolini, 2008).

Tratamientos con agua a alta temperatura, vapor o aire caliente (44 a 55 °C), durante períodos de tiempo relativamente breves (desde 10 segundos hasta pocos minutos) han demostrado lograr modificaciones fisiológicas y bioquímicas en los frutos que inducen la activación de mecanismos de resistencia a las enfermedades (Bertolini, 2008).

La exposición breve a rayos UV-c (longitud de onda inferior a 280 nm) induce resistencia a los patógenos en los productos vegetales. La acción se ejerce sobre la

expresión de genes que gobiernan la síntesis y la regulación de la actividad de una enzima fundamental en la síntesis de metabolitos tóxicos para los patógenos (fitoalexinas) y en la formación de barreras físicas (Bertolini, 2008).

#### 2.4.3. Inhibición de crecimiento del patógeno

Para que una infección pueda llevarse a cabo, si el fruto se halla susceptible al patógeno, es necesaria la presencia de una cantidad mínima de inóculo para desencadenar la enfermedad. Teóricamente una sola espora es suficiente para producir una infección, pero en la práctica esto no ocurre porque existen distintos mecanismos en el hospedante que no permiten que la infección tenga lugar. Sin embargo, cuantas más esporas haya, más posibilidades que el patógeno logre vencer las barreras naturales e infecte el tejido susceptible (Dobra y Rossini, 1993). Baert *et al.* (2008) demostraron que la cantidad de esporas de *P. expansum* inoculadas en manzanas, determina el porcentaje de podredumbres en los frutos. Este efecto, además fue dependiente de la temperatura a la cual fue almacenada la fruta (4, 12 y 25 °C), observándose mayores porcentajes de podredumbre a mayor temperatura. Para niveles de inóculo  $\geq 2 \times 10^4$  esporas, el desarrollo de la enfermedad se manifestó en más del 90% de los frutos para todas las temperaturas estudiadas.

Para disminuir la cantidad de inóculo presente y por ende la posibilidad de una infección, se deben implementar medidas de control tanto sobre el ambiente, objetos o superficies en contacto con la fruta, como así también directamente sobre la superficie de la misma.

##### 2.4.3.1. Sanitización

La sanitización es el proceso de reducción de la carga microbiana en el ambiente y sobre objetos o superficies en contacto con el producto. En los procesos de acondicionamiento y conservación de frutas frescas, el objetivo es minimizar la cantidad de microorganismos a niveles que no comprometan la calidad e inocuidad de la fruta (Vero *et al.*, 2010).

Para realizar la sanitización pueden utilizarse una amplia gama de productos químicos, entre los cuales pueden mencionarse los compuestos clorados (cloro, dióxido de cloro, etc.), los de oxígeno activo (peróxido de hidrógeno, ácido peracético, ozono,

etc.) y los amónicos cuaternarios (Quats). El cloro es el producto más empleado para sanitización de superficie y de agua debido a su efectividad y bajo costo (Vero *et al.*, 2010).

Si bien los sanitizantes son capaces de disminuir efectivamente la cantidad de inóculo presente en el agua de lavado de las frutas, objetos o superficies inertes, la disminución sobre la superficie de la fruta, en la mayoría de los casos, es limitada. En muchos casos la disminución de la flora superficial con el uso de sanitizantes no supera los valores obtenidos con el lavado con agua (Vero *et al.*, 2010).

Asimismo, la sanitización se puede realizar utilizando métodos físicos de reducción de la carga microbiana, tales como la baja temperatura, el calor, la modificación de la concentración de algunos gases o la radiación.

La baja temperatura provoca disminución del crecimiento de los hongos patógenos. La temperatura crítica de inhibición de crecimiento depende del patógeno. Sin embargo, las enfermedades fúngicas responsables de importantes pérdidas económicas en frutas de pepita (por ejemplo *P. expansum* o *B. cinerea*) son capaces de crecer con temperaturas inferiores a las utilizadas para almacenar la fruta (Sommer, 1985a; Sommer, 1985b; Jijakli y Lepoivre, 2004).

Por otra parte, tratamientos con alta temperatura pueden inactivar directamente al patógeno. La sensibilidad de los hongos al calor está determinada por características genéticas, por la fase de desarrollo del patógeno y por el grado de hidratación (Bertolini, 2008). Además, los tratamientos con agua caliente tienen un efecto erradicante de los propágulos de hongos que se encuentran sobre la superficie de los frutos.

La concentración de O<sub>2</sub> necesaria para inhibir la fase de crecimiento de los hongos varía notablemente entre las especies y con diferentes temperaturas. En la mayoría de los hongos se obtienen efectos moderados sobre el crecimiento a valores de hasta el 1% de O<sub>2</sub>. Pero, para lograr reducciones importantes deben reducirse estos valores (Sommer, 1985a). Para algunos hongos como *Alternaria* sp., *Botrytis cinerea* o *Fusarium* sp. es necesario bajar el O<sub>2</sub> a valores de 0,25% (Bertolini, 2008). Por su parte, concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> (superiores al 10%) tienen actividad fungistática sobre hongos sensibles, como por ejemplo *B. cinerea* (Sommer, 1985a). Concentraciones particularmente elevadas (80% durante 10 días) pueden tener una actividad fungicida (Bertolini, 2008), aunque podrían presentarse también problemas de fitotoxicidad sobre la fruta.

El etileno estimula la germinación de las esporas de hongos tales como *Penicillium* spp., *Botrytis cinerea* y *Rhizopus* spp., reduciendo los períodos de quiescencia y acelerando los procesos infectivos. Por lo tanto, la reducción de la concentración de

etileno en el ambiente que rodea la fruta permite prevenir o limitar estas patologías (Bertolini, 2008).

Los fotones de los rayos UV, así como aquellos de los rayos X y de los rayos gama tienen suficiente energía para causar modificaciones en la estructura molecular de los tejidos vivos, por lo que podrían utilizarse para el control de hongos patógenos en poscosecha (Bertolini, 2008).

Parte de la estrategia de saneamiento consiste en eliminar la fruta podrida del área de empaque, ya que una sola manzana afectada puede tener billones de esporas de hongos en su superficie que pueden ser redistribuidas a nuevos sitios de infección (Kupferman, 1986).

#### 2.4.3.2. Control biológico

El desarrollo de cepas resistentes a los fungicidas, la demanda pública para reducir el uso de pesticidas, así como la aparición de enfermedades que han incrementado su severidad por el uso de productos químicos específicos (enfermedades iatrogénicas), han estimulado la investigación en estrategias de control alternativas (Griffiths, 1981; Wilson *et al.*, 1993; Droby, 2006).

En los últimos años se ha intensificado la investigación en el campo de la lucha biológica de las enfermedades de poscosecha en frutas y se podrían mencionar distintas investigaciones en manzanas y peras (Janisiewicz, 1987; Janisiewicz, 1988; Janisiewicz y Roitman, 1988; Janisiewicz, 1991; Viñas *et al.*, 1998; Usall *et al.*, 2001; Nunes *et al.*, 2001), en frutos de carozo (Pusey y Wilson, 1984; Pusey *et al.*, 1986) y en cítricos (Chalutz y Wilson, 1990; Smilanick y Dennis-Arrue, 1992).

Actualmente también se están realizando estudios para la mejora de la capacidad antagonista de los agentes de biocontrol ya descubiertos, como la adición de nutrientes, o la combinación con otros sistemas de control (Janisiewicz *et al.*, 1992; El Ghaouth y Wilson, 1995; Droby, 2006).

Varias bacterias y levaduras han demostrado ser efectivas para el control de diversos patógenos de poscosecha (Droby, 2006). Sin embargo, los productos comercialmente disponibles en la actualidad son limitados. En Estados Unidos el producto BioSave®, formulado con la bacteria *Pseudomonas syringae* y el producto Aspire®, formulado con la levadura *Candida oleophila* fueron los primeros productos registrados para control biológico y aprobados para su utilización en frutos cítricos y de pepita desde principios del año 1995 (Janisiewicz y Korsten, 2002; Droby, 2006). Posteriormente, en este mismo

país se registraron los productos YieldPlus® y Serenade®, formulados con la levadura *Cryptococcus albidus* y la bacteria *Bacillus subtilis* respectivamente. En Israel, una cepa de la levadura *Metschnikowia fructícola* es comercializada bajo el nombre Shemer® para prevenir podredumbres en cultivo de flores y frutas (Droby, 2006). En la Unión Europea existen actualmente tres microorganismos antagonistas registrados para su utilización en tratamientos de poscosecha: la levadura *Pantoea agglomerans*, la bacteria *Candida sake* y el hongo *Aureobasidium pullulans*, desarrollados comercialmente con los nombres Pantovital®, CandiFruit® y Boniprotect®, respectivamente (Ippolito *et al.*, 2000; Usall *et al.*, 2010).

Sin embargo, a pesar de los resultados alentadores en los estudios de métodos alternativos de control para las podredumbres de frutas, ninguno de estos métodos proporciona un nivel de control comparable al obtenido utilizando fungicidas sintéticos, por lo cual no se utilizan masivamente en la actualidad (El-Ghaouth y Wilson, 1995).

#### 2.4.3.3. Control químico

La aplicación de fungicidas sintéticos es actualmente el método más utilizado y efectivo para el control de enfermedades de poscosecha (Griffiths, 1981; Wilson *et al.*, 1993; Jijakli y Lepoivre, 2004).

Los principios activos registrados y disponibles en nuestro país para su utilización en poscosecha de fruta de pepita se presentan en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3.** Principios activos registrados en Argentina para su utilización en poscosecha de fruta de pepita

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Grupo químico</b>
Captan	Ftalamida
Carbendazim	Benzimidazol
Fludioxonil	Fenilpirrol
Imazalil	Imidazol
Iprodione	Dicarboximida
Metil tiofanato	Benzimidazol
Pirimetanil	Anilinopirimidina
Tiabendazol	Benzimidazol

Fuente: CIATI, INTA y CAFI, 2010.

Los fungicidas fludioxonil (Scholar<sup>®</sup>) y pirimetanil (Penbotec<sup>®</sup>) pertenecen a un grupo de fungicidas de nueva generación, que han sido calificados como de “bajo riesgo” por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency (EPA), 1998). Ambos han demostrado ser muy efectivos para el control de los principales patógenos de poscosecha en manzanas y peras, *P. expansum* y *B. cinerea* (Rosenberger *et al.*, 2001; Errampalli, 2004; Di Masi, 2007; Adaskaveg, 2007; Colodner y Di Masi, 2010). Otros fungicidas que pertenecen al grupo calificado como de “bajo riesgo”, pero que aún no se encuentran registrados para su utilización en nuestro país, son: fenhexamid (Elevate<sup>®</sup>); cyprodinil (Vanguard<sup>®</sup>) y boscalid (Pristine<sup>®</sup>).

Actualmente, las investigaciones en el campo de la lucha contra las enfermedades de poscosecha están fuertemente orientadas hacia la búsqueda de nuevas alternativas más seguras para la salud de las personas y del medioambiente. Los productos de síntesis “tradicionales” serán probablemente reemplazados en un futuro próximo por fungicidas de nueva generación, o por productos biológicos formulados con microorganismos antagonistas. No obstante, la tecnología de aplicación de los productos fitosanitarios utilizados en la poscosecha de frutas, sean productos biológicos o de síntesis, podrá utilizar los sistemas disponibles actualmente (drench, pulverización o baños en la línea) (Rosenberger, 1990; Janisiewicz y Korsten, 2002; Janisiewicz *et al.*, 2005; Droby, 2006).

## 2.5. Aplicación de fitosanitarios en poscosecha

La tecnología de aplicación de los productos fitosanitarios es uno de los factores determinantes del éxito en el control de plagas y enfermedades (Nuñez y García, 1998; Magdalena *et al.*, 2010).

La aplicación de agroquímicos es un proceso de gran complejidad que requiere articular las variables físicas, químicas y biológicas intervinientes en el proceso. Según algunos autores, es uno de los procesos más ineficientes que ha realizado el hombre, ya que solo un bajo porcentaje del producto aplicado toma contacto y tiene efecto sobre las plagas y enfermedades. Además, en el período que transcurre entre la preparación del producto y su acción contra las plagas ocurren transformaciones y pérdidas que pueden afectar negativamente la acción de los agroquímicos (Magdalena *et al.*, 2010).

Una extensa bibliografía científica sustenta las prácticas recomendadas para la realización de los tratamientos fitosanitarios en la etapa de producción a campo. El modelo basado en el volumen de la fila de árboles (Tree Row Volume, o TRV) permite estimar el volumen por unidad de área o tasa de aplicación ( $L \cdot ha^{-1}$ ) que se debe asperjar de acuerdo a las características del cultivo (Magdalena *et al.*, 1995; Frießleben *et al.*, 2007). Esta metodología de trabajo ha sido ampliamente estudiada y desarrollada en el mundo y en nuestra región. Por el contrario, existe muy poca información científica respecto de la tecnología de aplicación de los productos fitosanitarios en la etapa de poscosecha.

Si bien se considera que gran parte del marco teórico utilizado para los tratamientos a campo podría ajustarse a los tratamientos realizados durante la poscosecha, existen aspectos relevantes que le confieren particularidad a cada una de estas etapas. Por ejemplo, en el caso de los tratamientos de poscosecha las condiciones ambientales o biológicas que tornan compleja la aplicación a campo, podrían minimizarse o incluso despreciarse. Factores como la temperatura, la humedad relativa, el viento (Villalba y Hetz, 2010) o la distancia al blanco de aplicación (Homer *et al.*, 2010), no resultan variables que merezcan mayor consideración en la etapa de poscosecha.

Algunos fungicidas utilizados en poscosecha pueden atravesar la cutícula de los frutos y penetrar unos pocos milímetros en la pulpa (Villatoro *et al.*, 2009). Sin embargo, la mayoría de ellos no tienen esta capacidad, por lo que permanecen y ejercen su acción biocida en el lugar donde fueron depositados (Cabras *et al.*, 2000). Además, como se ha mencionado anteriormente, las enfermedades más importantes en los frutos de pepita son provocadas por hongos que se desarrollan en las heridas. Considerando los aspectos mencionados, el sistema de tratamiento debería lograr colocar el fungicida

dentro de las heridas de los frutos, para exponer las esporas de los hongos patógenos al efecto biocida del agroquímico.

Diferentes factores podrían contribuir al ingreso del fungicida en las heridas. Adaskaveg *et al.* (2005), Adaskaveg (2007) y Förster *et al.* (2007) observaron que tratamientos realizados con un sistema de ducha de alto volumen (42 L por cada 10.000 kg de fruta) resultaron significativamente más efectivos que tratamientos realizados mediante aplicadores de gota controlada (CDA) de bajo volumen (6,7 L por cada 10.000 kg de fruta), para controlar enfermedades de poscosecha en fruta de pepita y carozo.

Asimismo, el tiempo durante el cual la fruta es sometida al tratamiento podría influir en el ingreso del fungicida en las heridas. Tiempos de tratamiento de entre 12 y 15 segundos podrían ser necesarios para un buen mojado y cubrimiento de la fruta (Striebeck, 1998; Förster *et al.*, 2007). Sin embargo, de los relevamientos realizados con informantes calificados (técnicos de la actividad privada), los tiempos modales de tratamiento en nuestra región rara vez superan los 6 segundos.

La aplicación de productos fitosanitarios en poscosecha puede realizarse cuando llega la fruta al establecimiento, mediante una ducha de bins o “drench” (Figura 2.1.), o bien durante su procesamiento en la línea (Figura 2.2.) mediante un sistema de ducha, o de pulverización con boquillas.

### 2.5.1. Ducha de bins o “drench”

Mediante este método la fruta cosechada y dispuesta dentro de los cajones bin es tratada mediante una ducha, antes de su conservación frigorífica. En general, mediante este método se trata la fruta con productos antiescaldantes y fungicidas para el control de podredumbres durante el almacenamiento. La ducha puede aplicarse a un camión completo, a cargas de bins de un remolque con fruta o a unos pocos bins por vez circulando a través de una cinta transportadora (Janisiewicz *et al.*, 2005). Este método permite tratar una gran cantidad de fruta en un período de tiempo relativamente breve. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes:

El líquido de tratamiento es recirculado para tratar bins adicionales. Durante este proceso, las conidias de hongos responsables de podredumbres se desprenden de la superficie de los frutos, bins y tierra contenida en la base de los bins o en el camión y se acumulan en el líquido de tratamiento (Sanderson, 1999; Janisiewicz *et al.*, 2005; Rosenberg, 2010). Asimismo, el líquido de tratamiento podría representar un peligro

potencial para la inocuidad de la fruta, debido a la contaminación proveniente de la suciedad de los bines y del camión (Rosenberg, 2010).

Por otra parte, para realizar este tipo de tratamiento es necesario un volumen elevado de caldo. La disposición final del mismo representa un considerable problema (Rosenberg, 2010) por lo cual, en nuestra región el Departamento Provincial de Aguas ha impuesto importantes restricciones legales a los establecimientos de empaque (Resolución 335/02).

Por último, el inadecuado manejo técnico del método de ducha, sobre todo en establecimientos pequeños donde no se cuenta con los recursos o instalaciones adecuadas, puede resultar en un tratamiento deficiente (Rosenberg, 2010). Mantener la concentración adecuada del principio activo en el caldo de tratamiento es crítico. En tal sentido, Brown *et al.* (1988), realizando tratamientos con benomyl en cítricos, debieron agregar producto en el rango de 900 a 1.000 ppm para mantener la concentración efectiva recomendada en la etiqueta de 600 ppm. Asimismo, recomendaron una buena y continua agitación en los tanques y una duración del tratamiento de por lo menos 3 minutos de ducha, con el objeto de lograr una adecuada cobertura de la fruta sobre un camión en pilas de 2 bines.

#### 2.5.2. Ducha en la línea

En la línea de procesamiento, la aplicación de fitosanitarios se puede realizar utilizando un sistema de ducha, con algunas características similares al tratamiento mediante ducha de bines (2.5.1.). En este caso, la fruta es preclasificada, lavada con detergente y enjuagada con agua limpia sobre los cepillos del módulo de lavado antes de su tratamiento. Esta situación representa una diferencia importante que permitiría minimizar el problema de contaminación del caldo que fue mencionado anteriormente para el sistema de ducha de bines. Sin embargo, se considera importante mencionar que ambos tipos de tratamiento no son excluyentes entre sí y la aplicación de uno u otro depende de la estrategia técnica y comercial de cada empresa.

Los sistemas de ducha en la línea se utilizaron antiguamente en los empaques de la región, pero fueron reemplazados por los actuales sistemas de pulverización con boquillas. Este reemplazo se debió a la asociación de los primeros con resultados desfavorables en el control de podredumbres y con el peligro de generación de cepas de hongos resistentes a los fungicidas por el recirculado del líquido de tratamiento (Aragón J., comunicación personal). No obstante, la aplicación de fungicidas en la línea de

empaques mediante sistemas de ducha de alto volumen demostró ser más efectiva que la aplicación con sistemas con boquillas de bajo volumen (Adaskaveg *et al.*, 2005; Adaskaveg, 2007; Förster *et al.*, 2007), razón por la cual se plantea su evaluación en el presente trabajo.

### 2.5.3. Pulverización con boquillas

El sistema de aplicación en la línea de procesamiento más utilizado en nuestra región es el realizado mediante la pulverización con boquillas. Se denomina pulverización al proceso de subdivisión de los líquidos en gotas mediante la utilización de energía. De acuerdo a la energía utilizada para romper el líquido, puede clasificarse la pulverización en: hidráulica, neumática, centrífuga, térmica, electrodinámica o ultrasónica, según se utilice presión de un líquido, presión de aire, rotación de dispositivos, evaporación de líquidos, campos eléctricos o vibración mecánica de superficies, respectivamente. Asimismo, pueden combinarse dos o más de los métodos mencionados, obteniéndose nuevos mecanismos de pulverización. Para la pulverización de productos fitosanitarios en las líneas de empaque, el método más utilizado es el que utiliza energía hidráulica (presión). Mediante este método, el líquido en forma de chorro o corriente, se introduce bajo presión en un orificio calibrado o boquilla. El rompimiento ocurre cuando el líquido sale de la boquilla a un medio gaseoso en reposo (aire de la atmósfera) (Castillo, 2010).

