



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Trabajo de tesis para acceder al grado de:

Magister Scientiae en Mecanización Agrícola
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata

Desgaste acelerado en boquillas de abanico plano con inducción de aire. Su efecto sobre el caudal y la exoderiva.

Tesista: Ing. Agr. Enrique Federico Behr

INTA AER Crespo
Dirección: Urquiza y Alberdi – 3116 - Crespo – E.R.
Tel: 0343-4951170
enriquebehr@gmail.com

Director: Dr. Ing. Agr. Oscar Pozzolo

Director. Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay INTA.
pozzolo.oscarruben@inta.gob.ar

Co-Director: M.Sc. Ing. Agr. Gerardo Masiá

Coordinador de I & D. Instituto de Ingeniería Rural. INTA.
masia.gerardo@inta.gob.ar

Agradecimientos

La realización de este trabajo fue posible gracias a toda la colaboración de los compañeros de trabajo del laboratorio de protección vegetal del Instituto de ingeniería rural de INTA Sebastián Duro, Julio Fiorini por su asistencia y colaboración en los trabajos allí realizados y a todo el personal del laboratorio con el que hemos compartido distintos momentos durante los ensayos; a mi director de trabajo, Dr. Oscar Pozzolo quien a través de sus intervenciones oportunas ha sabido guiarme durante la tarea de investigación; Msc. Gerardo Masiá con quién como codirector hemos podido discutir la metodología y comprender mejor los resultados obtenidos; al grupo de trabajo diario de la agencia de extensión rural de INTA Crespo quienes me han comprendido y apoyado durante el tiempo de realización del trabajo; y un agradecimiento especial a mi familia quienes son los que más han tenido que sobrellevar las ausencias obligadas para la realización de la experiencia.

Índice General

Índice de tablas	iv
Índice de gráficos	vi
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
1. Introducción y Antecedentes	1
1.1. Hipótesis y Objetivos	17
2. Materiales y métodos	18
3. Resultados y Discusión	25
3.1. Condiciones Climáticas	25
3.2. Boquillas de caudal teórico de 800 ml min ⁻¹	26
3.2.1. Minuto 0	26
3.2.2. Minuto 4	29
3.2.3. Minuto 25	32
3.2.4. 1 Hora 30 Minutos	34
3.2.5. 7 Horas 30 Minutos	36
3.2.6. Evolución del caudal erogado en función de la duración	38
3.3. Pastillas de caudal teórico de 1200 ml min ⁻¹	44
3.3.1. Minuto 0	44
3.3.2. Minuto 4	46
3.3.3. Minuto 25	48
3.3.4. 1 Hora 30 Minutos	51
3.3.5. 7 Hora 30 Minutos	52
3.3.6. Todos los tratamientos en boquillas de caudal teórico 1200 ml min ⁻¹ ..	55
4. Conclusiones	64
5. Bibliografía	65
6. Anexo	75

Índice de tablas

Tabla 2.1. Marca, modelo y material de construcción del Venturi y del inserto.....	20
Tabla 3.1.1 Valores promedios de Temperatura (T °C) y Humedad Relativa (%) registrados durante las horas de determinación de caudales.....	26
Tabla 3.2.1.1. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) previo a la etapa de desgaste.....	28
Tabla 3.2.2.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) luego de 4 minutos de desgaste acelerado.....	31
Tabla 3.2.2.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 4 minutos en banco de desgaste.....	31
Tabla 3.2.3.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) respecto del caudal al estado de nuevas luego de 25 minutos de desgaste acelerado.....	33
Tabla 3.2.3.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 25 minutos en banco de desgaste.....	33
Tabla 3.2.4.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) respecto del caudal al estado de nuevas luego de 1 hora 30 min de desgaste acelerado.....	35
Tabla 3.2.4.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 1 horas 30 minutos en banco de desgaste.....	36
Tabla 3.2.5.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) respecto del caudal al estado de nuevas luego de 7 horas 30 min de desgaste acelerado.....	37
Tabla 3.2.5.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 7 horas 30 minutos en banco de desgaste.....	38
Tabla 3.2.6.1: Porcentajes de deriva provocados por las boquillas de caudal teórico de 800 ml min ⁻¹ en los distintos tiempos de desgaste.....	43

Tabla 3.3.1.1. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) previo a la etapa de desgaste.....	46
Tabla 3.3.2.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) luego de 4 minutos de desgaste acelerado.....	48
Tabla 3.3.2.2. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 4 minutos en banco de desgaste...	48
Tabla 3.3.3.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) luego de 25 minutos de desgaste acelerado	50
Tabla 3.3.3.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 25 minutos en banco de desgaste.....	50
Tabla 3.3.4.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) luego de 1h 30 minutos de desgaste acelerado	52
Tabla 3.3.4.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 1 hora 30 minutos en banco de desgaste.....	52
Tabla 3.3.5.1: Diferencias de caudal (ml min ⁻¹) luego de 7h 30 minutos de desgaste acelerado.....	54
Tabla 3.3.5.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 7 horas 30 minutos en banco de desgaste.....	55
Tabla 3.3.6.1: Porcentajes de deriva provocados por las boquillas en los distintos tiempos de desgaste acelerado	60