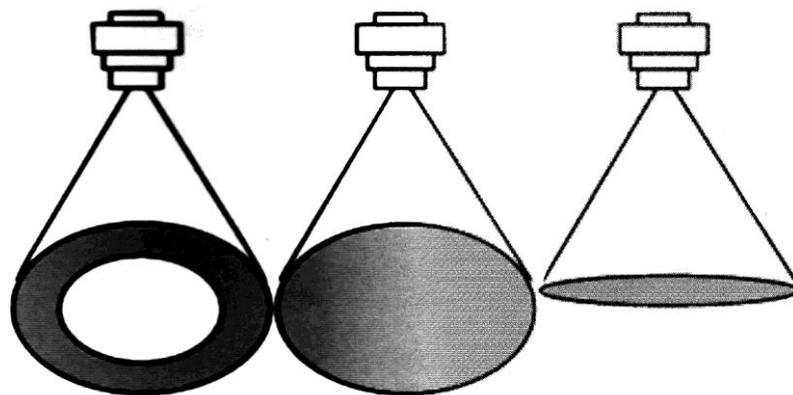
Las fuerzas actuantes sobre un líquido a pulverizar (sin incluir las electromagnéticas que actúan en los líquidos cargados), atendiendo a las propiedades más importantes del mismo, son: densidad, coeficiente de tensión superficial y viscosidad dinámica. Además, actúan las fuerzas de gravedad y la inercia (Castillo, 2010).

Las boquillas son el componente más importante de todo equipo pulverizador. Las mismas determinan el caudal aplicado, el tamaño de las gotas y la distribución del líquido en la superficie bajo tratamiento (Masiá y Cid, 2010). El comportamiento de las boquillas depende de sus características constitutivas y de la interacción dentro de un sistema dinámico complejo. La altura de trabajo, el ángulo de las boquillas, la distancia entre las mismas, la presión de servicio y las características del blanco biológico, son algunas de las variables que se deben tener en cuenta para lograr una aplicación exitosa (Boller y Schlosser, 2010).

La selección de boquillas de pulverización es importante para adecuar el equipo al tipo de aplicación deseada, con el fin de optimizar el resultado biológico y la capacidad de la máquina. Los criterios de selección deben considerar la calidad adecuada de

pulverización para cada agroquímico, buscando el mejor control de plagas con las menores pérdidas por deriva y escurrimiento. La clase y el modo de acción del producto a ser aplicado deben ser tenidos en cuenta. Los fungicidas presentan una acción sistémica limitada, por lo que demandan mayor atención en la cobertura del blanco (Boller y Schlosser, 2010).

Los materiales más utilizados actualmente para la fabricación de boquillas son plástico y cerámica. La distribución característica de las gotas producidas por las boquillas puede ser en forma de cono hueco, cono lleno o abanico plano (Figura 2.3.) (Masiá y Cid, 2010).



**Figura 2.3.** Patrones de distribución de las boquillas de cono hueco, cono lleno y abanico plano (Fuente: Tecnología de aplicación de agroquímicos, 2010)

Los caudales de las boquillas dependen de sus características constructivas y de la presión de servicio, de acuerdo a la siguiente expresión (Musillami, 1982):

$$Q = m \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{Ecuación 2.1.})$$

Donde:

Q= caudal del a boquilla

m = coeficiente de la boquilla

d = diámetro del orificio de la boquilla

p = presión de servicio

Esta expresión permite observar que el aumento de la presión no conlleva un aumento proporcional del caudal. Del mismo modo, para incrementar el caudal se deben colocar boquillas de mayor diámetro o modificar el coeficiente de las boquillas.

El espectro de pulverización se compone de un gran número de gotas de diferentes tamaños, según las condiciones de operación (Castillo, 2010). Musillami (1982) menciona que con una disminución de la presión de seis veces, aumenta al doble el tamaño de las gotas. Asimismo, el aumento de la presión de trabajo produce un incremento en el ángulo de distribución de las boquillas (Masiá y Cid, 2010). El uso de presiones elevadas disminuye la calidad de la pulverización, aumenta el consumo de potencia y el desgaste del sistema hidráulico (Magdalena *et al.*, 1993).

De acuerdo a la información brindada por el fabricante, el tipo de boquilla y la presión de servicio deben seleccionarse en función del tipo de aplicación que se debe realizar y el tamaño de espectro de gotas que se desea obtener.

La norma ASAE S-572 define los criterios para la clasificación del espectro por el tamaño de gotas que produce una boquilla a diferentes presiones (Tabla 2.4.) (Masiá y Cid, 2010).

**Tabla 2.4.** Clasificación del espectro de gotas según el tamaño

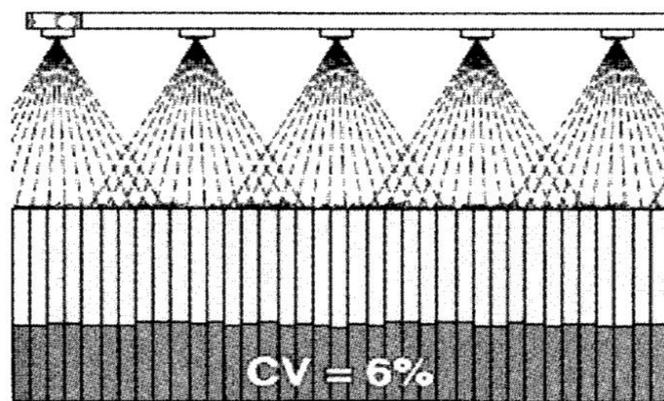
<b>Clasificación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Código de color</b>
Muy fina	VF	Rojo
Fina	F	Naranja
Media	M	Amarillo
Gruesa	C	Azul
Muy gruesa	VC	Verde
Extremadamente gruesa	XC	Negro

Fuente: Masiá y Cid, 2010.

Las boquillas de abanico plano producen una distribución de tipo normal del líquido pulverizado, con una mayor concentración de líquido en la parte central, disminuyendo en forma más o menos simétrica hacia ambos laterales. Para realizar una distribución uniforme del líquido pulverizado, las boquillas deben ubicarse sobre la barra en forma tal que, dependiendo de la altura de trabajo, haya una superposición de al menos un 30%

entre las distribuciones de cada una de ellas (Figura 2.4.). Además, las boquillas deben tener un ángulo de cruzamiento en relación al eje de la barra, a fin de evitar que los abanicos planos adyacentes “choquen” produciendo alteraciones en el patrón de distribución (Masiá y Cid, 2010; Boller y Schlosser, 2010).

Las boquillas de abanico plano estándar son las más antiguas de las que se comercializan actualmente y también las más económicas. Se fabrican totalmente en polímero o con insertos de acero inoxidable o cerámica y con ángulos de pulverización de 80° y 110°. Su rango de trabajo varía desde los 2 hasta los 4 bar y según los caudales y presiones de trabajo, producen desde gotas muy finas hasta gruesas (Masiá y Cid, 2010).



**Figura 2.4.** Diagrama de distribución de un conjunto de boquillas de abanico plano superpuestas en una barra (Fuente: Spraying Systems Co, 2004, tomado de Tecnología de aplicación de agroquímicos, 2010)

Las boquillas de abanico plano de baja deriva poseen un conducto estrecho por donde fluye el líquido al cual se conectan dos pequeños orificios que comunican con el exterior. A través de “efecto Venturi”, este sistema genera una succión de aire que se hace más notable cuanto mayor es la velocidad del líquido dentro de la boquilla. Las gotas producidas contienen pequeñas burbujas de aire en su interior, lo que permite aumentar su tamaño. Tienen un amplio rango de presiones de trabajo, que se extiende de 2 a 8 bar. Las gotas producidas por estas boquillas “estallan” al llegar a destino y de esta manera logran una mejor cobertura. (Masiá y Cid, 2010).

Las boquillas de cono están constituidas por: cuerpo de la boquilla, núcleo de rotación, cámara de turbulencia, pastilla y tapa. La pastilla consta de un orificio calibrado que es uno de los elementos que determina el caudal erogado. El núcleo de rotación es el principal dispositivo de este tipo de boquillas que actúa en la determinación del caudal y le da características geométricas particulares a la formación del cono, definiendo si es

de cono hueco o de cono lleno. Las boquillas de cono hueco producen un espectro de gotas más fino y se utilizan cuando se requiere una excelente cobertura, como es el caso de la aplicación de fungicidas. Por estas características el riesgo de deriva es alto. Su rango de trabajo es normalmente de 5 a 20 bar (Masiá y Cid, 2010).

De los relevamientos realizados con informantes calificados (proveedores de boquillas y técnicos de la actividad privada), no surge una recomendación unívoca sobre el tipo de boquilla y las presiones de trabajo que se deberían utilizar en los tratamientos en la línea de empaque para el control de enfermedades fúngicas. Estas recomendaciones se basan en valoraciones estrictamente empíricas.

#### 2.5.4. Dosis de los tratamientos

El término dosis indica la cantidad específica de una sustancia y se utiliza en general en medicina y en protección vegetal (Marer, 1988; Koch, 2007).

Según Koch (1993) la dosis aplicada en una pulverización es determinante en el depósito inicial sobre las hojas y frutos. Por lo tanto, es el principal factor en la declinación de los residuos y consecuentemente en la acción sobre las plagas y otros organismos. El mismo autor denomina “dosificación indirecta” a la que se emplea en aplicación de agroquímicos, debido a que la misma no hace referencia a un simple individuo sino que se realiza por unidad de área asumiendo que al individuo le llegara la dosis adecuada.

Actualmente, existen diferentes modelos para estimar la dosis de producto fitosanitario que se debe aplicar en los tratamientos realizados en los cultivos (Koch, 2007; Frießleben *et al.*, 2007). La forma de expresar la dosis, así como la definición de su magnitud, es extremadamente importante (Koch, 2007). La forma más antigua y simple de expresar la dosis es en concentración del producto formulado en el volumen asperjado (%; g o mL por L o hL). Una dosis expresada de esta manera puede resultar en cantidades de sustancia activa muy variables, principalmente debido a la estructura del cultivo, la técnica de aplicación y el criterio del aplicador en función de la tasa de aplicación seleccionada (EPPO, 2005; Frießleben *et al.*, 2007).

Para aplicaciones realizadas a campo, el modelo basado en el volumen de la fila de árboles (Tree Row Volume, o TRV) permite estimar el volumen por unidad de área o tasa de aplicación ( $L \cdot ha^{-1}$ ) que se debe asperjar de acuerdo a las características del cultivo (Magdalena *et al.*, 1995; Frießleben *et al.*, 2007). Luego, la dosis del producto fitosanitario

(kg.ha<sup>-1</sup> o L.ha<sup>-1</sup>) quedará definida por la tasa aplicada y la concentración del producto fitosanitario utilizada (Magdalena *et al.*, 1995; Cross *et al.*, 2001), según la relación:

$$D = T * C \quad (\text{Ecuación 2.2.})$$

Donde:

D = dosis (cantidad de producto por unidad de área)

T = tasa (volumen aplicado por unidad de área)

C = concentración (cantidad de producto en un determinado volumen de caldo)

Actualmente, se están realizando grandes esfuerzos para optimizar la aplicación de productos fitosanitarios, minimizando la emisión al ambiente y los residuos en los alimentos (EPPO, 2005), debido a que la misma resulta en general un proceso muy ineficiente. Diferentes autores mencionan que valores entre el 22 y 56% del volumen asperjado es retenido por el follaje de los árboles, mientras que el resto se pierde por evaporación, deriva o escurrimiento al suelo al momento de la aplicación (Matthews, 1984; Di Prinzio, 1989; Planas de Martí, 2001). Por lo tanto, solamente un porcentaje del volumen total aplicado y por consiguiente del ingrediente activo (ecuación 2.2.), pueden ser efectivamente retenidos por los árboles (hojas, frutos, etc.).

La cantidad de ingrediente activo que permanece sobre la superficie vegetal determina el depósito resultante del tratamiento fitosanitario (Marer, 1988; Coscollà, 2008) y es uno de los factores determinantes del éxito en la práctica de control fitosanitario (Palladini *et al.*, 2005).

Los depósitos de productos químicos asperjados sobre la superficie de los vegetales dependen de muchos factores, tales como el tipo de aplicación (espolvoreo, pulverización, etc.), el equipo utilizado, las condiciones atmosféricas, la velocidad de la pulverizadora, la distancia entre la pulverizadora y los árboles, el tamaño y forma del árbol, el emboquillado, el tamaño de gota, la tasa de líquido por unidad de volumen de árbol y la densidad foliar (Byers *et al.*, 1989; Coscollá, 2008).

Smith *et al.* (2000) realizando pulverizaciones con pesticidas sobre hojas de diferentes vegetales, obtuvieron mayores depósitos con tamaños de gotas más pequeños. Byers *et al.* (1989), asperjando cultivos de manzano de diferentes tamaños y sistemas de conducción con soluciones de cobre al 0,01% y tasa constante de 1.870 L.ha<sup>-1</sup>, obtuvieron mayores depósitos en los árboles más pequeños. Similarmente,

Doruchowski *et al.* (1996) obtuvieron mayores depósitos en los árboles más pequeños realizando pulverizaciones con volúmenes crecientes entre 120 y 400 L.ha<sup>-1</sup> y observaron que el volumen retenido sobre los árboles se incrementaba con el volumen aplicado. Sin embargo, no queda claro en ninguno de estos trabajos si los árboles alcanzaron la máxima capacidad de retención de líquido, llamado “punto de goteo”.

Según Koch y Weisser (1995), el máximo depósito inicial del producto fitosanitario aplicado sobre la superficie de las plantas en tratamientos a campo estuvo directamente relacionado con la capacidad de retención de las mismas y la concentración del producto en el líquido de pulverización.

Coscollá (2008), realizando una aplicación en forma de pulverización clásica (600 a 3.000 L.ha<sup>-1</sup> de caldo), observó que la cantidad de plaguicida depositada sobre la planta aumenta progresivamente hasta que el caldo empieza a escurrir, manteniéndose constante a partir de ese momento. Cunningham y Harden (1998), trabajando con cítricos, encontraron que la retención del líquido pulverizado crece con la tasa aplicada hasta los 2.000 L.ha<sup>-1</sup>, a partir de la cual decrece.

Cross *et al.* (2001), realizaron pulverizaciones con trazantes metálicos sobre tres cultivos de diferentes tamaños de árboles de manzanas (chicos; medianos y grandes) y con tres diferentes tasas de aplicación (baja = 88-97 L.ha<sup>-1</sup>; medio = 277-302 L.ha<sup>-1</sup> y alto = 727-769 L.ha<sup>-1</sup>). Estos investigadores observaron que los árboles más grandes retuvieron mayor porcentaje del líquido pulverizado. Sin embargo, las diferentes tasas pulverizadas no modificaron los depósitos sobre las hojas, excepto en los árboles más chicos a la tasa más alta, debido a la saturación, en cuyo caso los depósitos resultaron menores. Los depósitos sobre los pequeños frutos fueron significativamente afectados por las tasas pulverizadas, correspondiendo a los mayores volúmenes los menores depósitos, lo cual se debió, según los autores, a que se excedieron las condiciones de saturación.

Según Gil (2010), el aumento de la tasa de aplicación no implica necesariamente un incremento en la eficacia de los tratamientos. Aun cuando el aumento de la tasa implique una mejora en la eficacia, provoca una gran pérdida en la eficiencia del tratamiento. Asimismo, el aumento de la tasa no resulta en incrementos en los depósitos obtenidos sobre la superficie vegetal.

Como puede observarse en los párrafos anteriores y como se ha mencionado precedentemente, existen muchos estudios que evalúan diferentes aspectos relativos a la aplicación de productos fitosanitarios en la etapa de campo. Se considera que uno de los desafíos consiste en aprovechar y ajustar todos los conocimientos posibles y disponibles

para los tratamientos a campo, para utilizarlos en el desarrollo de la tecnología de aplicación en poscosecha.

Para el tratamiento de productos vegetales cosechados, la European y Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) ha propuesto expresar la dosis de acuerdo al tipo de tratamiento. De esta forma, para productos aplicados mediante baño, la dosis debe expresarse en kg o L de producto comercial por 100 L de agua y debe indicarse el tiempo del baño, así como la cantidad de material bañado en un determinado volumen de mezcla. Para productos aplicados mediante ducha, la dosis debe expresarse en kg o L por 100 L y debe indicarse el volumen de agua por peso de producto vegetal. Para productos aplicados mediante aspersion, la dosis debe expresarse en kg o L por peso de producto vegetal (EPPO, 2005).

En tal sentido, Adaskaveg *et al.* (2005), Adaskaveg (2007) y Förster *et al.* (2007) modificaron la concentración de fungicida en el caldo entre tratamientos realizados con diferentes volúmenes (6,7 y 42 litros cada 10.000 kilos de fruta), con el objetivo de mantener constantes las dosis entre ellos. Del análisis de los trabajos realizados por estos investigadores se infiere que aplicaron un aumento proporcional en la concentración del fungicida, correspondiente con la reducción del volumen aplicado en el tratamiento de menor volumen. Como resultado de esta práctica, obtuvieron mayores valores de depósito de fungicida en la fruta tratada con el sistema de bajo volumen.

## **2.6. Evaluación de la aplicación de fitosanitarios**

Para evaluar el comportamiento y la eficiencia de las pulverizaciones pueden utilizarse diferentes metodologías, tales como los ensayos biológicos o el análisis de la cantidad y distribución de los depósitos, a través de análisis químicos, o mediante apreciaciones visuales u ópticas.

### **2.6.1. Ensayos biológicos**

La efectividad de la técnica de aplicación de fitosanitarios puede estimarse mediante la evaluación del control de podredumbres, utilizando la misma metodología empleada para evaluar la efectividad de los fungicidas frente a los diferentes patógenos. Estos ensayos (tests *in vivo*) consisten en someter los frutos a las condiciones que favorecen el

desarrollo de la enfermedad y a los diferentes métodos de control que se pretenden evaluar.

En los estudios realizados con fruta de pepita y debido a la modalidad de ingreso de los patógenos más importantes, los frutos son heridos para favorecer el desarrollo de la enfermedad. Las heridas generalmente se efectúan con una herramienta con punta cónica de 3 a 5 mm de profundidad y 3 a 6 mm de ancho en la base (Tepper y Yoder, 1982; Spotts *et al.*, 1998; Zhou *et al.*, 2001; Errampalli, 2004; Errampalli *et al.*, 2006; Li y Xiao, 2008). Posteriormente, las heridas son inoculadas con una suspensión de conidias de concentración conocida del patógeno en estudio. En el caso de *P. expansum* en manzanas, Baert *et al.* (2008) determinaron que se necesita una concentración de, al menos,  $2 \times 10^4$  conidias.mL<sup>-1</sup> para producir porcentajes de podredumbres mayores al 90% a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Mediante una micropipeta se coloca en cada herida una gota de 15 a 20 µL de la suspensión inoculante (Spotts *et al.*, 1998; Zhou *et al.*, 2001; Errampalli *et al.*, 2006; Baert *et al.*, 2008; Li y Xiao, 2008). Esto implica la presencia de 300 a 400 conidias del hongo en cada herida, si se considera el volumen y la concentración mencionados anteriormente.

Luego de un tiempo de almacenamiento establecido, los frutos se evalúan para determinar la efectividad del método de control, en función del porcentaje de heridas podridas de cada tratamiento.