Índice de gráficos

Gráfico 1.1: Mercado mundial de agroquímicos.	2
Gráfico 1.2: Evolución del mercado argentino de fitosanitarios por cantidad de producto.....	2
Gráfico 1.3. Evolución del mercado argentino de fitosanitarios por valor de los productos.....	3
Gráfico 3.2.1.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 800 ml min^{-1} nuevas y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas dentro de la norma ISO 5286/1.....	27
Gráfico 3.2.2.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 4 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	29
Gráfico 3.2.3.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 25 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	32
Gráfico 3.2.4.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de $1 \text{ h } 30 \text{ min}$ de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	34
Gráfico 3.2.5.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de $7 \text{ h } 30 \text{ min}$ de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	37
Gráfico 3.2.6.1: Caudal (ml min^{-1}) erogado por las boquillas de caudal teórico 800 ml min^{-1} en los distintos momentos del desgaste.....	40
Gráfico 3.2.6.2: Volumen derivado (ml) de las boquillas de caudal teórico 800 ml min^{-1} durante el desgaste acelerado.....	42
Gráfico 3.3.1.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa nuevas y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas dentro de la norma ISO 5286/1.....	45

Gráfico 3.3.2.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 4 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	47
Gráfico 3.3.3.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 25 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	49
Gráfico 3.3.4.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa luego de $1 \text{ h } 30 \text{ min}$ de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	51
Gráfico 3.3.5.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa luego de $7 \text{ h } 30 \text{ min}$ de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores.	53
Gráfico 3.3.6.1.: Caudal (ml min^{-1}) erogado por las boquillas de 1200 ml min^{-1} de caudal teórico en los distintos momentos del desgaste.....	57
Gráfico 3.3.6.2.: Volumen (ml) derivado de las boquillas 1200 ml min^{-1} de caudal teórico durante el desgaste acelerado.....	59
Gráfico 3.3.6.3.: Volumen derivado (ml) de las boquillas de caudales teóricos 800 y 1200 ml min^{-1} durante el desgaste acelerado en las distintas boquillas.....	62
Gráfico 3.3.6.4.: Caudal (ml min^{-1}) sin la acción del viento de las boquillas caudales teóricos 800 y 1200 ml min^{-1} durante el desgaste acelerado en las distintas boquillas.	63

Índice de figuras

Figura 1.1.: Tamaños de gotas.....	7
Figura 1.2: a) Vista en corte de una pastilla asistida por aire. b) Gotas grandes con aire contenido.....	10
Figura: 2.1. Vista lateral y superior del banco de desgaste.....	18
Figura: 2.2. Túnel de viento con boquilla ubicada en posición de trabajo...	19
Figura: 2.3. Despiece de boquillas de aire inducido empleadas en el trabajo.....	21

Resumen

La pulverización del caldo asperjado contenido en un circuito hidráulico sometido a presión a través de boquillas convencionales, modifica la cantidad y calidad del caldo asperjado. Con el objetivo de evaluar las prestaciones de las boquillas abanico plano con inducción de aire luego de ser sometidas al desgaste acelerado se establecieron una serie de ensayos en banco de desgaste y túnel de viento. Como abrasivo se utilizó óxido de aluminio al 2% en banco de desgaste construido bajo la norma ISO 5682-1. Las boquillas evaluadas fueron Airmix, Guardian Al ambas con inserto de polímero (800 y 1,200 ml min⁻¹) y Teejet con inserto de polímero y acero inoxidable (790 y 1180 ml min⁻¹). Se evaluaron los caudales erogados por las boquillas en las distintas etapas del desgaste (0 min, 4 min, 25 min, 1h 30 min y 7h 30 min), luego se midieron los caudales erogados bajo la acción del aire de frente generado en túnel de viento y por diferencia se obtuvo el volumen derivado.

El diseño de las boquillas juega un rol decisivo en el control de deriva. Los caudales erogados acusaron efecto del desgaste, a pesar de no superar en ningún momento el caudal nominal en ambos caudales de boquillas, solo en las boquillas de menor sección se vio alterado el volumen derivado.

Palabras claves: desgaste de boquillas Pulverización, túnel de viento y deriva potencial.

Abstract

Spraying the liquid in a hydraulic circuit under pressure through conventional nozzles, modifies the quantity and quality of the sprayed. In order to evaluate the performance of flat fan nozzle with air induction after being subjected to accelerated wear a series of tests were established in bank wear and wind tunnel. As aluminum oxide abrasive 2% is used in wear bank built under ISO 5682-1. Airmix and Guardian AI nozzles were tested, both with polymer insert (800 and 1,200 ml min⁻¹) and Teejet with polymer and stainless steel insert (790 and 1180 ml min⁻¹). Flows incurred by the nozzles at various stages of wear (0 min, 4 min, 25 min, 1h 30 min and 7h 30 min) were evaluated, then flows incurred under the action of the front air were measured generated by wind tunnel Unlike and the volume derivative is obtained.

The nozzle design plays a decisive role in controlling drift. The incurred flows accused effect of wear, although not at any time exceed the nominal flow in both flow nozzle, only the nozzles of smaller section was altered volume derivative.

Keywords: Spray, wind tunnel and drift potencial.

1. Introducción y Antecedentes

La creciente demanda por alimentos de calidad obliga a proteger los cultivos del daño ocasionado por las plagas, lo cual significa un importante costo directo para los productores. En la naturaleza, considerado como sistema de alta diversidad, y a través de múltiples presiones selectivas, los organismos tienden a cierto equilibrio poblacional resultante de la combinación de una serie de factores tanto bióticos como abióticos. En un agroecosistema en donde la diversidad es escasa se acelera la aparición de especies generalistas que, ante la abundancia de un alimento determinado, aumenta rápidamente su densidad.

Se habla de plaga cuando un organismo aumenta su densidad hasta niveles anormales y como consecuencia de ello, afecta directa o indirectamente a la especie humana, ya sea porque perjudique su salud, su comodidad, dañe las construcciones, cultivos agrícolas, forestales o ganaderos, de los que el ser humano obtiene alimentos, forraje, textiles, maderas, etc. Es decir, el concepto de plaga es antropocéntrico. (Pedigo, 2002; Brechelt, 2004).

Dentro de los métodos de lucha contra las plagas, el control químico es el más difundido, lo cual ha generado una dependencia en el uso de los mismos. Su uso se ha incrementado 32 veces entre 1950 y 1986, en donde los países en desarrollo ocupan una cuarta parte del uso mundial de plaguicidas (FAO, 1996)..

En el gráfico 1.1. se puede apreciar el constante incremento del mercado mundial de agroquímicos. De los 40 billones de dólares en el año 2007, se elevó a 46,7 billones de dólares en el 2009 con una proyección para el año 2014 cercana a los ochenta billones (BCC Research 2010).

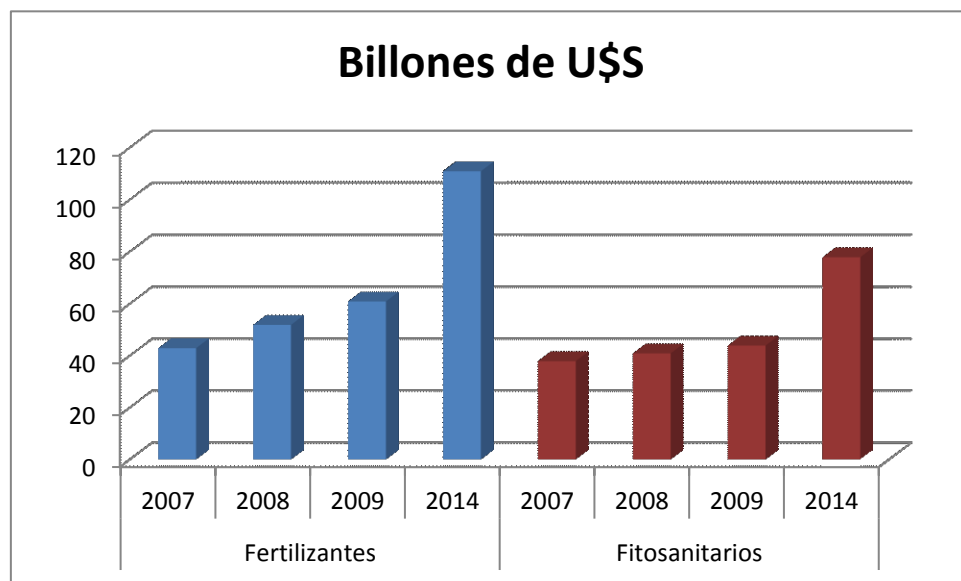


Gráfico 1.1. Mercado mundial de agroquímicos. Fuente: elaboración propia en base a datos de BCC Research (2010).

La República Argentina no escapa a la tendencia mundial, alcanzando los 317 millones de kg.l⁻¹ en la campaña 13/14, en comparación a los 132,4 millones en 97/98 (gráfico 1.2.). El incremento registrado significa 2,4 veces lo insumido en 20 años, representando un valor aproximado a los dos mil setecientos millones de dólares (gráfico 1.3.) En tanto que para la campaña 15/16 se registró una disminución en la facturación totalizando un valor aproximado de dos mil cuatrocientos millones de dólares que se explicaría por una importante baja en los precios. De acuerdo a las últimas estadísticas informadas por la cámara de sanidad agropecuaria y fertilizantes. (CASAFE, 2019).