#### 2.6.2. Cantidad de depósito

Para evaluar el depósito de una pulverización pueden utilizarse diferentes alternativas: análisis químico del ingrediente activo (Smelt *et al.*, 1993), utilización de sustancias trazantes, tales como cobre metálico (Chaim *et al.*, 1999); metales pesados (cobre, zinc, hierro, manganeso) (Sutton y Unrath, 1984 y Derksen y Gray, 1995); rodamina B y cobre (Salyani y Whitney, 1988); Brillant Sulfoflavina (Magdalena, 2004; Smelt *et al.*, 1993); fluoresceína sódica (Koch, 1993).

Cooke y Hislop (1993) definen a un trazante como una sustancia utilizada para marcar el recorrido de un proceso; éste puede ser un ingrediente de la mezcla de pesticidas o un químico seleccionado para imitar el comportamiento de un pesticida.

Los trazantes fluorescentes y la fluorocolorimetría se utilizan en investigaciones para cuantificar la deposición sobre los vegetales o la deriva provocada por las pulverizaciones (Salyani y Fox, 1999).

Cooke y Hislop (1993) caracterizan como buen trazante fluorimétrico aquel que sea estable frente a la fotodegradación y cuantificable luego de ser recuperado de la superficie utilizada. Por otra parte subrayan como virtudes de la fluoresceína (sal sódica) su bajo costo, disponibilidad, inocuidad en soluciones acuosas y el hecho de ser rastreable aun en concentraciones muy bajas de hasta 10 ng.mL<sup>-1</sup>. Otro atributo de la fluoresceína es que esta sustancia al 0,15% no altera la tensión superficial de la solución que se emplea como trazante (Palladini *et al.*, 2005). Esto es importante ya que la tensión superficial de la solución pulverizada influye sobre el tamaño y la distribución de las gotas en la superficie vegetal (Lefebvre, 1993). Como obstáculo se presenta su sensibilidad a la luz y en este sentido Cooke y Hislop (1993) mencionan una degradación de un 20% en una hora si es expuesta a pleno sol. Para minimizar su descomposición, Di prinzio (2004) y Di Prinzio *et al.* (2008) realizaron ensayos a campo con este trazante en horas del día con menor intensidad solar. Magdalena y Behmer (2000) realizaron tratamientos con fluoresceína directamente sobre la superficie vegetal y realizaron muestreos de hojas en altura y profundidad.

### **3. MATERIALES y METODOS**

#### **3.1. Material vegetal**

Todos los ensayos se realizaron con manzanas (*Malus domestica* Borkh) cv. Red Delicious cosechadas durante la temporada 2009-2010 en un monte frutal de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Alto Valle ubicada en Contralmirante Guerrico, provincia de Río Negro, a 39° 01´ de latitud sur, 67° 40´ de longitud oeste y 242 m sobre el nivel del mar.

La fruta fue cosechada durante la segunda quincena del mes de febrero del año 2010, luego de la fecha autorizada para la cosecha y según los parámetros recomendados por el Programa Regional de Madurez. Asimismo, no se realizaron tratamientos con productos fungicidas previos, durante precosecha ni en poscosecha.

Después de la cosecha la fruta se almacenó en cámara frigorífica a 0,5°C en bins hasta el momento de su utilización para los diferentes ensayos.

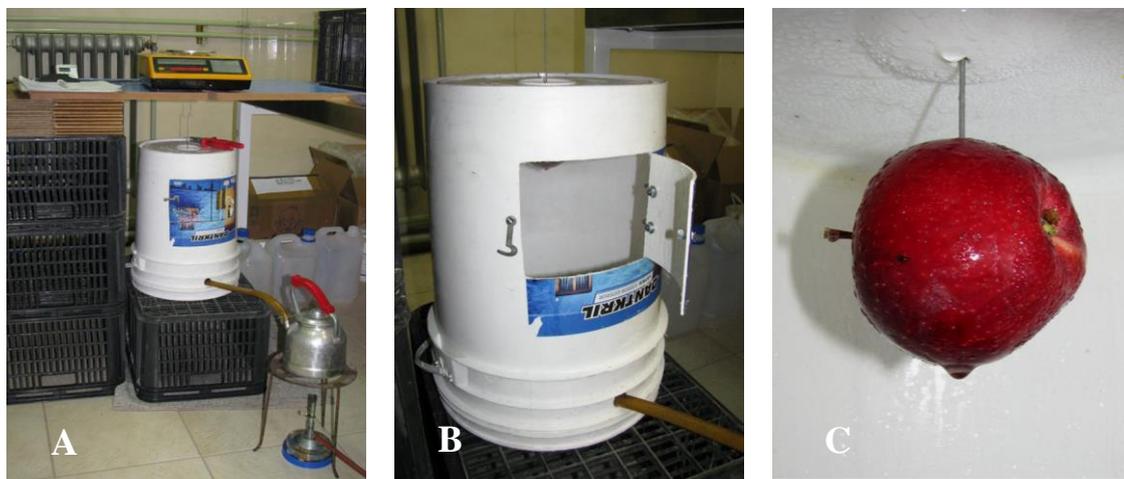
#### **3.2 Ensayo 1: Capacidad de retención de agua sobre la superficie de los frutos**

Se evaluó la máxima capacidad de retención de agua sobre la superficie de los frutos. La variable respuesta fue la cantidad de agua retenida por fruto.

Se seleccionaron frutos de diferentes tamaños, 20 frutos chicos (90 a 140g) y 20 frutos grandes (180 a 240g).

El dispositivo para medir la capacidad de retención de agua sobre los frutos consistió en un recinto donde se generaba vapor de agua. En la parte superior se dispuso una balanza Sartorius B3100P con una precisión de 0,001 g, de la cual se colgó cada fruto, ubicado dentro del mencionado recinto (Figura 3.1.). Los frutos fueron colgados de la zona ecuatorial para evitar la acumulación de agua en las zonas deprimidas del fruto (cáliz o pedúnculo). Una vez colgado, se registró el peso en “seco” de cada fruto y posteriormente la balanza se llevó a cero para registrar solo el peso del agua captada por el mismo. Este proceso permitió seguir el aumento de peso debido a la deposición de agua sobre el fruto hasta el momento de producirse el escurrimiento, registrándose la máxima capacidad de retención o “punto de goteo”. Se realizaron cuatro repeticiones por fruto.

El análisis estadístico de los resultados utilizando el software InfoStat (2009) permitió la realización de una curva de regresión simple, para predecir la máxima capacidad de retención de agua en frutos de entre 90 y 240 g.



**Figura 3.1.** Dispositivo utilizado para medir la capacidad de retención de agua sobre los frutos. **A:** Vista general; **B:** Recinto de vapor; **C:** Fruto colgando de la balanza dentro del recinto de vapor.

### 3.3. Ensayo 2: Cantidad de depósito en frutos y efectividad de control de podredumbres

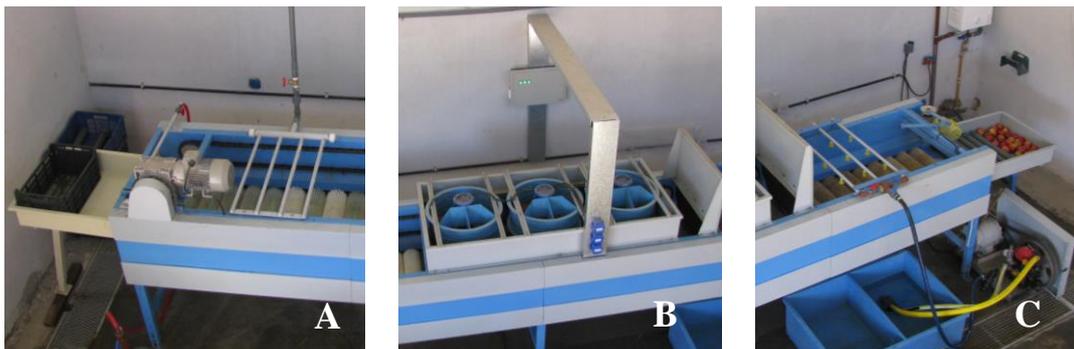
Se evaluó la cantidad de depósito en frutos y la efectividad de control de podredumbres utilizando diferentes condiciones de aplicación, sobre un módulo de lavado experimental (MLE) fabricado *ad hoc*.

#### 3.3.1. Módulo de lavado experimental

Las características del MLE son semejantes a las del equipamiento utilizado en los establecimientos de empaque a nivel comercial. Tiene una longitud total de 5,2 m y un ancho de 0,7 m. Cuenta con 40 cepillos que rotan a una velocidad constante de 70 rpm, sobre los cuales se realiza el lavado y los tratamientos fitosanitarios a la fruta.

El avance de la fruta se lleva a cabo con un sistema acarreador mediante bandas de goma unidas por medio de cadenas que empujan a la fruta sobre los cepillos a una velocidad constante de  $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

El módulo experimental se compone de tres sectores (Figura 3.2.) donde la fruta es sometida a diferentes tratamientos: En el primer sector, se realiza el lavado de la fruta mediante una ducha de agua con detergente y luego un enjuague por una ducha con agua limpia. A continuación, un sector de presecado compuesto por un sistema de escurridores en la parte inferior de los cepillos y tres ventiladores axiales en la parte superior, los cuales son accionados a través de un motor trifásico de 1,12 kW. El último sector corresponde al tratamiento fitosanitario, el cual se puede realizar mediante un sistema de pulverización con boquillas, o con un sistema de ducha en la línea. Debajo de este sector de tratamiento, se dispone de un depósito para la captación del líquido excedente, por lo cual el sistema puede recuperar el caldo de tratamiento para su recirculación.



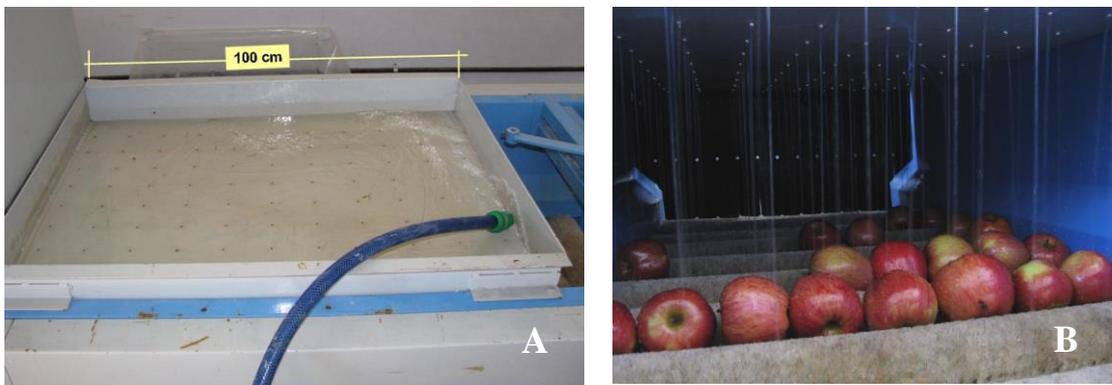
**Figura 3.2.** Sectores del módulo de lavado experimental. **A:** Lavado con detergente y posterior enjuague con agua limpia; **B:** Sistema de presecado mediante ventiladores axiales; **C:** Realización de tratamientos fitosanitarios

El sistema de aplicación con boquillas de pulverización (Figura 3.3.) cuenta con 3 barras paralelas distanciadas a 18 cm entre sí, con 3 porta-boquillas cada una. Cada barra puede operar en forma independiente, lo que permite trabajar con 3, 6 o 9 boquillas, lo que permite modificar el volumen de tratamiento, lo que además podría expresarse en distintas tasas de aplicación.



**Figura 3.3.** Sistema con boquillas de pulverización. **A:** Vista superior; **B:** Vista frontal.

El sistema de ducha en la línea (Figura 3.4.) permite tratar la fruta mediante una lluvia de caldo a presión atmosférica. Esta lluvia se genera por el pasaje del líquido a través de perforaciones en una bandeja de 100 cm de largo por el ancho del módulo de lavado. Las perforaciones son de 3 mm de diámetro y distanciadas a 7,5 cm por 9 cm entre ellas.



**Figura 3.4.** Sistema de ducha en la línea. **A:** Vista superior; **B:** Vista frontal.

### 3.3.2. Tratamientos

Para la evaluación de la cantidad de depósito en frutos y de efectividad de control de podredumbres se realizaron diferentes tratamientos considerando 3 tipos de boquillas con 2 presiones de trabajo y 2 volúmenes de tratamiento para cada una de ellas. Se realizó un arreglo factorial que resultó en 12 tratamientos. Además, se evaluó el sistema de tratamiento mediante ducha en la línea, totalizando 13 tratamientos (Tabla 3.1.).

**Tabla 3.1.** Tratamientos ensayados considerando tres tipos de boquillas (abanico plano (AP); cono hueco (CH) e inducción de aire (IA)), dos presiones de trabajo (alta y baja) y dos volúmenes de tratamiento (3 y 9 boquillas), más el tratamiento con el sistema de ducha en la línea (DL).

<b>Tratamiento</b>	<b>Boquilla</b>	<b>Presión</b>	<b>Volumen (Nº boquillas)</b>
<b>1</b>	AP	alta	3
<b>2</b>	AP	alta	9
<b>3</b>	AP	baja	3
<b>4</b>	AP	baja	9
<b>5</b>	CH	alta	3
<b>6</b>	CH	alta	9
<b>7</b>	CH	baja	3
<b>8</b>	CH	baja	9
<b>9</b>	IA	alta	3
<b>10</b>	IA	alta	9
<b>11</b>	IA	baja	3
<b>12</b>	IA	baja	9
<b>13</b>	DL	-	-

### 3.3.2.1. Boquillas utilizadas

A) Boquilla de pulverización tipo abanico plano (Figura 3.5.A), con un caudal nominal de  $0,40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  a 3 bares de presión y con un ángulo de pulverización de  $80^\circ$ . Las presiones recomendadas por el fabricante se encuentran entre 2 y 4 bares, para tratamientos de cobertura total en aplicación de herbicidas, insecticidas, fungicidas y reguladores de crecimiento a campo. Las presiones recomendadas para estas boquillas pueden ser alcanzadas por las bombas centrífugas normalmente utilizadas en los establecimientos de empaque de nuestra región.

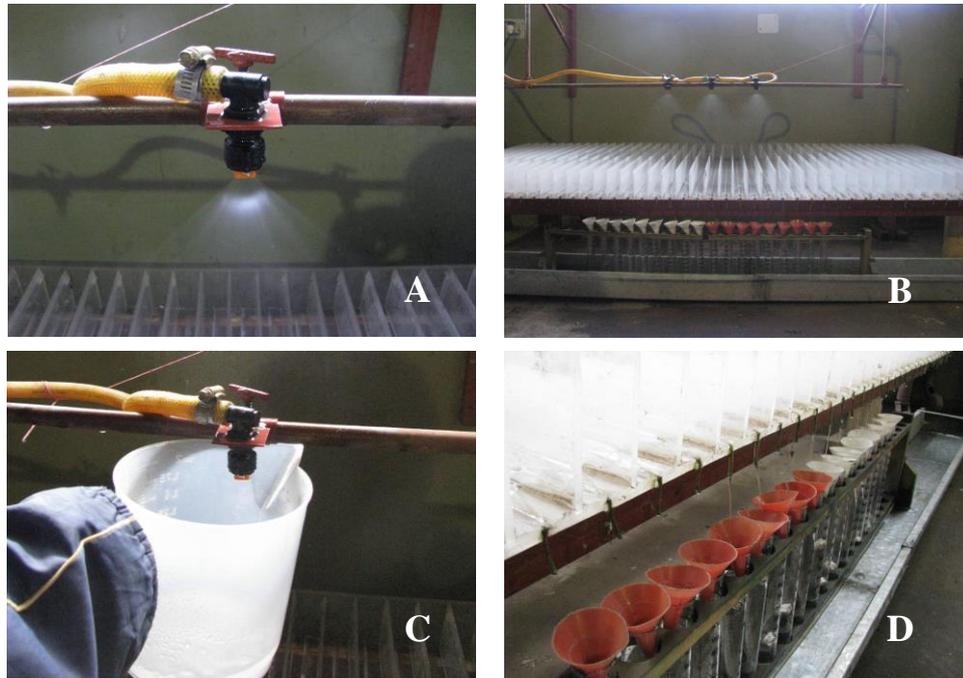
B) Boquilla de pulverización tipo cono hueco (Figura 3.5.B), con un caudal nominal de  $0,27 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  a 3 bares de presión y un ángulo de pulverización de  $80^\circ$ . Al igual que la anterior, es una boquilla recomendada para la aplicación de fungicidas, insecticidas y reguladores de crecimiento en cobertura total de cultivos. A diferencia de la boquilla anterior, las presiones de trabajo recomendadas son de 8 a 15 bares. Estas presiones de trabajo no pueden alcanzarse con bombas centrífugas, por lo cual para el ensayo se utilizó una bomba volumétrica de membranas marca Annovi Reberber, modelo AR50.

C) Boquilla de pulverización tipo abanico plano con inducción de aire (Figura 3.5.C), con un caudal nominal de  $0,60 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  a 3 bares de presión y un ángulo de pulverización de  $110^\circ$ . Esta boquilla produce gotas de mayor tamaño que las anteriores, lo que permite disminuir la deriva cuando se la utiliza para aplicación a campo de fungicidas, insecticidas o reguladores de crecimiento. La presión de trabajo recomendada por el fabricante es de 2 a 4 bares.



**Figura 3.5.** Boquillas de pulverización utilizadas. **A:** Abanico plano (AP); **B:** Cono hueco (CH); **C:** Abanico plano con inducción de aire (IA).

Se realizó un ensayo (Figura 3.6.) para verificar la uniformidad de caudal, el tipo de distribución y la variación del caudal en función de la presión, de los tres tipos de boquillas utilizadas. Este ensayo se desarrolló de acuerdo a las especificaciones de la norma ISO 5682-1:1996 “Equipamiento para protección vegetal – Equipo de pulverización - Parte 1: Métodos para evaluación de boquillas de pulverización”



**Figura 3.6.** Ensayo de caracterización de las boquillas. **A:** Boquilla pulverizando; **B:** Vista del banco de prueba de boquillas; **C:** Medición del caudal con jarra plástica graduada; **D:** Medición de la distribución con probetas.

Los materiales utilizados para este ensayo de caracterización de las boquillas fueron:

- Banco de prueba de boquillas
- Balanza electrónica con precisión de 0,1 g
- Jarras plásticas graduadas 1 L
- Cronómetro con precisión de 0,01 s
- Probetas 0,1 L
- Manómetro con graduación cada 0,5 bar

Los resultados del ensayo se presentan en el ANEXO de la presente tesis.

### 3.3.2.2. Presión de trabajo

Las dos presiones de trabajo (baja y alta) para cada tipo de boquilla fueron seleccionadas dentro del rango recomendado por el fabricante. Además, las presiones fueron seleccionadas de forma que los caudales erogados fueran similares entre las boquillas, para permitir la comparación entre ellas. Las presiones seleccionadas se presentan en la Tabla 3.2.

### 3.3.2.3. Volumen de los tratamientos

Para modificar el volumen aplicado entre los diferentes tratamientos se incrementó el número de boquillas de 3 a 9, según sean 1 o 3 las barras del sistema de aplicación que se encontraran operando en cada caso (Figura 3.3.). El volumen erogado por cada boquilla por unidad de tiempo (caudal), según las especificaciones de fábrica, se presenta en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Presión baja y alta seleccionada para cada tipo de boquilla ensayada y caudales erogados con las mismas, según las especificaciones de fábrica.

Boquilla	Presión (bar)	Caudal (L.min <sup>-1</sup> )
Abanico Plano	2	0,380
	4	0,490
Cono Hueco	6	0,355
	10	0,457
Inducción de Aire	2	0,475
	4	0,697

### 3.3.3. Determinaciones realizadas

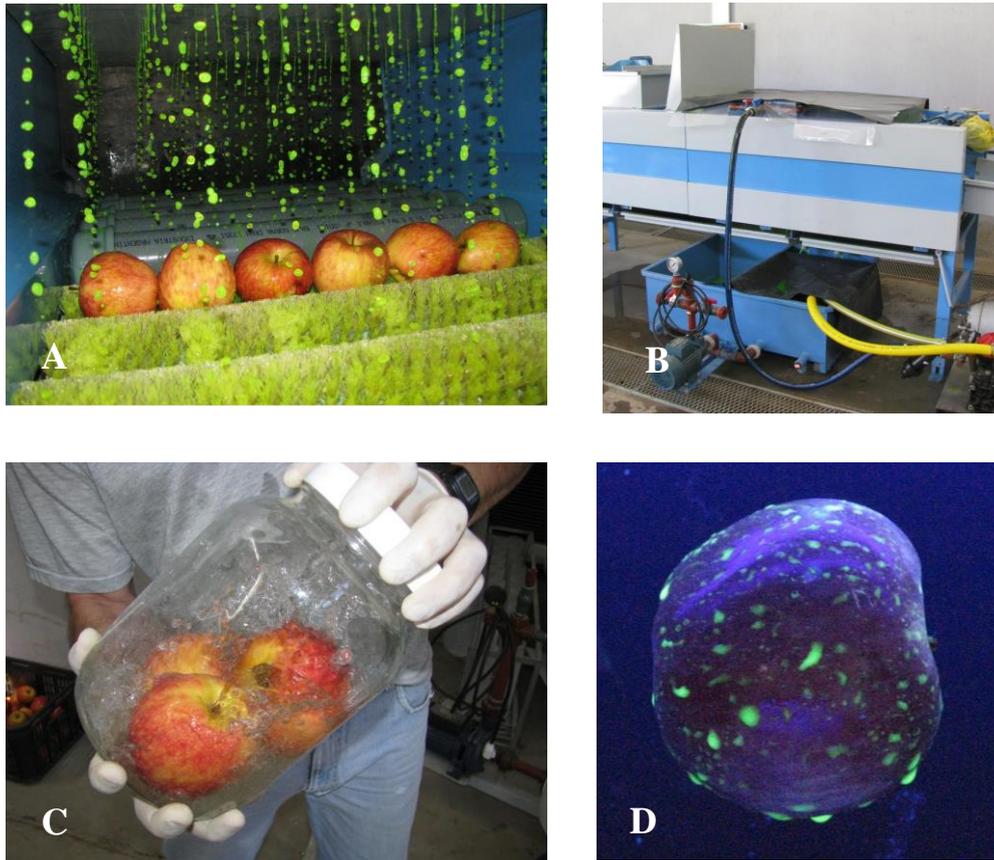
#### 3.3.3.1. Evaluación de la cantidad de depósito en frutos

Para evaluar los depósitos se utilizó como trazante Natrisol Sódico (NS) (Fluorescein Sodium Salt, SIGMA). La variable respuesta fue cantidad de trazante por unidad de peso de fruta (ppm).

Se evaluó el depósito logrado por los tratamientos descritos en la Tabla 3.1. Para ello, en el módulo de lavado experimental se trataron las manzanas utilizando un caldo preparado con una concentración de 20 ppm de NS y  $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{hL}^{-1}$  del fungicida captan (Captan Ando FLO 37SC; S. Ando y CIA. S.A.) (Figura 3.7.A). El fungicida se agregó al caldo para permitir que el mismo tenga las mismas características físicas que el caldo utilizado en el ensayo de evaluación de la efectividad de control de podredumbres que se describe más adelante. Estas características físicas solo pueden ser comparables si se utiliza la formulación comercial y a la misma concentración del producto utilizado en dicha evaluación. Con respecto al cambio en las propiedades físicas que podría conferir el NS, se menciona lo observado por Palladini *et al.* (2005) quien afirma que a las concentraciones utilizadas del trazante no se producen cambios físicos significativos en el caldo.

Durante el ensayo, el caldo fue recirculado, por lo que todos los tratamientos se realizaron con la misma concentración de NS y de fungicida. Para evitar posibles pérdidas en la concentración de NS por fotosensibilidad, se cubrió el tramo del módulo de lavado correspondiente al tratamiento y el depósito de caldo con polietileno negro de  $100 \mu\text{m}$  de espesor (Figura 3.7.B).

Los frutos fueron previamente clasificados por tamaño y se trabajó con frutos de similar tamaño, entre 120 y 180 g.



**Figura 3.7.** Evaluación de depósitos en frutas. **A:** Realización de tratamiento con NS; **B:** Polietileno negro para evitar pérdidas por fotosensibilidad; **C:** Lavado de frutos tratados; **D:** Fruto tratado con NS y expuesto a luz negra.

Cada repetición se realizó con 6 frutos, de los cuales se seleccionaron 3 al azar luego de realizado el tratamiento. Estos 3 frutos fueron colocados en un recipiente de vidrio identificado y luego se lavaron con 0,5 L de agua mediante agitación manual durante 1 minuto.

La concentración de la solución obtenida fue analizada con un fluorímetro marca Kontrom SFM 25, el cual fue programado con una frecuencia de excitación de 488 nm y una frecuencia de emisión de 512 nm. Se utilizó una solución patrón de NS con una concentración de 0,3 ppm como valor de referencia del fluorímetro.

Para expresar la cantidad de NS por unidad de peso de fruta (ppm), cada fruto fue pesado en una balanza electrónica.

Para el análisis estadístico de los resultados en la cantidad de depósito se utilizó el software InfoStat (2009). Se realizó en primera instancia un análisis de la varianza entre los 13 tratamientos en un diseño completamente aleatorizado, con 6 repeticiones de

3 frutos cada una. Se utilizó el test a posteriori de Scott Knott debido al elevado número de tratamientos.

Posteriormente, para la evaluación de los tratamientos con boquillas, se planteó un arreglo trifactorial cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + T_k + (BP_{ij}) + (BT_{ik}) + (PT_{jk}) + (BPT_{ijk}) + \varepsilon_{ijkl} \quad (\text{Ecuación 3.1.})$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = variable respuesta asociada a la i-ésima boquilla, a la j-ésima presión de trabajo, al k-ésimo número de boquillas y a la l-ésima repetición

$\mu$  = media general del modelo

$B_i$  = i-ésima boquilla con  $i= 1, 2, 3$

$P_j$  = j-ésima presión de trabajo con  $j=1,2$

$T_k$  = k-ésimo número de boquillas con  $k=1,2$

$BP_{ij}$  = interacción entre la i-ésima boquilla y la j-ésima presión de trabajo

$BT_{ik}$  = interacción entre la i-ésima boquilla y el k-ésimo número de boquillas

$PT_{jk}$  = interacción entre la j-ésima presión de trabajo y el k-ésimo número de boquillas

$BPT_{ijk}$  = interacción entre la i-ésima boquilla, la j-ésima presión de trabajo y el k-ésimo número de boquillas

$\varepsilon_{ijkl}$  = error aleatorio de la i-ésima boquilla, j-ésima presión de trabajo, el k-ésimo número de boquillas y de la l-ésima repetición

Con  $\varepsilon \sim iidN(0, \sigma^2)$

Todos los análisis asociados y comprobación de supuestos básicos se realizaron con un 5% de significación. Para la comparación de los factores evaluados se utilizó el test a posteriori de LSD Fisher.

### 3.3.3.2. Evaluación de la efectividad de control de podredumbres

Para evaluar la efectividad de control de podredumbres las manzanas se trataron en el módulo experimental de lavado con los tratamientos descritos en la Tabla 3.1. utilizando el fungicida captan (Captan Ando FLO 37SC, S. Ando y CIA. S.A.) a la concentración de  $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{hL}^{-1}$  de agua. La dosis resultante en cada tratamiento quedó determinada por la relación entre el volumen aplicado, la concentración de principio activo en el caldo y la cantidad de fruta tratada.

Antes de realizar los tratamientos, cada manzana fue herida 2 veces mediante un punzón cónico de aproximadamente 1 mm de profundidad y 1 mm de diámetro. Luego, cada herida fue inoculada con  $15 \mu\text{L}$  de una suspensión de concentración  $1 \times 10^4$  esporas. $\text{mL}^{-1}$  de *P. expansum* y se dejó secar durante 2 a 4 horas a  $20^\circ\text{C}$  (Figura 3.7.).



**Figura 3.7.** Evaluación de la efectividad de control de podredumbres. **A:** Ajuste de la concentración de la suspensión de *P. expansum* mediante recuento en cámara Thoma; **B:** Realización de heridas artificiales en los frutos; **C:** Heridas inoculadas con  $15 \mu\text{L}$  de suspensión del hongo.

Luego de realizado cada tratamiento en el módulo de lavado, se mantuvieron los frutos a temperatura ambiente durante 14 días y se evaluó el porcentaje de heridas con síntomas de podredumbre por *P. expansum*, considerada como variable respuesta. Posteriormente, este valor fue corregido mediante la ecuación de Abbott (1925) y se expresó el resultado como porcentaje de eficacia en el control.

El ensayo se repitió 3 veces después de 30, 90 y 150 días de almacenamiento de la fruta a  $0,5^\circ\text{C}$ . Para el análisis estadístico de los resultados del porcentaje de eficacia de control se utilizó el software InfoStat (2009). Se realizó en primera instancia un análisis de la varianza (ANOVA) entre los 13 tratamientos en un diseño completamente aleatorizado,

con 4 repeticiones de 5 frutos cada una. Posteriormente, para la evaluación de los tratamientos con boquillas, se planteó un arreglo trifactorial cuyo modelo estadístico fue presentado en el punto anterior. Todos los análisis asociados y comprobación de supuestos básicos se realizaron con un 5% de significación.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Ensayo 1: Capacidad de retención de agua sobre la superficie de los frutos

En la Tabla 4.1. se presentan los valores correspondientes a la máxima capacidad de retención de agua (g) sobre la superficie de frutos de distinto tamaño.

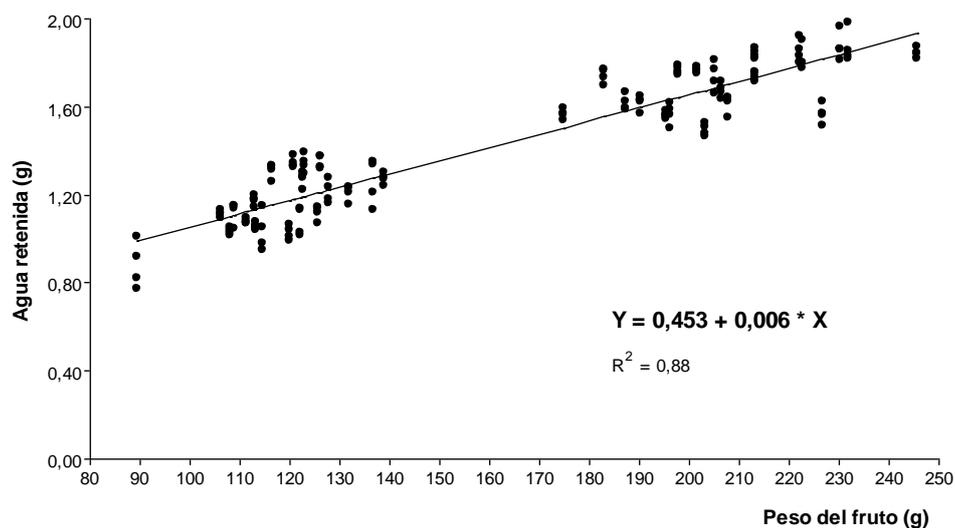
**Tabla 4.1.** Máxima cantidad de agua retenida por frutos de diferentes tamaños.

Tamaño	Peso fruto (g)	n	Agua retenida por fruto (g)			
			Media	D.E.	Mín	Máx
Chico	90 a 140	80	1,16	0,14	0,77	1,39
Grande	180 a 240	80	1,71	0,13	1,47	1,98

D.E.: Desvío Estándar

El peso de los frutos evaluados fue de 90 a 240 g. Debido a la mayor superficie absoluta de los frutos más grandes, la cantidad de agua retenida fue superior comparada con los frutos de menor tamaño. La variabilidad expresada en términos de D.E. entre los valores de agua retenida fue similar para ambos grupos de tamaño de fruto.

En base a los resultados obtenidos, se realizó una regresión lineal que relaciona la máxima capacidad de retención de agua respecto al peso de los frutos (Figura 4.1.). La regresión lineal resultó altamente significativa ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ), con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,88.



**Figura 4.1.** Máxima capacidad de retención de agua en función del peso de los frutos.

Este análisis permitió predecir la máxima capacidad de retención de agua para frutos de diferentes pesos. Además, se calculó el porcentaje de agua retenida con respecto al peso del fruto (Tabla 4.2.).

**Tabla 4.2.** Máxima capacidad de retención de agua calculada sobre la superficie de frutos de diferente peso.

<b>Peso fruto (g)</b>	<b>Agua retenida (g)</b>	<b>Agua retenida (% peso del fruto)</b>
100	1,05	1,05
125	1,20	0,96
150	1,35	0,90
175	1,50	0,86
200	1,65	0,83
225	1,80	0,80
250	1,95	0,78

Debido a que la relación entre la superficie y el peso de los frutos aumenta a medida que disminuye el tamaño de los mismos, los frutos más chicos poseen una mayor capacidad de retención en porcentaje de agua comparado con los frutos más grandes.

Los porcentajes calculados de agua retenida por los frutos presentan valores entre 1,05 % para los frutos más chicos y 0,78 % para los más grandes. Estos valores son similares a los observados por Sepulveda (1998).

En estos ensayos de retención se observó además que, cuando se supera la máxima capacidad de retención de agua sobre la superficie de los frutos, se genera coalescencia de gotas y pérdida de las mismas por escurrimiento. Como consecuencia de lo mencionado anteriormente se puede inferir que un fruto sólo puede retener sobre su superficie una cantidad limitada del líquido aplicado cuando es tratado con un volumen de líquido que supera su capacidad de retención. Esta cantidad no puede superarse aumentando la tasa o el tiempo del tratamiento. El aumento de la tasa de aplicación podría influir en la cantidad de líquido retenido solamente cuando el volumen aplicado es menor que la capacidad de retención de los frutos (Koch y Weisser, 1995) pero, una vez que la misma es superada, se produce escurrimiento y la cantidad de líquido retenido se mantiene constante (Coscollà, 2008). En tal sentido, Lee *et al.* (1984) observaron que los depósitos del antiescaldante difenilamina obtenidos sobre frutos de manzana tratados mediante baños de 30 segundos no se incrementaron con baños más prolongados. Más aún, según Cross *et al.* (2001) el escurrimiento podría ocasionar una disminución de la cantidad de líquido retenido luego de un tratamiento.

Koch y Weisser (1995) observaron que el proceso de formación del depósito sobre la superficie de las plantas está directamente relacionado con la capacidad de retención de las mismas y la concentración del producto en el líquido pulverizado. Por lo tanto se podría concluir que, conociendo la máxima capacidad de retención de un fruto y la concentración de principio activo del caldo asperjado, podría estimarse el depósito teórico máximo que se puede obtener para ese fruto y tratamiento realizado.

Esta predicción podría ser realizada mediante la siguiente expresión:

$$D_t = CR_m * C / P \quad (\text{Ecuación 4.1.})$$

Donde:

$D_t$  = Depósito teórico máximo (ppm)

$CR_m$  = Capacidad de retención máxima para un fruto de peso P (g)

C = Concentración de principio activo en el caldo (ppm)

P = Peso del fruto (g)

Sin embargo, las consideraciones teóricas mencionadas han sido en su mayoría desarrolladas para tratamientos sobre superficies vegetales a campo. Para los tratamientos realizados en la línea de empaque existen diversos factores que podrían condicionar la retención total de caldo sobre el fruto y en consecuencia afectar la formación del depósito resultante del tratamiento. Entre ellos, el rozamiento de la fruta contra la superficie de los diferentes sectores de la línea posteriores al tratamiento, podría representar uno de los factores de pérdida de agroquímico más importante. Por lo tanto, el depósito real sobre los frutos resulta en valores significativamente inferiores al depósito teórico máximo calculado. Para los tratamientos realizados en la línea de empaque, habría que incorporar un coeficiente de eficiencia de la aplicación en la ecuación 4.1. Este coeficiente podría variar entre 0 y 1 dependiendo, entre otras causas, de la naturaleza de la molécula del plaguicida, la formulación, el tipo de aplicación, la morfología y naturaleza de la superficie del fruto (Coscollà, 2008). Asimismo, se deben considerar aspectos inherentes al diseño de la línea de empaque tales como el tiempo transcurrido entre el tratamiento y el secado del fruto, la cantidad de cepillos luego del tratamiento, el largo total de la línea de proceso, etc.

Para los tratamientos realizados en la línea de empaque la ecuación 4.1. resultaría de la siguiente manera:

$$D_r = (CR_m * C / P) * E \quad (\text{Ecuación 4.2.})$$

Donde:

$D_r$  = Depósito real (ppm)

$CR_m$  = Capacidad de retención máxima para un fruto de peso P (g)

C = Concentración de principio activo en el caldo (ppm)

P = Peso del fruto (g)

E = Eficiencia de la aplicación (entre 0 y 1)

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, esta sería la primera ecuación que permite estimar el depósito de principio activo en la fruta luego de un tratamiento fitosanitario.

La aplicación de estos conceptos podría tener implicancias prácticas en la predicción del depósito que se puede obtener sobre los frutos al realizar un tratamiento fitosanitario en una línea de empaque comercial. Para alcanzar este objetivo, se debería determinar la eficiencia del tratamiento en dicha línea y los valores de capacidad de retención máximos de la fruta procesada. Para estimar la eficiencia del tratamiento se debería contar con un número de análisis de depósitos estadísticamente representativo y aplicar el modelo representado en la ecuación 4.2. para calcular el valor de eficiencia (E). En el presente trabajo, según se presenta más adelante (apartado 4.2.), se utilizó el trazante fluorescente Natrisol Sódico (NS) para determinar la eficiencia de los distintos sistemas de aplicación evaluados en el módulo de lavado experimental. En futuros trabajos de investigación sería pertinente trabajar sobre la validación comercial de estos coeficientes.

Es importante mencionar que en el presente estudio los valores de capacidad de retención máxima fueron determinados para manzanas Red Delicious, utilizando agua pura y tamaños de gotas muy pequeños, originados de la evaporación de agua en ebullición. Estos aspectos deben ser considerados particularmente, ya que el tamaño de las gotas puede afectar la cantidad de depósito (Smith *et al.*, 2000). Además, las formulaciones de los agroquímicos tienen una serie de aditivos que pueden modificar en forma más o menos significativa las propiedades físicas del caldo. La tensión superficial del líquido afecta la mojabilidad y, si bien esta característica puede mejorar la eficiencia de cobertura, también puede afectar la capacidad de retención del mismo. Yuri *et al.* (1995) observaron que la fruta tratada con una solución preparada con tensioactivos presentó una menor capacidad de retención que sin ellos. Las características de la epidermis de los frutos también podrían afectar la capacidad de retención. Lee *et al.* (1984) encontraron diferencias en los depósitos de difenilamina obtenidos mediante baños, entre las diferentes variedades de manzana ensayadas.

Se considera interesante para futuros ensayos la determinación de la capacidad de retención máxima de diferentes especies y variedades, utilizando formulaciones comerciales de distintos productos fitosanitarios, con el objeto de estimar e identificar los cambios en la capacidad de retención.

## 4.2. Ensayo 2: Cantidad de depósito en frutos y efectividad de control de podredumbres

### 4.2.1. Cálculo de los volúmenes aplicados

En la Tabla 4.3. se presentan los valores de caudal de cada boquilla y tiempo de tratamiento medidos durante el ensayo. Con estos valores se calculó el volumen total aplicado en cada uno de los tratamientos realizados.