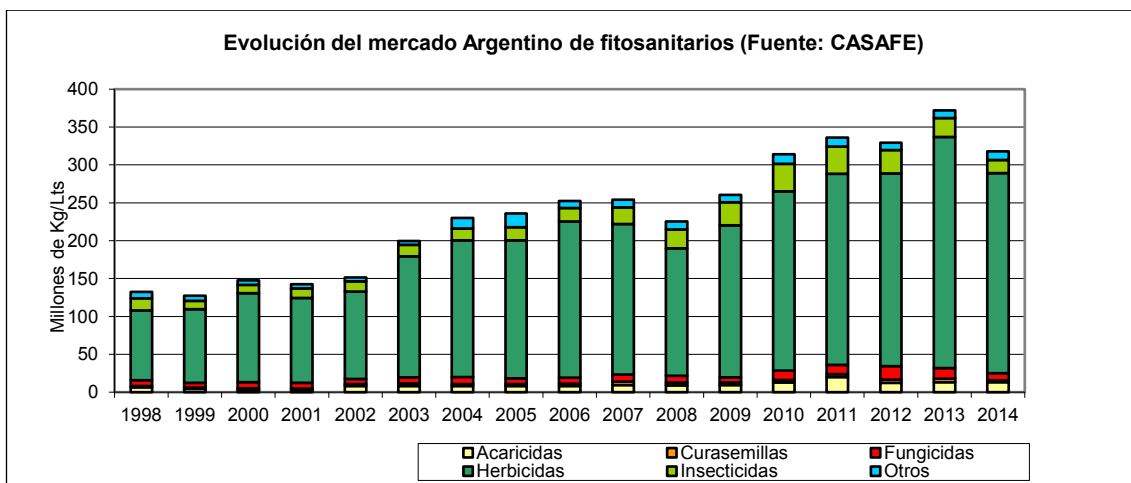


Gráfico 1.2. Evolución del mercado argentino de fitosanitarios por cantidad de producto. Fuente CASAFE (2019).

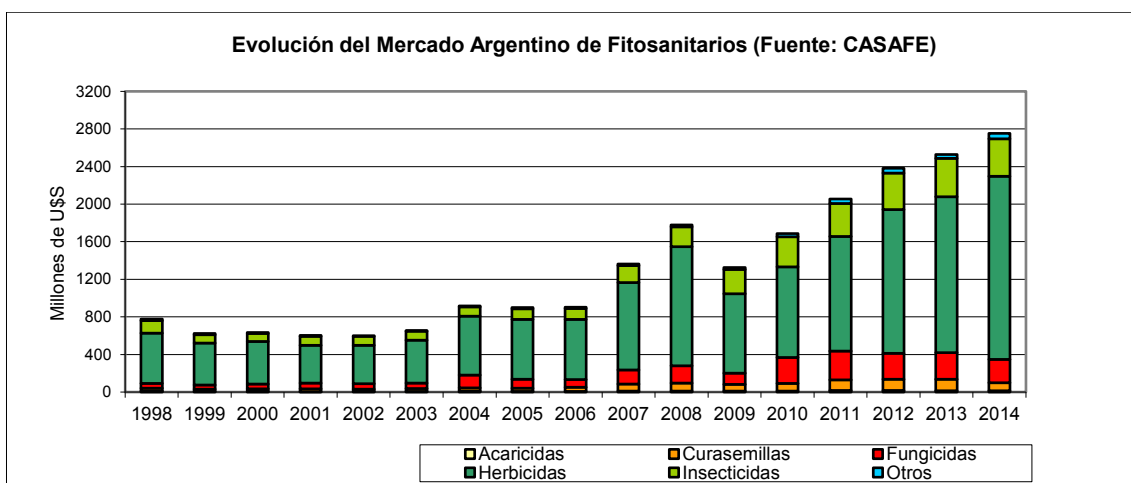


Gráfico 1.3. Evolución del mercado argentino de fitosanitarios por valor de los productos. Fuente CASAFE (2019).

Pese al elevado costo que implica la realización de los controles químicos, este se justifica ya que, de no realizarlo, las mermas en los rendimientos en los cultivos serían de gran magnitud, representando cifras millonarias.

A modo de ejemplo los productores de papa, (*Solanum tuberosum*, L.) en el mundo, gastaron cerca de 1.600 millones de dólares anuales para combatir los masivos ataques de tizón tardío, (*Phytophthora infestans* Mont De Bary), que causó la gran hambruna irlandesa en el año 1845. Según FAO (1996), en 1970 las enfermedades redujeron la cosecha de maíz (*Zea mays*, L.) de los Estados Unidos en un 60%. Años después, Java en el continente de Oceanía, sufrió la pérdida del 70% de su cosecha de maíz en este caso afectada por insectos, y una plaga como el gusano barrenador

(*Diatraea saccharalis*, F.) en Texas costó 375 millones de dólares estadounidenses. En este mismo país se registraron pérdidas por 35.000 millones de dólares por efecto de las malezas y unos 20.000 millones generado por la acción de los insectos (Pimentel et al., 1998). Los granos almacenados no escapan a la acción de las plagas ya que roedores e insectos destruyen por lo menos el 10% de estos productos.

El uso irresponsable de los agroquímicos se puede traducir en contaminación de los alimentos, el ambiente y, en algunos casos, dañar la salud de la población. La falta de selectividad de los plaguicidas hace que en el control se afecte a los enemigos naturales de las plagas, lo que permite a éstas proliferar aceleradamente. Esto, unido a la eliminación de especies susceptibles, hace que el fenómeno de resistencia aparezca prematuramente. Cuando hace 50 años se reconocían unas pocas especies resistentes, en la actualidad existen aproximadamente 700 (FAO, 1996). El ejemplo de esto lo constituye la aparición de especies con tolerancia a herbicidas como el glifosato o al grupo de las imidazolinonas, siendo este último el que presenta mayor número y tasa de crecimiento de estas especies (HEAP, 2012).

Uno de los factores que contribuye al aumento de la resistencia de las plagas son las deficiencias en las técnicas de aplicación.