**Tabla 4.3.** Volumen total aplicado en cada tratamiento realizado.

Tratam.	Boquilla	Presión (bares)	Volumen (Nº boq.)	Caudal * (L.min <sup>-1</sup> )	Tiempo (s)	Volumen (L)
1	AP	4	3	0,421	4,4	0,093
2	AP	4	9	0,421	11,0	0,695
3	AP	2	3	0,301	3,7	0,056
4	AP	2	9	0,301	9,1	0,411
5	CH	10	3	0,457	8,0	0,183
6	CH	10	9	0,457	14,6	1,001
7	CH	6	3	0,338	6,2	0,105
8	CH	6	9	0,338	12,8	0,649
9	IA	4	3	0,610	4,4	0,134
10	IA	4	9	0,610	11,0	1,007
11	IA	2	3	0,426	3,7	0,079
12	IA	2	9	0,426	9,1	0,581
13	DL	-	-	29,425	20,0	9,808

**AP:** Boquilla de abanico plano; **CH:** Boquilla de cono hueco; **IA:** Boquilla de abanico plano con inducción de aire; **DL:** Ducha en la línea.

\* Caudal de la boquilla medido en el ensayo de caracterización de boquillas (Anexo).

#### 4.2.2. Cantidad de depósito en frutos

En la Tabla 4.4. se presenta el depósito medio del trazante natriol sódico (NS) y el coeficiente de variación para cada uno de los tratamientos evaluados. El mayor depósito de NS fue 0,12 ppm y correspondió al tratamiento de ducha en la línea (Tratamiento 13). Los tratamientos con boquillas de pulverización presentaron un depósito significativamente menor que varió entre 0,06 y 0,09 ppm. Se observa una baja variabilidad de los resultados dentro de cada tratamiento y entre los mismos.

**Tabla 4.4.** Depósito de natriol sódico (NS) en manzana Red Delicious tratada con una solución a 20 ppm del trazante, según diferentes condiciones de aplicación.

Tratamiento	Boquilla	Presión	Volumen (N° boq.)	NS (ppm)	C.V.
1	AP	alta	3	0,078 a	26,3
2	AP	alta	9	0,085 a	19,7
3	AP	baja	3	0,073 a	14,4
4	AP	baja	9	0,072 a	8,7
5	CH	alta	3	0,087 a	15,8
6	CH	alta	9	0,082 a	16,2
7	CH	baja	3	0,060 a	20,5
8	CH	baja	9	0,082 a	12,1
9	IA	alta	3	0,075 a	18,7
10	IA	alta	9	0,077 a	17,5
11	IA	baja	3	0,075 a	19,8
12	IA	baja	9	0,076 a	9,1
13	DL	-	-	0,115 b	20,4

Letras distintas indican diferencia significativa según Scott Knott ( $\alpha = 0,05$ ).

**C.V.:** Coeficiente de Variación. **AP:** Boquilla de abanico plano; **CH:** Boquilla de cono hueco; **IA:** Boquilla de abanico plano con inducción de aire; **DL:** Ducha en la línea.

Según el concepto de máxima capacidad de retención desarrollado precedentemente y aplicando la ecuación 4.1., se puede estimar el depósito teórico máximo para los frutos ensayados. Para un peso promedio de 150 g, la máxima capacidad de retención sería de 1,35 g (Tabla 4.2.). Considerando que los tratamientos se realizaron con una solución de NS a una concentración de 20 ppm, el depósito teórico máximo es:

$$D_t = 1,35 \text{ g} * 20 \text{ ppm} / 150 \text{ g}$$

$$D_t = 0,18 \text{ ppm}$$

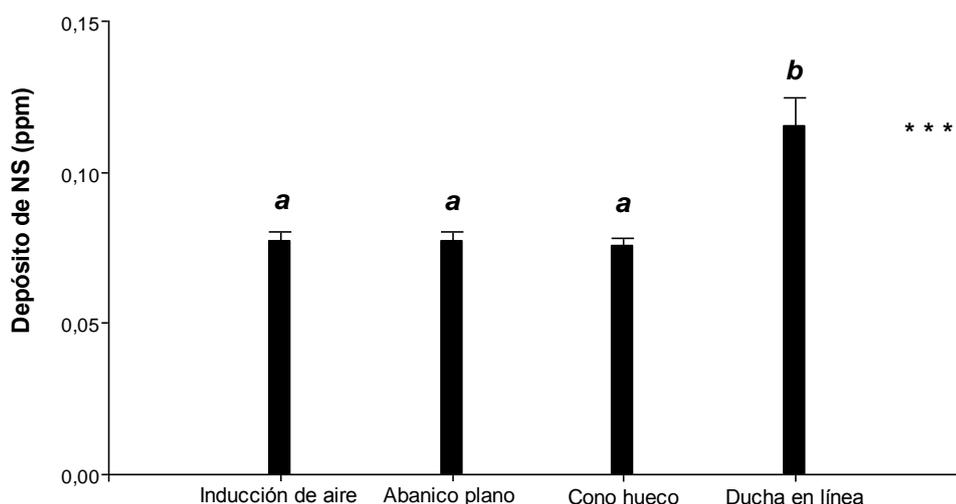
Sin embargo, este depósito estimado estaría asociado con una eficiencia de tratamiento del 100% y como puede observarse en la Tabla 4.3., ningún tratamiento alcanzó dicho valor. Como ya se mencionó anteriormente, existen diferentes factores que condicionan la retención total de caldo sobre el fruto y afectan la eficiencia de la aplicación en la línea de empaque. El valor de eficiencia (E) para los tratamientos evaluados se podría calcular a partir de la ecuación 4.2.:

$$E = D_r * 150 \text{ g} / (1,35 \text{ g} * 20 \text{ ppm})$$

En base a los valores de depósitos ( $D_r$ ) de la Tabla 4.4., se obtienen valores de eficiencia de 0,66 para el tratamiento de ducha en la línea y de 0,33 a 0,50 para los tratamientos con boquillas de pulverización.

Resulta importante señalar que en el presente estudio las muestras de fruta se tomaron en el sector correspondiente al último cepillo del módulo experimental de lavado, inmediatamente después de realizada la aplicación del trazante NS. Por esta razón, los frutos solo estuvieron expuestos a las pérdidas de caldo debidas al contacto con los cepillos. Los rozamientos posteriores, tal como ocurriría en una línea de empaque comercial, provocarían nuevas y mayores pérdidas. Por lo expresado, los valores de eficiencia calculados anteriormente deben considerarse sólo como valores máximos de referencia que difícilmente podrían alcanzarse en las condiciones de trabajo de los empaques comerciales.

Del análisis comparativo de la cantidad de NS (ppm) entre los tres tipos de boquillas y el sistema de ducha en la línea, se observa que el tratamiento correspondiente a la ducha en la línea resultó con una diferencia significativamente superior ( $p = <0,0001$ ) al compararlo con los otros tres tipos de boquillas mediante el test a posteriori de Fisher LSD (Figura 4.2.).

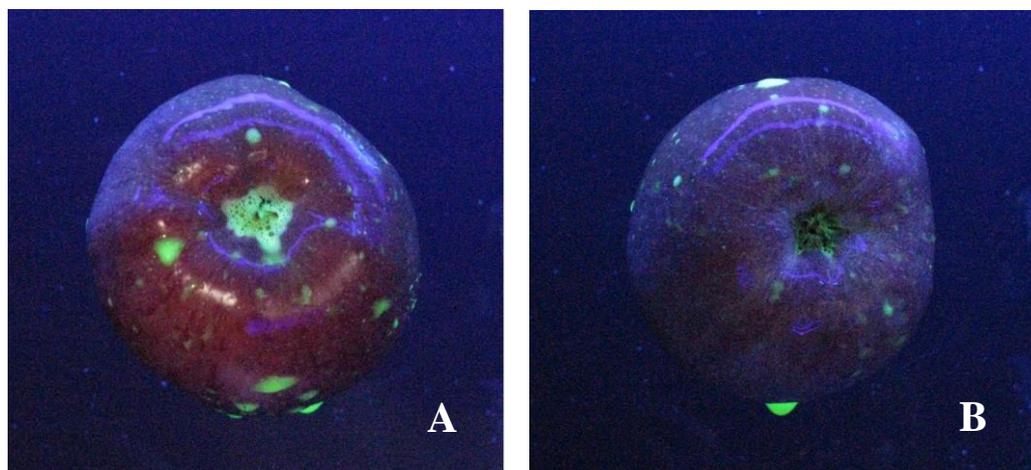


**Figura 4.2.** Depósitos de nitrato sódico (NS) en manzanas Red Delicious tratadas con una solución a 20 ppm del trazante, según los diferentes tratamientos realizados.

\*\*\*: Diferencia altamente significativa con p-valor <0,001. Letras distintas difieren según LSD Fisher.

Como ya fue explicado anteriormente, los frutos expuestos a diferentes tratamientos con volúmenes de caldo superiores a su capacidad de retención, pueden retener como máximo un volumen equivalente a la misma. En las condiciones del presente ensayo y en función de los volúmenes aplicados (Tabla 4.3.) se puede afirmar que todos los tratamientos superaron la capacidad de retención de los frutos. Consecuentemente y de acuerdo a lo expresado por Coscollá (2008), no se debería esperar diferencias en los niveles de depósitos entre los tratamientos. La diferencia en la cantidad de depósito obtenida entre los tratamientos con boquillas y el realizado mediante ducha en la línea podría explicarse observando las condiciones en que se realizaron los mismos. Las muestras de fruta fueron tomadas en el sector del último cepillo, después de realizar cada tratamiento. Debido al diseño del equipo, el tratamiento de ducha se realiza sobre un área de acción mayor y por lo tanto termina más cerca del último cepillo comparado con los tratamientos con boquillas (Figuras 3.2. y 3.3.). Estos aspectos fueron observados durante la etapa de ajuste de la metodología y, para normalizar el proceso de ensayo, se dejó rodar la fruta en el sector del último cepillo durante 10 segundos antes de tomar la muestra de cada tratamiento. Sin embargo, aun tomando estas precauciones metodológicas, en el tratamiento con ducha se observó que el último cepillo se encontraba más embebido que en el resto de los tratamientos con boquillas. Esta podría ser la razón por la cual los frutos del tratamiento con DL resultaron con mayor cantidad de líquido retenido, sobre todo en las cavidades naturales del fruto (cáliz y pedúnculo). Esta

situación se pudo visualizar exponiendo los frutos tratados con NS al efecto de la luz negra (Figura 4.3.).



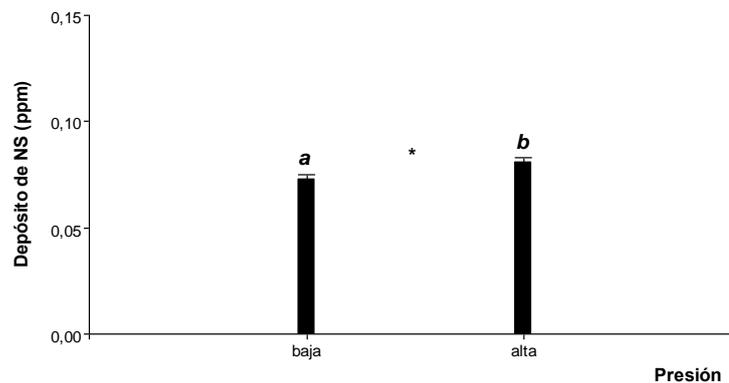
**Figura 4.3.** Caldo con NS retenido por un fruto tratado con sistema de ducha en la línea (A) y con sistema de boquillas (B), expuesto al efecto de la luz negra .

A diferencia de lo ocurrido en el módulo de lavado experimental, en una línea de empaque comercial los frutos continuarían transitando las siguientes etapas del proceso (secado, clasificación, tamañado, etc.) perdiendo parte del caldo de tratamiento por escurrimiento y rozamiento. Sin embargo, la verificación de esta hipótesis *ad hoc* supera los objetivos de la presente tesis. Se considera que este análisis podría aportar información de interés comercial, por lo que debería ser motivo de futuras investigaciones.

Adaskaveg (2007) obtuvo mayores depósitos del fungicida fludioxonil (Scholar® 23 SC) en peras tratadas con bajo volumen de caldo (6.7 L por cada 10.000 kg de fruta), respecto de aquellas tratadas con alto volumen (42 L por cada 10.000 kg de fruta). Estos resultados parecieran diferir con los obtenidos en la presente investigación. Sin embargo, en aquel trabajo, se aumentó la concentración del caldo en los tratamientos con bajo volumen con el objetivo de mantener constantes las dosis entre ambos tipos de tratamiento. En las condiciones de la presente investigación, la concentración del caldo se mantuvo constante y, debido a que en todos los casos se superó la capacidad de retención de los frutos, se asume que la dosis “directa” (Koch, 1993), es decir aquella que fue efectivamente retenida por los frutos, resulta constante entre los distintos tratamientos. De acuerdo a lo expresado por Koch y Weisser (1995) y según lo analizado en la ecuación 4.1., la concentración del caldo de tratamiento está directamente

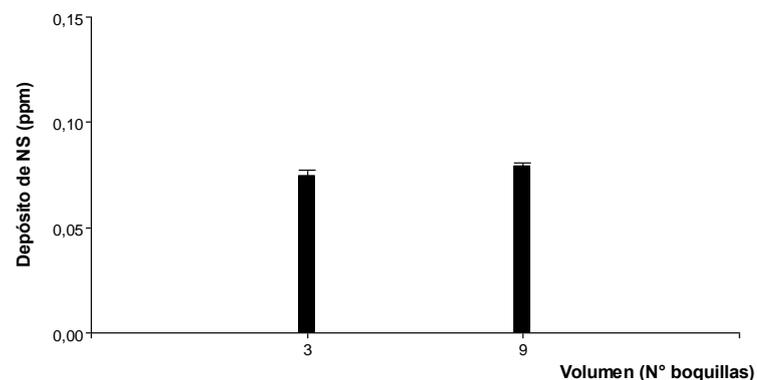
relacionada con el depósito final sobre los frutos. Esto podría explicar las diferencias obtenidas en el presente trabajo respecto de Adaskaveg (2007).

Para realizar la comparación entre los tratamientos realizados con diferentes boquillas de pulverización, se planteó un análisis de la varianza trifactorial con interacción entre los factores: tipo de boquilla, presión y volumen del tratamiento. Del análisis surge que no hubo una interacción entre estos factores y solamente resultó significativo el factor presión ( $p$ -valor = 0,021) (Figura 4.4.). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos realizados con diferentes volúmenes (Figura 4.5.).



**Figura 4.4.** Depósito de natriol sódico (NS) en manzanas Red Delicious tratadas con una solución a 20 ppm del trazante, utilizando boquillas de pulverización a diferentes presiones.

\*: Diferencia significativa con  $\alpha = 0,05$ . Letras distintas difieren según LSD Fisher.



**Figura 4.5.** Depósito de natriol sódico (NS) en manzanas Red Delicious tratadas con una solución a 20 ppm del trazante, utilizando diferente volumen de pulverización.

#### 4.2.3. Efectividad de control de podredumbres

Debido a que la fruta utilizada en cada uno de los ensayos fue almacenada durante diferentes períodos de tiempo, es esperable que la evolución de su madurez haya disminuido su resistencia interna contra las enfermedades (Sommer, 1985a; Creemers, 1998; Tian, 2007; Bertolini, 2008). Estas apreciaciones se corresponden con los porcentajes de heridas que presentaron síntomas de podredumbre en los frutos testigo de cada uno de los ensayos realizados (Tabla 4.5.). Con el objetivo de poder comparar los resultados obtenidos entre los ensayos, los porcentajes de heridas podridas en cada tratamiento fueron ajustados en base a la corrección propuesta por Abbott (1925), quedando expresados los resultados en porcentaje de efectividad de control.

**Tabla 4.5.** Índices de madurez de la fruta utilizada después del período de almacenamiento a 0,5°C y porcentaje de heridas con síntomas de podredumbre por *P. expansum* en frutos testigo para cada uno de los ensayos.

Ensayo	Período de almacenamiento (días)	Índices de madurez				Heridas podridas en testigo (%)
		Firmeza (lb)	SST (%)	AT (g.L <sup>-1</sup> )	DA (%)	
1	30	15,3	10,5	2,7	100	72
2	90	13,2	12,5	2,5	100	95
3	150	12,4	12,8	2,5	100	95

Firmeza: medida con presiómetro electrónico con émbolo de 11 mm (FTA 14 Guss); SST: sólidos solubles totales, medido con refractómetro digital (PAL1 Atago); AT: acidez titulable, medido por titulación con NaOH 0,1N hasta punto final pH=8,2; DA: degradación de almidón, medido con tinción de los frutos con lugol.

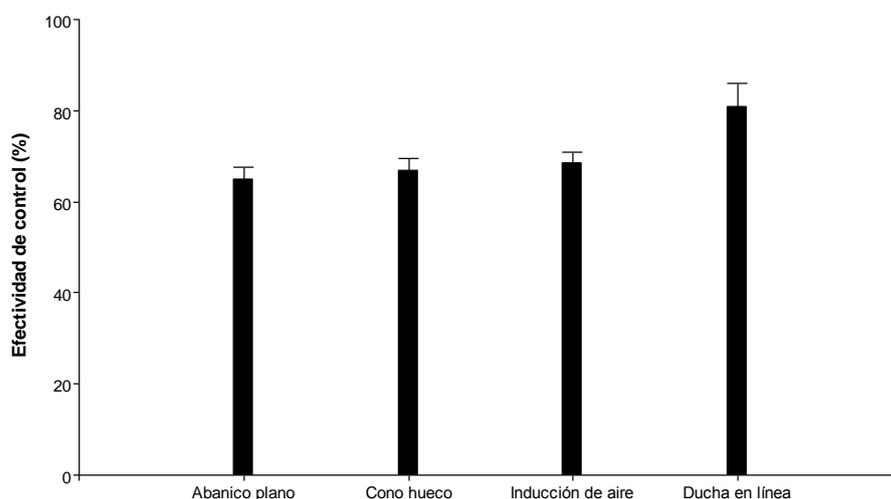
En la Tabla 4.6. se presentan los porcentajes de efectividad de control de *P. expansum* obtenidos con los diferentes tratamientos, para cada uno de los ensayos realizados. Como se puede observar, no se manifestaron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, en todos los ensayos el tratamiento de ducha en la línea resultó ser más efectivo para controlar la podredumbre que los tratamientos realizados con el sistema de pulverización con boquillas.

**Tabla 4.6.** Efectividad de control de los diferentes tratamientos después de 14 días a 20°C en manzana Red Delicious heridos, inoculados con *P. expansum* y tratados con Captan FLO a 500 cm<sup>3</sup>.hL<sup>-1</sup>, según diferentes condiciones de aplicación.

Tratamiento	Boquilla	Presión	Volumen (N° boq.)	Ensayo 1 (%)	Ensayo 2 (%)	Ensayo 3 (%)
1	AP	alta	3	72,4	65,8	55,3
2	AP	alta	9	89,7	76,3	57,9
3	AP	baja	3	69,0	65,8	36,8
4	AP	baja	9	55,2	78,9	55,3
5	CH	alta	3	75,9	71,1	55,3
6	CH	alta	9	89,7	60,5	39,5
7	CH	baja	3	79,3	73,7	47,4
8	CH	baja	9	69,0	65,8	68,4
9	IA	alta	3	82,8	76,3	55,3
10	IA	alta	9	62,1	73,7	55,3
11	IA	baja	3	69,0	65,8	63,2
12	IA	baja	9	69,0	81,6	65,8
13	DL	-	-	89,7	84,2	73,7
<i>Significancia</i>				NS	NS	NS

Efectividad calculada según Abbott (1925). NS: diferencia no significativa con  $\alpha = 0,05$ . **AP**: boquilla de abanico plano; **CH**: boquilla de cono hueco; **IA**: boquilla de abanico plano con inducción de aire; **DL**: ducha en la línea.