El control de plagas mediante aplicaciones de agroquímicos implica varios aspectos a tener en cuenta, tales como la selección del producto, no solo desde el punto de vista del ingrediente activo, sino también de los aspectos relacionados a su formulación. En este sentido, parámetros como el estado físico, polvo, líquido o gaseoso, concentración de producto activo, presencia de excipientes que alteren propiedades químicas como tensión de vapor, solubilidad o compatibilidad con otras sustancias, son todas características de fundamental importancia al momento de la aplicación, en la misma magnitud que el ingrediente activo.

Considerando a la técnica de aplicación en sí misma, existen numerosos aspectos que deben ser tomados en cuenta para decidir la más adecuada. Así, el momento de aplicación, tanto desde el punto de vista del estadio fenológico, cuanto de las variables climáticas, la dosis, el caudal y forma de asperjado son factores tan importantes como el producto a aplicar.

En definitiva, toda la tecnología utilizada para la aplicación de producto tiene como objetivo el permitir la llegada del agroquímico al blanco en su totalidad. El

porcentaje de caldo perdido que no alcanza el objetivo es denominado deriva. Sin embargo, existe evidencias suficientes (Graham-Bryce, 1977; Pergher, 2001; Gil et al., 2007) que indican en aplicaciones postemergentes, que solo el 50-70% del volumen total asperjado llega a las plantas. Esto muestra que entre el 30 y 50% de la dosis calculada no es depositada sobre el objetivo a controlar.

Las causas de ello pueden ser debidas a que el proceso de formación de gotas es una etapa crítica que aún no se conoce certeramente (Giles, 1988). Según Dombrowski y Fraser (1954), Hartranft y Settles (1999) Hermann (2003), citados por Castillo (2010) el proceso de formación de gotas se produce cuando el líquido contenido a presión dentro del circuito hidráulico es expulsado a través del orificio de la pastilla al aire atmosférico. En el momento que la lámina líquida atraviesa el orificio de descarga se produce una inestabilidad hidrodinámica, como consecuencia de la diferencia de presión entre la que contenía el líquido en el circuito hidráulico y la presión exterior o atmosférica. Lo cual posibilita distintos modos de desintegración: desintegración en chorros y/o desintegración en láminas, dependiendo de la tensión superficial, viscosidad y número de Reynolds del caldo asperjado.

Guler et al. (2007) citado por Dorr et al. (2013), afirma que no existen evidencias claras respecto de la presencia de aire en las gotas del líquido asperjado en pastillas aire inducido. Las características del caldo asperjado pueden sufrir modificaciones de acuerdo al diseño de la pastilla, los parámetros operativos y las características químicas de la formulación (Dorr et al., 2013) La pulverización del caldo asperjado se produce como consecuencia de forzar un líquido, sometido a presión a través del circuito hidráulico, a pasar por un orificio de sección pequeña, que en contacto con el aire ambiente produce una lámina de líquido inestable la cual por diferencia de presión se va desintegrando en gotas (Fraser, 1958). La cantidad y tamaño de gotas es conocido como espectro de distribución, el cual resulta óptimo cuando permite realizar el control previsto con la dosis mínima.

La mayoría de los pulverizadores agrícolas actuales utilizan boquillas hidráulicas para dosificar y atomizar el líquido en gotas. Las boquillas hidráulicas producen un amplio espectro de tamaño de gotas que van desde las menores a 10 μm a las mayores con más de 1000 μm (Bouse et al. 1990; Kirk, 2003).

En este sentido, las gotas de diámetro mayores no logran la misma uniformidad que aquellas de diámetros pequeños afectando su eficiencia de control

(Smith et al., 2000; Hewitt, 1997). Sin embargo, las gotas inferiores a los 100 μm son propensas a no alcanzar el objetivo por distintos factores, aumentando el porcentaje de pérdida o deriva (Hewitt et al., 1998).

La Coalición Nacional para la Minimización de la Deriva de Estados Unidos, considera a la deriva como el movimiento de un agroquímico a través del aire al mismo tiempo de la aplicación o inmediatamente después fuera del objetivo de aplicación, no considerando como deriva a los movimientos por erosión, migración y/o volatilización después de la aplicación (E.P.A. 1999, Villalbay Hetz, 2010). En este sentido, se debe considerar la fracción del fitoterápico que cae o es arrastrado fuera del lote objeto del tratamiento (exoderiva) (Nuyttens et al., 2007) y lo que cae dentro del lote, pero no sobre la plaga (endoderiva) (Himel, 1974; Villalba y Hetz, 2010).

Estas pérdidas a veces se producen aún días después de realizada la aplicación, conociéndose como deriva por vapor y está comúnmente asociada con la volatilización (cambio del estado líquido a gas) de los pesticidas con el subsecuente desplazamiento fuera del área tratada. Esta situación preocupa significativamente solo si el pesticida es altamente volátil y las condiciones atmosféricas son favorables para una volatilización rápida del mismo (Matthews, G.A., 1993; Ozkan, 2000,)

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) toma a la deriva como posible situación de riesgo dado que puede afectar la salud humana y al ambiente; al provocar la exposición de personas y animales, contaminar alimentos para consumo directo como huertas, dejando residuos de plaguicidas que pueden ser relevantes en posteriores procesos de agroindustrialización. Todos los años se registran en países como Estados Unidos miles de denuncias por problemas relacionados a la deriva. (E.P.A., 1999).