Realizando un análisis comparativo del porcentaje de efectividad de control entre los tres tipos de boquillas y el sistema de ducha en la línea, se observa que el sistema de ducha en la línea incrementó el control de la enfermedad en alrededor del 12% en promedio, respecto de los tratamientos con boquillas de pulverización (Figura 4.6.). Si bien la diferencia no alcanza la significancia estadística (p-valor 0,07), este beneficio del sistema de DL podría representar un alto impacto económico si se considera que las pérdidas de poscosecha acarrearán costos acumulados de producción, cosecha, etc. (Eckert y Sommer, 1967; Janisiewicz, 1996).



**Figura 4.6.** Efectividad de control promedio, luego de 14 días a 20°C en frutos de manzana Red Delicious heridos, inoculados con *P. expansum* y tratados con Captan FLO a  $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{hL}^{-1}$  según diferentes condiciones de tratamiento.

Los resultados obtenidos en el presente ensayo concuerdan con los obtenidos por Adaskaveg *et al.* (2005), Adaskaveg (2007) y Förster *et al.* (2007), quienes obtuvieron un control más efectivo de enfermedades de poscosecha en fruta de pepita y carozo tratada con un sistema de ducha de alto volumen, respecto de aquella tratada con bajo volumen de caldo.

La cantidad de ingrediente activo que permanece sobre la superficie vegetal determina el depósito resultante del tratamiento fitosanitario (Marer, 1988; Coscollà, 2008) y es uno de los factores determinantes del éxito en la práctica de control fitosanitario (Palladini *et al.*, 2005). Como se presentó anteriormente, el sistema de ducha en la línea resultó con un mayor depósito del trazante fluorescente NS (y por lo tanto de fungicida), respecto de los tratamientos realizados con boquillas, lo cual podría explicar el mayor control de la enfermedad logrado con este sistema de aplicación. Sin embargo, Adaskaveg (2007) demostró que un mayor nivel de depósito no necesariamente implica un control más efectivo de *P. expansum* y *B. cinerea* en peras, sino que el volumen aplicado sería el factor determinante de la eficiencia de control.

Por todo lo expuesto, la justificación de la mayor efectividad del sistema de DL no se puede sustentar exclusivamente en la cantidad de depósito retenido sobre la superficie de los frutos. Probablemente, un sistema de aplicación de alto volumen favorezca la capacidad de penetración del fungicida dentro de las pequeñas heridas de los frutos aumentando el contacto entre el agroquímico y las esporas del hongo, permitiendo que se exprese la acción biocida de aquel.

Los sistemas de ducha en la línea se utilizaron antiguamente en los empaques de la región, pero fueron reemplazados luego por los actuales sistemas con boquillas de pulverización. Este reemplazo se debió a la asociación de los primeros con resultados desfavorables en el control de podredumbres y con el peligro de generación de cepas de hongos resistentes a los fungicidas (Aragón, comunicación personal). Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten inferir que las deficiencias de control atribuidas al sistema de ducha en la línea pudieron ser consecuencia de manejos técnicos inadecuados y no a la ineficacia propia del sistema.

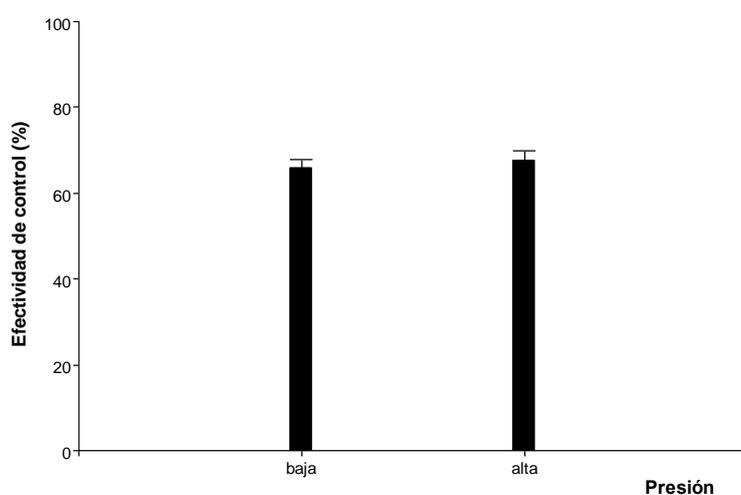
Un sistema de tratamiento de ducha como el evaluado en el presente estudio, debe contemplar la recirculación del líquido de tratamiento, de lo contrario resultaría económicamente insostenible e incompatible desde el punto de vista ambiental.

A diferencia del sistema de ducha de bines, como el que se utiliza cuando la fruta llega al establecimiento de empaque luego de la cosecha (Sanderson, 1999; Janisiewicz *et al.*, 2005; Rosenberg, 2010), el sistema de ducha en la línea presenta algunas ventajas que permitirían minimizar la contaminación del caldo de tratamiento. Entre ellas (Figura 2.2.), se pueden mencionar: a) El hidroiinmersor tiene la función de vaciar los bines, no obstante la adición de productos desinfectantes en el agua permite disminuir la cantidad de inóculo presente en la superficie de la fruta (Vero, 2010), b) La etapa de preclasificación permite detectar y descartar frutos podridos, evitando que las esporas de hongos presentes en su superficie contaminen el caldo de tratamiento (Kupferman, 1986), c) El lavado con detergente y posterior enjuague con agua limpia en el módulo de lavado, contribuye a la remoción de materia orgánica y microorganismos de la superficie de la fruta, d) Además, algunos fungicidas de poscosecha han demostrado ser estables en soluciones con productos desinfectantes, como por ejemplo el cloro, a las concentraciones de uso comunes de ambos productos. Esto permitiría incluir estos desinfectantes en el caldo de tratamiento para reducir la posibilidad de presencia de inóculo en el mismo (Adaskaveg, 2007). En función de lo mencionado precedentemente, se puede señalar que existen diversas técnicas que se podrían emplear para minimizar los riesgos asociados con la utilización de un sistema de tratamiento con recirculación del líquido.

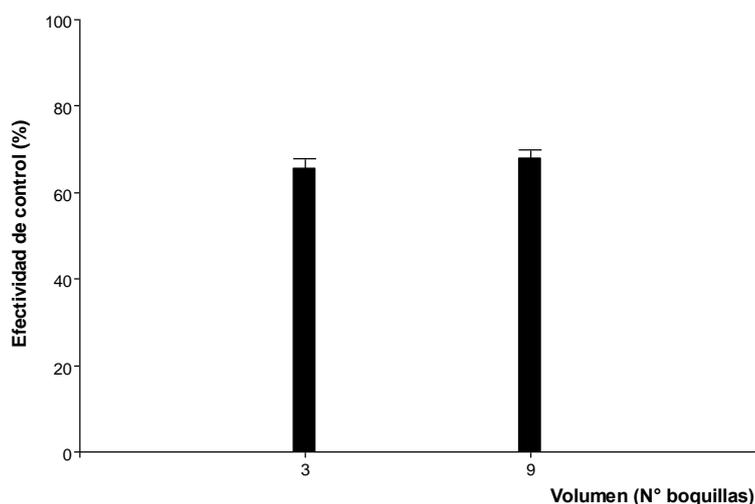
Adicionalmente, se podría mencionar como estrategia de manejo técnico, la utilización de un sistema de ducha en la línea solo durante los primeros meses del año, cuando se procesa fruta recientemente cosechada (“en caliente”), o con muy poco tiempo de conservación. En estas condiciones, la fruta procesada generalmente no presenta síntomas de podredumbre importantes, reduciéndose aun más la posibilidad de contaminar el caldo de tratamiento. Este podría ser el caso del trabajo de las peras, o de algunas variedades de manzanas.

Para validar esta metodología de aplicación, resulta necesario determinar la cantidad de fruta que se podría tratar en una línea de empaque, con un volumen de caldo determinado. Esto debería ser considerado para planificar futuros estudios sobre la temática.

Se realizó además una comparación de la efectividad de control utilizando las diferentes boquillas de pulverización. Para ello, se planteó un análisis de la varianza trifactorial con interacción entre los factores: tipo de boquilla, presión y volumen de tratamiento. No se encontraron diferencias significativas en función de cada uno de estos factores, ni entre sus interacciones (Figuras 4.7. y 4.8.).



**Figura 4.7.** Efectividad de control luego de 14 días a 20°C en frutos de manzana Red Delicious heridos, inoculados con *P. expansum* y pulverizados con Captan FLO a  $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{hL}^{-1}$  según diferentes presiones de trabajo.



**Figura 4.8.** Efectividad de control luego de 14 días a 20°C en frutos de manzana Red Delicious heridos, inoculados con *P. expansum* y pulverizados con Captan FLO a  $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{hL}^{-1}$  según diferentes volúmenes de tratamiento.

Si bien el análisis comparativo de la efectividad de control entre las boquillas resultó sin diferencias estadísticas significativas, de la experiencia surgida de los ensayos podrían mencionarse algunas ventajas de las boquillas de abanico plano, respecto de los otros dos tipos de boquillas:

Las boquillas de cono hueco están recomendadas por el fabricante para trabajar a presiones más elevadas, entre 5 y 20 bares. Esto implica un mayor consumo de potencia y desgaste del sistema de pulverización (Magdalena, 1993). Por otra parte, estas presiones no pueden alcanzarse con las bombas centrífugas comúnmente utilizadas en los empaques de la región. Por ello, en el presente estudio se utilizó una bomba volumétrica de membranas. Además, trabajando a estas presiones, la fina pulverización generada produjo una importante deriva del caldo de tratamiento que podría representar un riesgo para los operarios del empaque y una pérdida de caldo innecesaria, si no se prevé algún sistema de cerramiento del sector de tratamiento. Trabajando a presiones más bajas que las recomendadas, la distribución de estas boquillas resulta muy irregular (Anexo). Si bien se considera que la necesidad de cambiar la bomba centrífuga por una de membranas, o de prever un cerramiento en el sector de tratamiento, no representarían un costo limitante para la adopción de estas boquillas, el empleo de las mismas no ofrece ninguna ventaja por lo que no se justificaría su utilización.

Las boquillas con inducción de aire no presentan los problemas mencionados para las boquillas de cono hueco, ya que trabajan a presiones más bajas, producen una pulverización más gruesa y no generan deriva de producto. Sin embargo, el mayor caudal

de líquido erogado, así como un costo significativamente superior de estas boquillas sin un incremento en el control de las podredumbres, según los resultados de los ensayos realizados, no justificarían tampoco la recomendación de este tipo de boquillas.

Asimismo, aumentar el número de barras de pulverización de 1 a 3 (3 boquillas a 9 boquillas), o la presión de trabajo, no resultaron en un control más efectivo de la enfermedad (Figuras 4.7. y 4.8.).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la aplicación con boquillas de abanico plano, utilizando una sola barra y una presión baja dentro del rango recomendado por el fabricante, podría ser la mejor opción para la aplicación de fungicidas mediante pulverización en la línea de empaque de fruta de pepita.

## **5. CONCLUSIONES**

### **5.1. Respuesta a las hipótesis planteadas**

Dentro de las condiciones planteadas en la presente investigación para el sistema de aplicación mediante pulverización con boquillas, la combinación entre el tipo de boquilla, la presión de trabajo y el volumen de tratamiento, no afectaron el nivel de depósito ni la eficacia de control de podredumbres de poscosecha en frutas de pepita. El uso de una sola barra de boquillas de tipo abanico plano trabajando a una presión baja dentro del rango recomendado por el fabricante, resultó la mejor opción para minimizar la deriva, así como el consumo de producto y de energía.

El sistema de tratamiento mediante ducha en la línea resultó más efectivo para controlar las enfermedades que el sistema con boquillas de pulverización.

### **5.2. Otros conocimientos generados**

La ecuación " $D_r = (CR_m * C / P) * E$ " presentada en esta tesis permite estimar el depósito de principio activo en la fruta luego de realizar un tratamiento fitosanitario. Esto se considera de interés para las empresas regionales, debido a las exigencias de límites máximos de residuos (LMR) cada vez más restrictivas al momento de la comercialización de la fruta.

Los valores de eficiencia (E) de la aplicación calculados, de 0,66 para el tratamiento de ducha en la línea y de 0,33 a 0,50 para los tratamientos con boquillas de pulverización, resultan valores máximos de referencia que se pueden considerar para las aplicaciones de fitosanitarios en las líneas de empaque de pepita.

### 5.3. Futuras investigaciones

Otras líneas interesantes para continuar investigando son:

- Determinar la capacidad de retención máxima para diferentes especies y variedades, utilizando formulaciones comerciales de distintos productos fitosanitarios, con el objetivo de estimar los depósitos de principio activo resultantes de los tratamientos fitosanitarios.

- Calcular los valores de eficiencia (E) de aplicación en diferentes líneas de empaque comerciales para estimar los depósitos de principio activo luego de un tratamiento fitosanitario.

- Evaluar a escala comercial el sistema de aplicación mediante ducha en la línea y determinar la relación entre el volumen de caldo y la cantidad de fruta que se podría tratar sin comprometer la efectividad de control del tratamiento.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 265-267.
- Adaskaveg, J. 2007. Management of gray mold and blue mold of stored pears in California. Jornada: Evento lanzamiento Scholar®. General Roca, Argentina.
- Adaskaveg, J.; Forster, H.; Doug Gubler, W.; Teviotdale, B.; Thompson, D. 2005. Reduced-risk fungicides help manage brown rot and other fungal diseases of stone fruit. *California Agriculture* 59: 109-114.
- Aragón, J.; Barnes, N.; Colodner, A; Di Masi, S.; Franco, C.; Giambelluca, A; Miracca, C.; Salvador, E.; Sánchez, D.; Sanoner, C.; Sosa, M.C. 2010. Enfermedades de postcosecha. Pera William's: Manual para el productor y empacador / coord. Enrique E. Sánchez. 1ra. ed. Gral. Roca, Río Negro AR : Erregé. Cap. 13, p. 138-157.
- Baert, K.; Devlieghere, F.; Bo, L.; Debevere, J.; De Meulenaer, B. 2008. The effect of inoculum size on the growth of *Penicillium expansum* in apples. *Food Microbiology* 25: 212-217.
- Bertolini, P. 2008. Apuntes del Curso: Control eco-compatible de enfermedades del cultivo y de la conservación de la producción de frutales de clima templado-frío. Maestría y especialización en fruticultura de clima templado frío, 1ra. edición, 2007-2008.
- Biale, J. B. 1964. Growth, maturation and senescence in fruits. *Science* 146: 880-888.
- Boller, W.; Schlosser, J. F. 2010. Consideraciones operativas de las boquillas pulverizadoras. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO" (107RT0319). Cap. 7, p. 89-95.
- Bondoux, P. 1992. Maladies de conservation des fruits à pèpins, pommes et poires. INRA and PHM (revue horticole), Paris, France, 173 p.
- Bowles, D.J. 1990. Defense related proteins in higher plants. *Annual Review of Biochemistry* 59: 873-907.
- Brown, G.; Mawk, P.; Craig, J. 1988. Pallet treatment with benomyl of citrus fruit on trucks for control of *Diplodia* stem-end rot. *Proceedings Florida State Horticultural Society* 101: 187-190.

- Byers, R.; Hogmire, H.; Ferrere, D.; Hall, F.; Donahue, S. 1989. Spray chemical deposits in high-density and trellis apple orchards. *HortScience* 24: 918-920.
- Cabras, P.; Angioni, A.; Caboni, P.; Garau, V. L.; Melis, M.; Pirisi, F. M.; Cabitza, F. 2000. Distribution of folpet on the grape surface after treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 915-916.
- Castillo, B. 2010. Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas. *Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO" (107RT0319). Cap. 4, p. 55-65.*
- Chaim, A.; Nunes Maia, A.; Young Pessoa, M. 1999. Estimativa da deposição de agrotóxicos por análise de gotas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34 (6): 963-969.
- Chalutz, E.; Wilson, C.L. 1990. Postharvest biocontrol of green and blue mold and sour rot of citrus fruit by *Debryomyces hansenii*. *Plant Disease* 74:134-37.
- CIATI, INTA, CAFI. 2010. Productos químicos para poscosecha de peras y manzanas: temporada 2010/2011. Gacetilla de prensa / INTA EEA Alto Valle, enero 2011. <http://www.inta.gov.ar/altovalle/novedades.htm> "consulta 26/07/2011".
- Colodner, A.; Di Masi, S. 2010. Determinación de la efectividad de Penbotec™ 40 SC (pyrimethanil) frente a *Penicillium expansum* y *Botrytis cinerea*, en tratamientos de poscosecha de fruta de pepita. Informe técnico INTA Alto Valle.
- Conway, W.S. 1991. Postharvest calcium treatment of apple fruit to provide broad-spectrum protection against postharvest pathogens. *Plant disease*, 75: 620-622.
- Cooke, B.K.; Hislop, E.C. 1993. Spray tracing techniques. Application technology for crop protection. UK, CAB International. Cap 2: 85-100.
- Coscollà, R. 2008. Residuos de productos fitosanitarios. Servicio de sanidad vegetal y protección fitosanitaria. Dirección general de investigación y tecnología agroalimentaria. Generalitat Valenciana.
- Creemers, P. 1998. Lutte contre les maladies de conservation: situation actuelle et perspectives nouvelles. *Le Fruit Belge* 472: 37-49.
- Cross, J.; Walklate, P.; Murray, R.; Richardson, G. 2001. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. *Crop Protection* 20: 13-30.
- Cunningham, G.; Harden, J. 1998. Reducing spray volume applied to mature citrus trees. *Crop Protection* 17 (4): 289-292.

- Decreto Ley 9244. 1963. Reglamento para la producción, tipificación, empaque, identificación y certificación de la calidad y sanidad frutícolas. Ministerio de Economía. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería. Boletín Oficial N° 20.266, p. 1.
- Delage, N.; d'Harlingue, A.; Colonna Ceccaldi, B.; Bompeix, G. 2003. Occurrence of mycotoxins in fruit juices and wine. *Food Control* 14: 225-227.
- Derksen, R.C.; Gray, R.L. 1995. Deposition and air speed patterns of air-carrier apple orchard sprayers. *Transactions of the ASAE* 38: 5-11.
- Di Masi, S. 2007. Evaluación del Scholar® 23SC (fludioxonil) para el control de *Penicillium expansum* en cerezas. Informe técnico INTA Alto Valle.
- Di Masi, S.; Colodner, A. 2006. Control de enfermedades patológicas de frutas de pepita en poscosecha. *Revista Fruticultura & Diversificación* 51: 16-21.
- Di Prinzio, A. 1989. Evaluación de la energía utilizada por dos máquinas pulverizadoras de chorro transportado. Tesis presentada para optar al grado académico de Magíster Scientiae, Maestría en Mecanización Agraria, Universidad Nacional de La Plata. 106 p.
- Di Prinzio, A. 2004. Túnel pulverizador para manzanos de alta densidad. Diseño y calidad de aplicación. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- Di Prinzio, A.; Behmer, S.; Magdalena, J.; Chersicla, G. 2008. Efecto de la presión sobre la calidad de aplicación de agroquímicos en huertos frutales. Comunicado en XXXI Congreso Argentino de Horticultura, Mar del Plata, Buenos Aires.
- Dobra, A.; Rossini, M. 1993. Patógenos de poscosecha: Aspectos epidemiológicos, resistencia a fungicidas y su control. Curso internacional de sanidad en frutales de pepita / INTA EEA Alto Valle. Cap. 11, p. 22.
- Doruchowski, G.; Svensson, S.; Nordmark, L. 1996. Spray deposit within apple trees of differing sizes and geometry at low, medium and high spray volumes. *Acta Hort. (ISHS)* 422: 289-294.
- Droby, S. 2006. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: Difficulties and challenges. *Phytopathology* 39: 105-117.
- Eckert, J.W. 1978. Postharvest disease of fresh fruits and vegetables. *Journal of food biochemistry* 2: 248-254.
- Eckert, J.W. and Ogawa, J.M. 1988. The chemical control of postharvest diseases: deciduous fruits, berries, vegetables and root/tuber crops. *Annual Review of Phytopathology* 26: 433-469.

- Eckert, J.W. and Sommer, N.F. 1967. Control of diseases of fruits and vegetables by postharvest treatment. *Annual Review of Phytopathology* 5: 391-428.
- El-Ghaouth, A. and Wilson, C.L. 1995. Biologically-based technologies for the control of postharvest diseases. *Postharvest News. Inf* 6, 5N-11N.
- Environmental Protection Agency (EPA) 1998. General overview: Reduced risk pesticide program. Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs, Staff Background, Pages 2-4.
- EPPO, 2005. Efficacy evaluation of plant protection products. Dose expression for plant protection products. *EPPO Bulletin* 35, 563-566
- Errampalli, D. 2004. Effect of fludioxonil on germination and growth of *Penicillium expansum* and decay in apple cvs. Empire and Gala. *Crop Protection* 23: 811-817.
- Errampalli, D.; Brubacher, N.; DeEll, J. 2006. Sensitivity of *Penicillium expansum* to diphenylamine and thiabendazole and postharvest control of blue mold with fludioxonil in 'McIntosh' apples. *Postharvest Biology and Technology* 39: 101-107.
- FAO 2007. Anuarios de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Serie de estadísticas mundiales de producciones y precios de manzanas y peras.
- Förster, H.; Driever, G.F.; Thompson, D.C.; Adaskaveg, J.E. 2007. Postharvest decay management for stone fruit crops in California using the "reduced-risk" fungicides fludioxonil and fenhexamid. *Plant Disease* 91: 209-215.
- Frießleben, R.; Roßlenbroich, J.; Elbert, A. 2007. Dose expression in plant protection product field testing in high crops: need for harmonization. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 60: 71-84.
- Gil, E. 2010. Determinación del volumen de aplicación en viña. Alternativas. Presentación en Curso internacional de tecnología de aplicación de productos fitosanitarios. Paysandú, Montevideo, Uruguay.
- Griffiths, E. 1981. Iatrogenic Plant Diseases. *Annual Review of Phytopathology* 19: 69-82.
- Harvey, J.M. 1978. Reduction of Losses in Fresh Market Fruits and Vegetables. *Annual Review of Phytopathology*. 16: 321-341.
- Herregods, M. 1990. Nouveaux développements dans la conservation des fruit. *Le Fruit Belge*, 168-182.

- Homer, I.; Olivet, J.; Riquelme, J. 2010. Regulación de equipos pulverizadores. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO" (107RT0319). Cap. 10, p. 121-131.
- InfoStat (2009). InfoStat version 2009. Grupos InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ippolito, A.; El Ghaouth, A.; Wilson, C.; Wisniewski, M. 2000. Control of postharvest decay of apple fruit by *Aureobasidium pullulans* and induction of defense responses. *Postharvest Biology and Technology* 19: 265-272.
- ISO 5682-1:1996. Equipment for crop protection - Spraying equipment - Part 1: Test methods for sprayer nozzles.
- Janisiewicz, W. 1987. Postharvest biological control of blue mold on apples. *Phytopathology* 78: 194-198.
- Janisiewicz, W. 1988. Biological control of diseases of fruits. *Biocontrol of Plant Diseases*, ed. KG Mukerji, KL Garg, pp. 153–65. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Janisiewicz, W. 1991. Control of postharvest diseases of fruits with biocontrol agents. In *The Biological Control of Plant Diseases*, ed. J Bay-Petersen, pp. 56–68. Taipei, Taiwan: Food Fertil. Technol. Cent. Asian Pac. Reg.
- Janisiewicz, W. 1996. Ecological diversity, niche overlap, and coexistence of antagonists used in developing mixtures for biocontrol of postharvest diseases of apples. *Phytopathology* 86: 473-479.
- Janisiewicz, W. and Korsten, L. 2002. Biological control of postharvest diseases of fruits. *Annual Review of Phytopathology* 40: 411-441.
- Janisiewicz, W. and Roitman, J. 1988. Biological control of blue mold and gray-mold on apples and pears with *Pseudomonas cepacia*. *Phytopathology* 78: 1697-1700.
- Janisiewicz, W.; Peterson, D.; Yoder, K.; Miller, S. 2005. Experimental bin drenching system for testing biocontrol agents to control postharvest decay of apples. *Plant Disease* 89: 487-490.
- Janisiewicz, W.; Usall, J.; Bors, B. 1992. Nutritional enhancement of biocontrol of blue mold on apples. *Phytopathology* 82: 1364-1370.
- Jijakli, M.H. and Lepoivre, P. 2004. State of the art and challenges of postharvest disease management in apples. *Disease Management of Fruits and Vegetables* 1: 59-94.
- Kader, A. 1985. *Postharvest biology and technology: An overview. Postharvest technology of horticultural crops.* Published by University of California, p.3-7.

- Kelman, A. 1989. Introduction: The Importance of Research on the Control of Postharvest Diseases of Perishable Food Crops. *Phytopathology* 79: 1374.
- Koch, H. 1993. Application rate and spray deposit on targets in plant protection. Strasbourg, Annals International Symposium on pesticides application. British Crop Protection Council 2: 175-182.
- Koch, H. 2007. How to achieve conformity with the dose expression and sprayer function in high crops. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 60: 71-84.
- Koch, H. and Weisser, P. 1995. Principal aspects of spray liquid retention and initial deposit formation on targets in plant protection (in German). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 102: 203-210.
- Kupferman, E. 1986. Control of major postharvest apple diseases. *Post Harvest Pomology Newsletter*, 4: [http://www.postharvest.tfrec.wsu.edu/pg\\_Display.php?article=N4I3B](http://www.postharvest.tfrec.wsu.edu/pg_Display.php?article=N4I3B) "consulta 15/11/2010".
- Kupferman, E. 2001. Controlled atmosphere storage of apples and pears. *Postharvest Information Network*: <http://www.postharvest.tfrec.wsu.edu/EMK2000.pdf> "consulta 15/11/2010".
- Lee, S.; Velasquez, A.; Kaplan, H. 1984. Factors influencing diphenylamine residues on apples. *HortScience* 19: 94-95.
- Lefebvre, A. 1993. Droplet production. In: Matthews, G.; Hislop, E. *Application technology for crop protection*. Wallingford: CAB p.85-100.
- Li, H. and Xiao, C. 2008. Baseline sensitivities to fludioxonil and pyrimethanil in *Penicillium expansum* populations from apple in Washington State. *Postharvest Biology and Technology* 47: 239-245.
- Magdalena, J. 2004. Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus doméstica Bork*). Tesis doctoral, Universidad politécnica de Valencia.
- Magdalena, J.; Behmer, S. 2000. Reducción de la Tasa de Aplicación en Perales (*Pyrus communis*) Conducidos en espaldera. *Avances en Ingeniería Agrícola*. Ed. Facultad de Agronomía. UBA.183-186.
- Magdalena, J.; Cichón, L.; Fernandez, D.; Di Prinzio, A. 1995. TRV Aplicación de volúmenes adecuados en cultivos de frutales de pepita. INTA – GTZ. Centro Regional Patagonia Norte, Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, 16 p.

- Magdalena, J.; Di Prinzio, A.; Behmer, S.; Ayala, C. 1993. Factores que afectan la aplicación de agroquímicos en montes frutales. Curso internacional de sanidad en frutales de pepita, General Roca, Río Negro. Cap. 14.
- Magdalena, J.; Fernández, D.; Di Prinzio, A.; Behmer, S. 2010. Pasado y presente de la aplicación de agroquímicos en agricultura. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO" (107RT0319). Cap. 1, p. 17-25.
- Marer, P. 1988. The safe and effective use of pesticides. University of California. Statewide Integrated Pest Management Project. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3324.
- Masiá, G.; Cid, R. 2010. Las boquillas de pulverización. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO" (107RT0319). Cap. 6, p. 77-87.
- Matthews, G. 1984. Pest Management. First Edition Edit. Longman Group Ltd. 221 p.
- Merlo, V. 2001. Análisis técnico económico de la cadena agroindustrial frutícola en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. EEA Alto Valle del INTA 65 p.
- Mitchell, F.G. 1985. Postharvest handling systems: Temperate fruits. Postharvest technology of horticultural crops. Published by University of California, p.143-148.
- Mondino, P.; Di Masi, S.; Falconí, C.; Montealegre, J.; Henríquez, J.; Nunes, C.; Salazar, M.; Stadnik, M.; Vero, S.; Usall, J. 2009. Manual de identificación de enfermedades de manzana en poscosecha, 67 p. Proyecto CYTED 106AC0302 "Desarrollo de tecnologías para manejo integrado (MI) de enfermedades del manzano".
- Musillami, S. 1982. Les traitements par pulverization et les pulverisateurs en agriculture. Cemagref. Numero special regroupant les Etudes Nos. 487, 488, 489-490 et 493.
- Norma ASAE S-572. 2004. Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra. American Society of Agricultural Engineers.
- Nunes, C. 2001. Control biológico de las principales enfermedades fúngicas en poscosecha de fruta de pepita, mediante el uso de *Candida sake* (CPA-1) y *Pantoea agglomerans* (CPA-2). Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. 102 p.
- Nunes, C.; Usall, J.; Teixido, N.; Viñas, I. 2001. Biological control of postharvest pear diseases using a bacterium, *Pantoea agglomerans* CPA-2. International journal of food microbiology 70: 53-61.
- Núñez, S. y García, S. 1998. Recomendaciones generales para la aplicación de plaguicidas. En: Guía para el manejo integrado de plagas y enfermedades en frutales. Boletín de divulgación 66, INIA Las Brujas, p. 107-111.

- Palladini, L.; Raetano, C.; Velini, E. 2005. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. *Sci. Agric.* 62: 440-445.
- Parker, K.C. and Sutton, T.B. 1993. Effect of temperature and wetness duration on apple fruit infection and eradicant activity of fungicides against *Botryosphaeria dothidea*. *Plant Disease* 77: 181-185.
- Pérez, A.; Sanz, C.; Olías, R.; Olías J. 1999. Lipoxygenase and hydroperoxide lase activities in ripening strawberry fruits. *Journal of agriculture and food chemistry* 47: 249-253.
- Planas de Martí, S. 2001. Prevención de la deriva en los tratamientos fitosanitarios. *Vida Rural* 123: 54-57.
- Programa Regional de Madurez para peras y manzanas, temporada 2009 / 2010: Informe final. General Roca: INTA EEA Alto Valle.
- Pusey, P.L. and Wilson, C.L. 1984. Postharvest biological control of stone fruit brown rot by *Bacillus subtilis*. *Plant Disease* 68:753-56.
- Pusey, P.L.; Wilson, C.L.; Hotchkiss, M.W.; Franklin, J.D. 1986. Compatibility of *Bacillus subtilis* for postharvest control of peach brown rot with commercial fruit waxes, dicloran, and cold-storage conditions. *Plant Disease* 70: 587-90.
- Resolución 335/02. Uso del agua en establecimientos de empaque y frigoríficos de fruta. Código de Aguas Ley Q 2952, Libro III. Río Negro.
- Rosenberg, D.A. 2010. Low-volume prestorage drenching is attractive. *Revista Good Fruit Grower*, October 2010.
- Rosenberger, D.A. 1990. Blue mold. In: Jones, A.L., Aldwinckle, H.S. (Eds.), *Compendium of Apple and Pear Diseases*. APS Press, St. Paul, MN, pp. 54-55.
- Rosenberger, D.A.; Meyer, F.W.; VanCamp, K.L. 2001. Efficacy of Captan, Mertect 340F and Scholar for preventing stem-end blue mold in apples. *Fungicide and Nematicide Tests (online.) Report* 58:PF23 DOI:10.1094/FN58. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN
- Salazar, M.; Nunes, C.; Falconí, C.; Montealegre, J.; Stadnik, M.; Mondino, P.; Vero, S.; Di Masi, S.; Colodner, A.; Usall, J. 2009. Guía HACCP para el manejo de manzanas en fresco, 55 p. Proyecto CYTED 106AC0302 "Desarrollo de tecnologías para manejo integrado (MI) de enfermedades del manzano".
- Salyani, M. and Fox, R. 1999. Evaluation of spray quality by oil and water sensitive papers. *Transactions of the ASAE* 42: 37-43.

- Salyani, M. and Whitney, J. 1988. Evaluation of Methodologies for field studies of spray deposition. Transactions of the ASAE 31: 390-395.
- Sanderson, P. 1999. Fungicidal drenches for control of postharvest decay. Goodfruit ó Good Fruit Grower? 50: 53-56.
- Sepúlveda, L.A. 1998. Retención y absorción de soluciones de cloruro de calcio en frutos de manzanos Braeburn aplicadas en pre y postcosecha y su relación con el control de Bitter Pit. Tesis de grado. Universidad de Talca.
- SFPRN Secretaría de Fruticultura de la Provincia de Río Negro. 2007: <http://www.sefrn.gov.ar> "consulta agosto/2010"
- Smelt, J.; Smidt, R.; Huijsmans, J. 1993. Comparison of spray deposition on apple leaves of captan and the dye brilliant sulfoflavine. In: Symposium international sur les techniques d'application des produits phytosanitaires. Annales. Strasbourg: British Crop Protection Council, p.191-197.
- Smilanick, J.L.; Denis-Arrue, R. 1992. Control of green mold of lemons with *Pseudomonas* species. Plant Disease 76: 481-85.
- Smith, D.; Askew, S.; Morris, W.; Shaw, D.; Boyette, M. 2000. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers 43: 255-259.
- Smoot, J.J.; Houck, L.G.; Johnson, H.B. 1971. Market diseases of citrus and other subtropical fruits. U.S. Dep. Agric. Handb. No. 398.
- Snowdon, A.L. 1993. Enfermedades de postcosecha. Curso internacional de sanidad en frutales de pepita / INTA EEA Alto Valle. Cap. 10, p. 10.
- Sommer, N.F. 1982. Postharvest handling practices and postharvest diseases of fruit. Plant Disease 66: 357-363.
- Sommer, N.F. 1985a. Principles of disease suppression by handling practices. In: Postharvest technology of horticultural crops. Published by University of California, p. 75-82.
- Sommer, N.F. 1985b. Strategies for control of postharvest diseases of selected commodities. In: Postharvest technology of horticultural crops. Published by University of California, p. 83-99.
- Sommer, N.F. 1989. Manipulating the Postharvest environment to enhance or maintain resistance. Phytopathology 79:1377-1380.

- Spotts, R.; Sanderson, P.; Lennox, C.; Sugar, D.; Cervantes, L. 1998. Wounding, wound healing and staining of mature pear fruit. *Postharvest Biology and Technology* 13: 27-36.
- Striebeck, G. 1998. Procesamiento de frutas de pepita en la región del Alto Valle. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias, Área Postcosecha Tecnología de Fruta. Apuntes de Cátedra.
- Sugar, D. 1994. Reducing postharvest decay in pears through integrated management. *Proceeding of Washington Tree Fruit Postharvest Conference* 10: 60.
- Sutton, T.; Unrath, C. 1984. Evaluation of the tree-row-volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. *Plant Disease* 68 (6): 480-484.
- Tepper, B. and Yoder, K. 1982. Postharvest chemical control of *Penicillium* blue mold of apple. *Plant Disease* 66: 829-831.
- Tian, S.P. 2007. Management of postharvest diseases in stone and pome fruits crops. A. Ciancio & K. G. Mukerji (eds.), *General Concepts in Integrated Pest and Disease Management* 131-147.
- Tian, S.P. and Bertolini, P. 1999. Effect of temperature during conidial formation of *Monilinia laxa* on conidial size, germination and infection of stored nectarines. *Journal of Phytopathology* 147: 635-641.
- Usall, J.; Teixidó, N.; Abadías, M.; Torres, R.; Cañamas, T.; Viñas, I. 2010. Improving formulation of biocontrol agents manipulating production process. *Plant Pathology* 2: 149-169.
- Usall, J.; Teixido, N.; Torres, R.; Ochoa de Eribe, X.; Viñas, I. 2001. Pilot tests of *Candida sake* (CPA-1) applications to control postharvest blue mold on apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 21: 147-156.
- Van Loon, L.C. 1997. Induced resistance in plants and the role of patogénesis-related proteins. *Plant Pathology* 103: 753-765.
- Vero, S.; Colodner, A.; Di Masi, S.; Garmendia, G.; Falconí, C.; Mondino, P.; Montealegre, J.; Nunes, C.; Salazar, M.; Stadnik, M.; Usall, J. 2010. Guía de higiene para establecimientos manipuladores de frutas frescas, 32p. Proyecto CYTED 106AC0302 "Desarrollo de tecnologías para manejo integrado (MI) de enfermedades del manzano".

- Villalba, J.; Hetz, E. 2010. Deriva de productos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red “PULSO” (107RT0319). Cap. 3, p. 45-54.
- Villarreal, P. 2008. El sistema frutícola regional. INTA EEA Alto Valle. 45 p.
- Villatoro, C.; Lara, I.; Graell, J.; Echeverría, G.; López, M.L. 2009. Cold storage conditions affect the persistence of diphenylamine, folpet and imazalil residues in “Pink Lady” apples. Food Science and Technology 42: 557-562.
- Viñas, I. 1990. Principios básicos de la patología de poscosecha. FRUT 5: 285-292. En Tesis Doctoral “Control biológico de las principales enfermedades fúngicas en poscosecha de fruta de pepita, mediante el uso de *Candida sake* (CPA-1) y *Pantoea agglomerans* (CPA-2), presentada por Nunes, C. 2001.
- Viñas, I.; Usall, J.; Teixido, N.; Sanchis, V. 1998. Biological control of major postharvest pathogens on apple with *Candida sake*. International journal of food microbiology 40: 9-16.
- Weidenbörner, M. 2001. Encyclopedia of food mycotoxins. Springer, Berlin, 294p.
- Wilson, C.L.; Wisniewski, M.E.; Droby, S; Chalutz, E. 1993. A selection strategy for microbial antagonists to control postharvest diseases of fruits and vegetables. Scientia Horticulturae 53: 183-189.
- Xu, X.M. and Berrie, A.M. 2005. Epidemiology of mycotoxigenic fungi associated with *Fusarium* ear blight and apple blue mould: a review. Food Add. Contam 22: 290-301.
- Yuri, J.A.; Moggia, C.; Retamales, J. 1995. Calcio en Pomáceas: La Experiencia Chilena. En: Symposium Internacional Calcio en Fruticultura. ed. Talca. p 105-127.
- Zhou, T.; Chu, C.; Liu, W.; Schaneider, K. 2001. Postharvest control of blue mold and gray mold on apples using isolates of *Pseudomonas syringae*. Plant Pathology 23: 246-252.
- Zubeldía, H. 2007. Breve comentario sobre el sector frutícola regional. Secretaría de fruticultura de la provincia de Río Negro.

## **ANEXO**

### **ENSAYO DE BOQUILLAS DE PULVERIZACION**

El presente ensayo fue realizado de acuerdo a las especificaciones de la norma ISO 5682-1:1996 “Equipamiento para protección vegetal. Equipo de pulverización. Parte 1: Métodos para evaluación de boquillas de pulverización”.

Debido a que el presente trabajo no tiene objetivos comerciales, se omitió intencionalmente mencionar las marcas comerciales o los datos del fabricante de las boquillas ensayadas.

Todas las evaluaciones fueron realizados utilizando agua limpia, con una temperatura del líquido y del aire ambiente de aproximadamente 10°C y 8°C respectivamente y una humedad relativa del aire de 65%.

Se realizaron las siguientes evaluaciones para cada uno de los 3 tipos de boquillas ensayadas:

1. Uniformidad de caudal
2. Variación del caudal con la presión
3. Diagrama de distribución

Las evaluaciones de variación del caudal con la presión y de distribución fueron realizadas con las boquillas más cercanas al valor medio, según la evaluación de uniformidad de caudal.