La deriva no es un problema nuevo. Esto comenzó en los años 50 con la amplia difusión de los pesticidas. Problemas asociados con la deriva han estado presentes desde entonces en la mente de los aplicadores principalmente asociados con la eficiencia del control. Entendiendo a la deriva como un proceso de pérdida, la completa eliminación de la misma en las condiciones actuales resulta un objetivo muy difícil de lograr. Sí es posible reducirla a la mínima expresión si las aplicaciones se hacen atendiendo todos los cuidados pertinentes (Ozkan, 1998)

Para lograr un control de la deriva dentro de parámetros aceptables se deberá tener en cuenta aspectos básicos que involucran la selección de una técnica adecuada

según las características del objetivo a controlar, el producto a utilizar y las condiciones ambientales imperantes (Cunha et al., 2003). Para ello, se deben considerar tres aspectos básicos, las características físicas del caldo, la técnica de aplicación, considerando todos aquellos aspectos como, por ejemplo: distancia entre boquillas, velocidad de avance, altura de botalón, etc, y por último, la boquilla aspersora como el elemento prístino en el proceso de la formación de gotas.

Para contribuir al manejo de la deriva, y lograr mayor eficiencia en las aplicaciones se estableció un sistema de clasificación de espectro de distribución de gotas y su riesgo potencial de ocasionar daños por deriva adoptado por British Crop Protection Council (BCPC). En este sentido de acuerdo a modelos simuladores de deriva se propuso la siguiente terminología (Southcombe et al., 1997; Hewitt et al., 1998):

%Reducción de deriva:	< 0	0-25	25-50	50-75	>75
Deriva potencial:	Alto	Normal	Bajo	Doblemente bajo	Triplemente bajo

La formulación química puede incidir directamente en aspectos tales como la tensión de vapor, densidad, tensión superficial y viscosidad entre otros. Los dos últimos afectan la formación de gotas, así gotas más grandes pueden lograrse con un incremento de la viscosidad del caldo de aspersión con menor producción de gotas finas sujetas a deriva (Ryckaert et al., 2007; Hilz y Vermeer, 2013; Witt, 2019).

Comercialmente existen aditivos posibles de incorporar a la mezcla del tanque que incrementan la viscosidad y/o modifican la tensión superficial (Ware et al., 1970; Yates et al., 1976; Bouse et al., 1988; Butler Ellis et al., 1997; Butler Ellis y Tuck, 1999; Ryckaert et al., 2007, Hilz y Vermeer., 2013, Oliveira et al., 2016).

Desde el punto vista de la tensión superficial, un incremento en la misma junto a aumentos de viscosidad, contribuyen a la formación de gotas más grandes (Butler Ellis et al., 1997, Combella et al., 1995, Butler Ellis y Tuck, 1999, Johnson et al., 2006, Miller y Butler Ellis, 2000, Ryckaert et al., 2007). Sin embargo, incrementos en la viscosidad con baja tensión superficial, puede favorecer el desarrollo de gotas pequeñas (Yates y Akkeson, 1973).

En cuanto a las técnicas de aplicación, la altura de aspersión del equipo cumple un rol importante dado que gotas pequeñas tienen baja energía inercial, haciéndolas altamente susceptibles a la deriva. Por otro lado, está comprobado que la

vida media de la gota se encuentra influenciada por la distancia a recorrer desde su formación hasta el objetivo. Cuando las distancias son mayores se incrementa notablemente la probabilidad que las gotas pequeñas se evaporen antes de alcanzar el blanco. Figura 1.1. Desde este punto de vista, mientras más cerca del blanco se encuentre la boquilla menor será el efecto de deriva por viento (Matthews, 1993; Jayanthi et al., 1998; Murphy et al., 2000).