## 1. Boquillas con distribución tipo cono hueco

### 1.1. Uniformidad de caudal

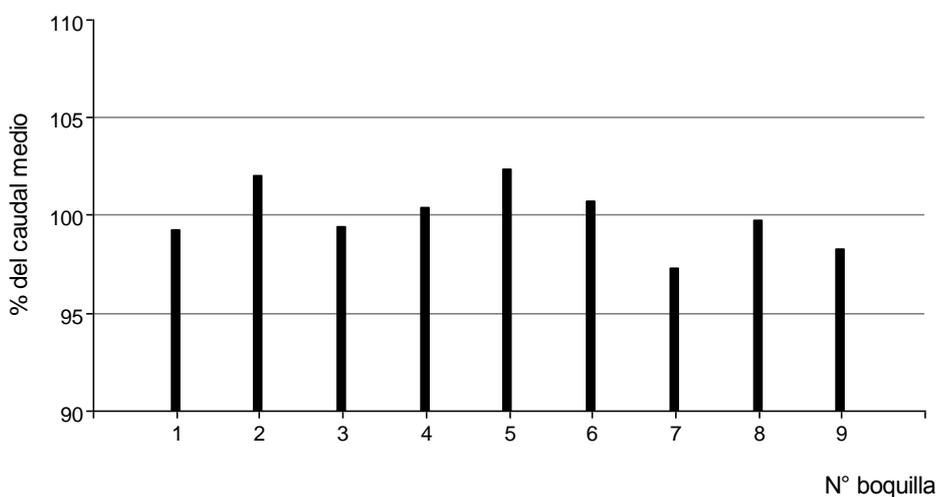
Presión utilizada: 6 bares

Tiempo de medición: 60 s

**Tabla 1.1.** Caudal medido y porcentaje del caudal medio de las boquillas tipo cono hueco a 6 bares de presión.

Nº de boquilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Caudal (L.min <sup>-1</sup> )	0,335	0,345	0,336	0,339	0,346	0,340	0,329	0,337	0,332
Caudal (% del caudal medio)	99,2	102,0	99,4	100,4	102,4	100,7	97,2	99,7	98,2

**Figura 1.1.** Uniformidad de caudal de boquillas tipo cono hueco a 6 bares de presión.



Los resultados muestran que el 100% de las boquillas se encuentran dentro del valor de uniformidad del 5% respecto al valor medio del lote.

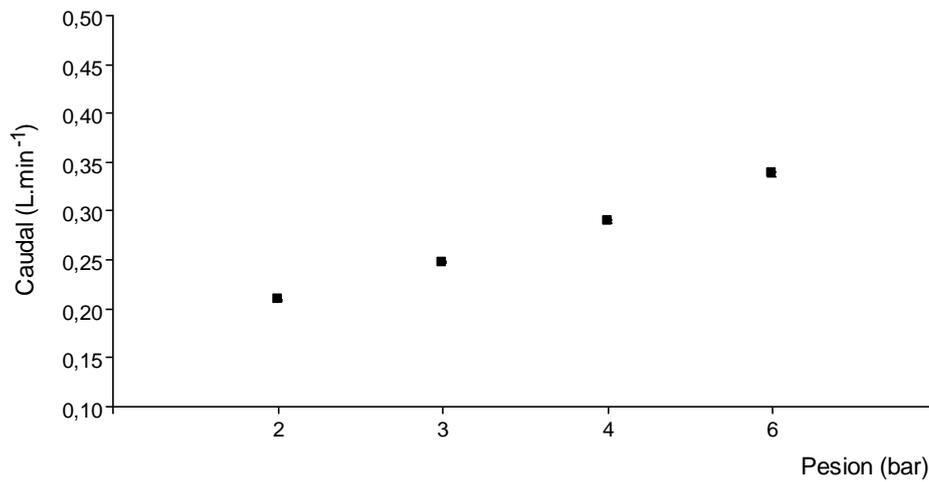
## 1.2. Variación del caudal en función de la presión

Presión utilizada: 2; 3; 4 y 6 bares

**Tabla 1.2.** Variación del caudal en función de la presión para las boquillas de cono hueco

Presión (bares)	2	3	4	6
Caudal (L.min <sup>-1</sup> )	0,209	0,248	0,289	0,338

**Figura 1.2.** Variación del caudal en función de la presión para las boquillas de cono hueco



### 1.3. Distribución de la pulverización

Presión utilizada: 4 y 6 bares

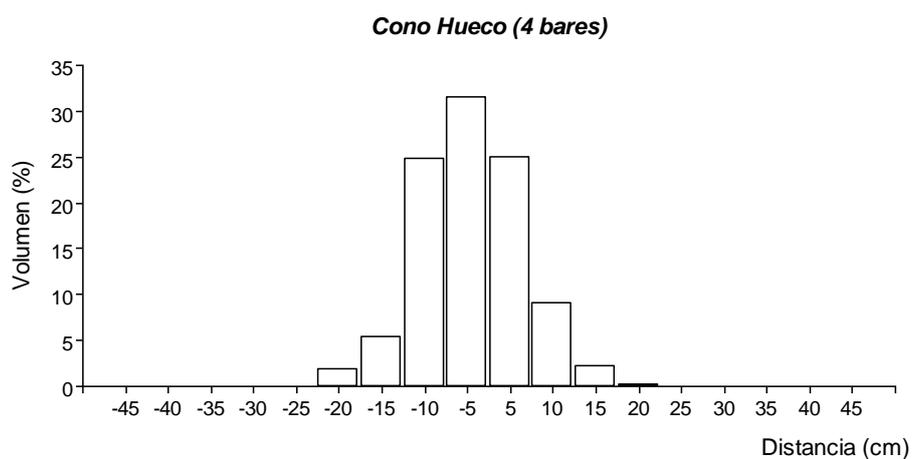
Posición de la boquilla: Altura 310 mm

La recuperación fue interrumpida cuando una probeta alcanzó el 90% de su capacidad.

**Tabla 1.3.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de cono hueco a 4 bares.

A la izquierda		A la derecha	
Distancia	Volumen	Distancia	Volumen
cm	(%)	cm	(%)
0 – 5	31,55	0 – 5	24,94
5 – 10	24,81	5 – 10	8,98
10 – 15	5,36	10 – 15	2,24
15 – 20	1,87	15 – 20	0,25

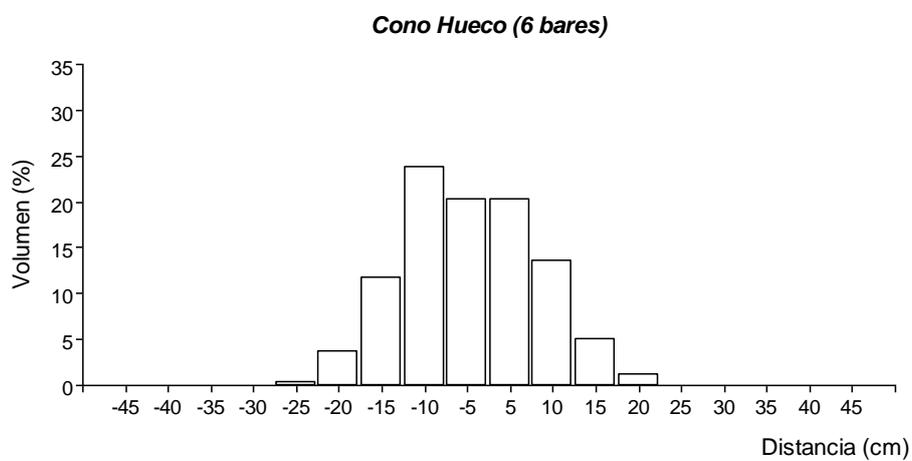
**Figura 1.3.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de cono hueco a 4 bares.



**Tabla 1.4.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de cono hueco a 6 bares.

A la izquierda		A la derecha	
Distancia	Volumen	Distancia	Volumen
cm	(%)	cm	(%)
0 – 5	20,30	0 – 5	20,30
5 – 10	23,70	5 – 10	13,60
10 – 15	11,80	10 – 15	5,10
15 – 20	3,68	15 – 20	1,13
20 – 25	0,38	20 – 25	

**Figura 1.4.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de cono hueco a 6 bares



## 2. Boquillas con distribución tipo abanico plano

### 2.1. Uniformidad de caudal

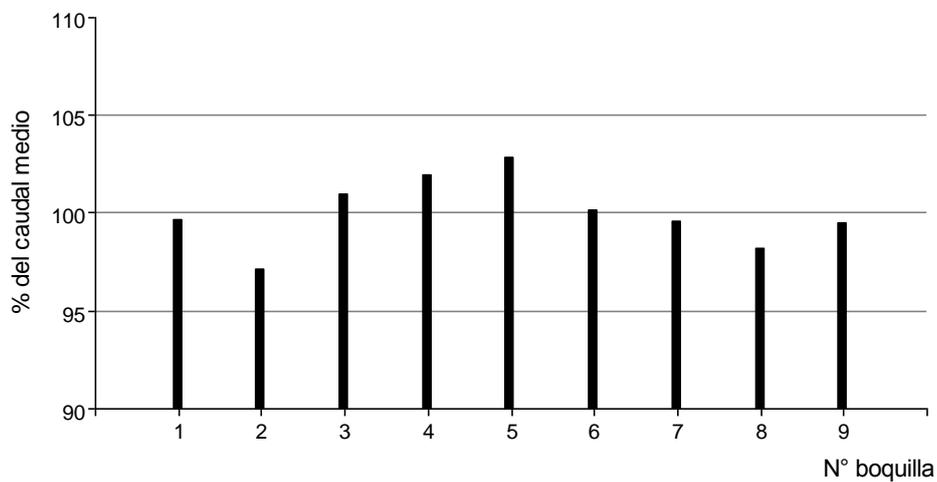
Presión utilizada: 3 bares

Tiempo de medición: 60 s

**Tabla 2.1.** Caudal medido y porcentaje del caudal medio de las boquillas tipo abanico plano a 3 bares de presión.

Nº de boquilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Caudal (L.min <sup>-1</sup> )	0,363	0,353	0,367	0,371	0,374	0,364	0,362	0,357	0,362
Caudal (% del caudal medio)	99,6	97,1	100,9	101,9	102,8	100,1	99,5	98,2	99,5

**Figura 2.1.** Uniformidad de caudal de boquillas tipo abanico plano a 3 bares de presión.



Los resultados muestran que el 100% de las boquillas se encuentran dentro del valor de uniformidad del 5% respecto al valor medio del lote.

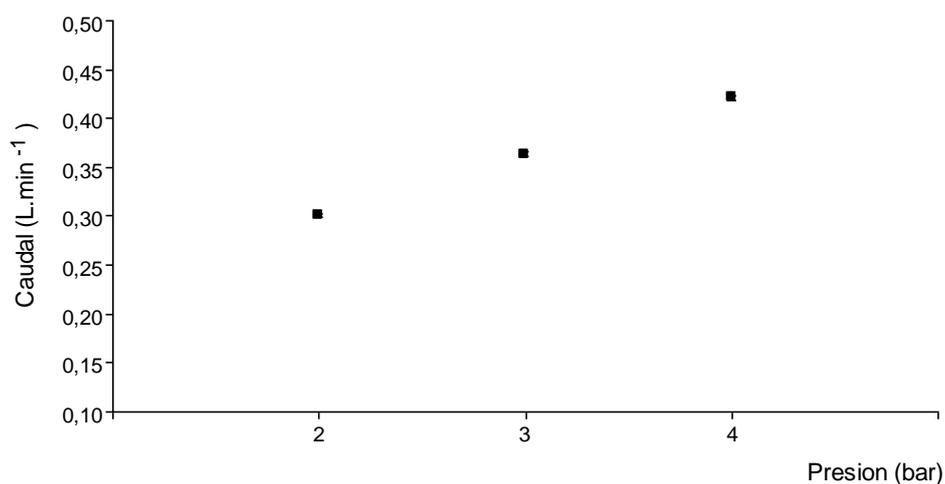
## 2.2. Variación del caudal en función de la presión

Presión utilizada: 2; 3 y 4 bares

**Tabla 2.2.** Variación del caudal en función de la presión para las boquillas de abanico plano.

Presión (bares)	2	3	4
Caudal (L.min <sup>-1</sup> )	0,301	0,364	0,421

**Figura 2.2.** Variación del caudal en función de la presión para las boquillas de abanico plano.



## 2.3. Distribución de la pulverización

Presión utilizada: 2 y 4 bares

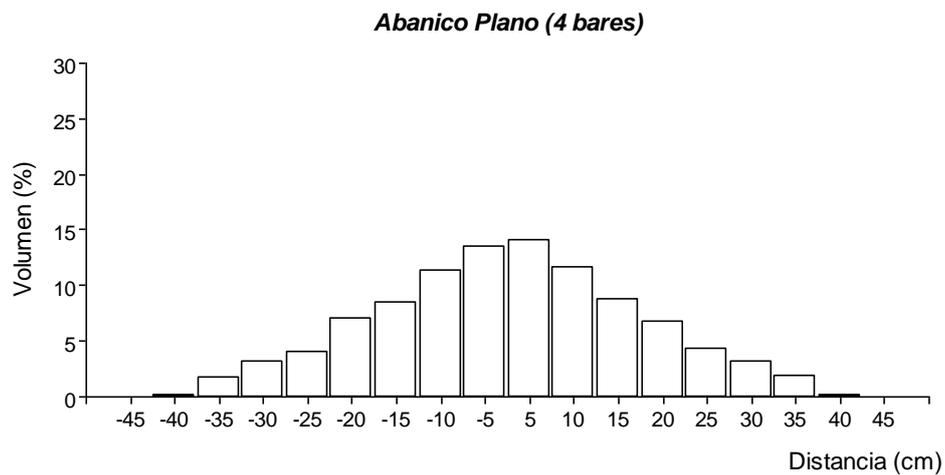
Posición de la boquilla: Altura 310 mm

La recuperación fue interrumpida cuando una probeta alcanzó el 90% de su capacidad.

**Tabla 2.3.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de abanico plano a 4 bares.

A la izquierda		A la derecha	
Distancia	Volumen	Distancia	Volumen
cm	(%)	cm	(%)
0 – 5	13,55	0 – 5	14,06
5 – 10	11,28	5 – 10	11,56
10 – 15	8,50	10 – 15	8,73
15 – 20	6,97	15 – 20	6,75
20 – 25	4,08	20 – 25	4,31
25 – 30	3,17	25 – 30	3,12
30 – 35	1,76	30 – 35	1,81
35 - 40	0,17	35 - 40	0,17

**Figura 2.3.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de abanico plano a 4 bares.



### 3. Boquillas con distribución tipo abanico plano con inducción de aire

#### 3.1. Uniformidad de caudal

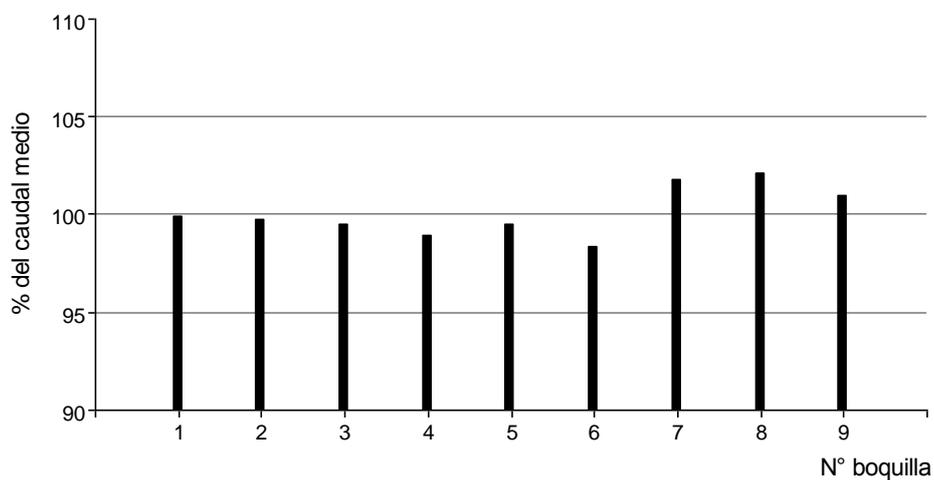
Presión utilizada: 3 bares

Tiempo de medición: 60 s

**Tabla 3.1.** Caudal medido y porcentaje del caudal medio de las boquillas tipo abanico plano con inducción de aire a 3 bares de presión.

Nº de boquilla	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Caudal (L.min <sup>-1</sup> )	0,526	0,526	0,524	0,521	0,524	0,518	0,536	0,538	0,532
Caudal (% del caudal medio)	99,9	99,7	99,4	98,9	99,5	98,4	101,8	102,1	100,9

**Figura 3.1.** Uniformidad de caudal de boquillas tipo abanico plano con inducción de aire a 3 bares de presión.



Los resultados muestran que el 100% de las boquillas se encuentran dentro del valor de uniformidad del 5% respecto al valor medio del lote.

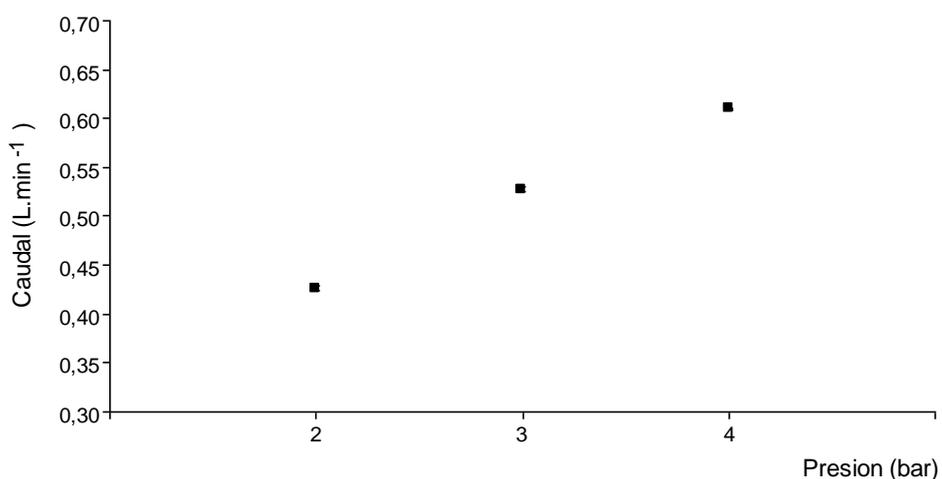
### 3.2. Variación del caudal en función de la presión

Presión utilizada: 2; 3 y 4 bares

**Tabla 3.2.** Variación del caudal en función de la presión para las boquillas de abanico plano con inducción de aire.

Presión (bares)	2	3	4
Caudal (L.min <sup>-1</sup> )	0,426	0,527	0,610

**Figura 3.2.** Variación del caudal en función de la presión para las boquillas de abanico plano con inducción de aire.



### 3.3. Distribución de la pulverización

Presión utilizada: 4 bares

Posición de la boquilla: Altura 310 mm

La recuperación fue interrumpida cuando una probeta alcanzó el 90% de su capacidad.

**Tabla 3.3.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de abanico plano con inducción de aire a 4 bares.

A la izquierda		A la derecha	
Distancia	Volumen	Distancia	Volumen
cm	(%)	cm	(%)
0 – 5	10,57	0 – 5	11,11
5 – 10	10,02	5 – 10	10,07
10 – 15	8,44	10 – 15	9,12
15 – 20	7,35	15 – 20	6,85
20 – 25	4,63	20 – 25	4,76
25 – 30	3,72	25 – 30	3,67
30 – 35	2,77	30 – 35	3,08
35 - 40	1,09	35 - 40	1,77
40 - 45	0,36	40 - 45	0,63

**Figura 3.3.** Distribución del volumen en función de la distancia al eje de la boquilla de abanico plano con inducción de aire a 4 bares.