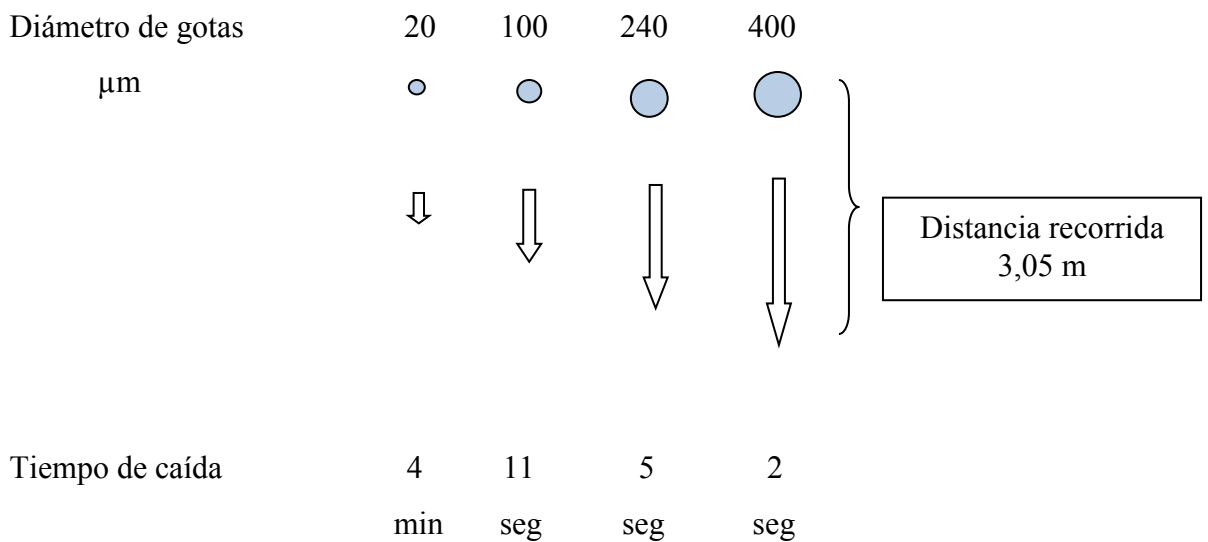


Figura 1.1.: Tamaños de gotas. Elaboración propia adaptado de Ozkan, (1998).

En cuanto a la presión ejercida sobre las boquillas hidráulicas, proporciona la energía que rompe la vena líquida en gotas, y por lo tanto es un factor clave en la regulación de tamaño de las mismas. Aumentos en la presión causan disminuciones en el tamaño de gota. La relación de efecto presión / tamaño de gota es prácticamente lineal; a modo de ejemplo, un aumento de presión de pulverización en boquillas de abanico plano de 138 kPa a 236 kPa produce un aumento de más del doble del volumen en gotas de 100 μm y menores aún. El razonamiento en el sentido inverso también es válido: reducciones en la presión aumentarán el tamaño de la gota y por lo tanto reducirán la deriva. Sin embargo, este mecanismo tiene un límite de aplicabilidad: el funcionamiento de boquillas por debajo de la presión recomendada afectará los patrones de distribución del volumen asperjado, pudiendo causar deficiencias en la cobertura por superposición inapropiada de la pulverización. Para subsanar este inconveniente, se han desarrollado diseños de boquillas que permiten utilizarse con presiones tan bajas como 103,5 kPa con una pequeña reducción en la calidad de la cobertura (McMullan, 1995;), tales como las boquillas denominadas de rango extendido, una de las primeras utilizadas como antideriva, ya que cumplían con el objetivo de proveer gotas grandes,

con una distribución aceptable, a costa de reducir el caudal, ya que su accionar es basado en la reducción de presión manteniendo el ángulo de pulverización (Cid y Masia, 2011).

En la búsqueda de mitigar los efectos de deriva por viento se desarrollaron las boquillas de rango extendido que presentan menor variación en la distribución de tamaños de gota que las boquillas de abanico plano estándar (Hewitt et al., 1998; Nuyttens et al., 2009).

Los primeros logros tendientes a cumplir con este objetivo fueron canalizados a través de una boquilla denominada de preorificio. Con ella se obtienen gotas más grandes, en general de tamaño mediano (175-250 μ) que en algunos casos a presiones del orden de los 200 kPa y ángulo de apertura del abanico de 80° podrían alcanzar tamaños gruesos (250-375 μ), que con la misma boquilla sin precámara pero manteniendo caudales similares según catálogos (ASJ Spray-Jet, 2012; Albuz, 2014; Teejet, 2014; Spraytec, 2016). De esta forma, se logra disminuir la deriva por aumento de tamaño de gota, pero sin reducciones de caudales relativos a las boquillas estándares. La formación de gotas grandes se produce gracias al diseño de la precámara inmediatamente anterior al orificio de salida de la boquilla. El líquido confinado a presión proveniente del circuito hidráulico ingresa a la boquilla a través del orificio de entrada y luego la vena líquida se expande en la precámara perdiendo presión y disminuyendo la diferencia de presión con la que atraviesa el orificio de salida. (Derksen et al., 1999, Lafferty y Tian, 2001; Wolf R., 2003).

Las boquillas de preorificio -trabajando hasta 4 bares de presión- logran aumentos del diámetro volumétrico medio del 30% respecto de las boquillas de rango extendido. A presiones mayores, estas diferencias porcentuales se reducen (Spraying Systems Co. 2007).

A partir de esta última se diseñaron las denominadas inducidas por aire (Fig. 1.2) buscando el objetivo ya mencionado de reducir la deriva mediante el empleo de gotas grandes, con menores caudales y que sigan brindando suficiente penetración y cobertura en el objetivo (Matthews, 1993.; Barber et al., 2003).

Estas boquillas producen un fluido asperjado conformado por el caldo de aspersión más aire atmosférico. Ésto se consigue gracias a que la boquilla está conformada por un tubo tipo Venturi, a través del cual circula el líquido proveniente del

circuito hidráulico a determinada presión y por efecto Venturi aumenta su velocidad y disminuye su presión. El conducto de menor sección se comunica con el exterior a través de uno o dos orificios y por diferencia de presión, succiona aire incorporándolo al caldo de asperjado en una cámara previa al orificio de salida del caldo. Este orificio junto con el Venturi definen el caudal de la boquilla y el patrón de aspersión (Derksen, et al., 1999, Wolfy Fhroberg, 2002; Rodrigues da Cunha y Alves Ruas., 2006).

El orificio de salida debe contemplar la salida del fluido de aspersión conformado por el líquido más el aire (Sarubbi, C. 2010). El tamaño de la gota es afectado principalmente por el tamaño del orificio final y solo ligeramente por la entrada de aire (Butler Ellis, et al., 2002). De esta forma, se logra un tamaño de gota grande con un caudal de campo reducido, siguiendo las tendencias actuales.

Guler et al. (2007) determinó en boquillas AI 11003 pulverizando a 276 kPa un volumen de 4,3 y 27,5% en gotas de menos de 100 y 200 μ respectivamente. Gotas de tamaños menores a 100 μ son difícilmente controlables y tienen alta probabilidad de ocasionar deriva (Doble et al., 1985; Miller y Hadfield, 1989; Piggot y Matthews, 1999; Hewitt, 1998).

Lafferty y Tian (2001) concuerdan con lo hallado por Guler et al.(2007), estos autores compararon el contenido en gotas finas de boquillas AI y XR, tanto en caudales 790 ml min⁻¹ como 1180 ml min⁻¹, a través de la reducción del volumen de caldo asperjado contenido en gotas de menos de 150 μ m desde el 20% a 100 kPa hasta reducciones del 32% cuando la presión se elevó a 550 kPa. En las boquillas de menor sección a 550 kPa, esta reducción llega cerca del 50%.

Si por las condiciones de trabajo se tapan los orificios de entrada de aire el caudal erogado estará formado solo por el líquido de pulverización (Guler et al., 2007), verificándose un aumento de caudal aplicado, sin producir grandes diferencias en las características de la pulverización (tamaño de gotas, ancho de pulverización para una determinada altura de aspersión y reducción potencial de deriva). En determinaciones realizadas por este mismo autor, encontró que las boquillas AI tienen entre 2,1 y 2,75 veces mayor sección del orificio de salida que las boquillas XR de igual caudal.

Estas boquillas gracias al efecto Venturi, logran incorporar aire a las gotas que conforman el caldo asperjado y al impactar en el objetivo se rompen en pequeñas gotas chicas (Wicke et.al., 1999).

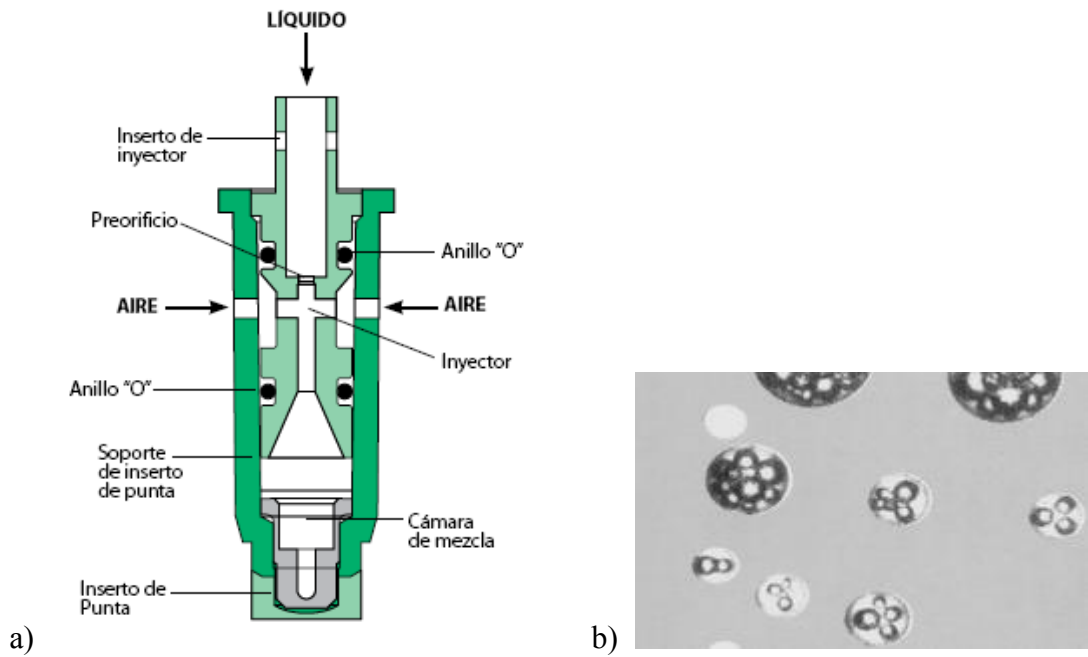


Figura 1.2: a) Vista en corte de una pastilla asistida por aire. b) Gotas grandes con aire contenido. Fuente: Catalogo Teejet 50 A-E

Los materiales de construcción de las boquillas pueden ser de distintos tipos: latón, latón niquelado, nylon, plástico, acero inoxidable, acero inoxidable endurecido y cerámica (Matthews, 1993; Bengtsson et al., 1996; Ozkan et al., 1992 b)

Hasta el presente se han generado numerosas investigaciones respecto del desgaste de las boquillas convencionales sometidas al uso prolongado y cómo alteran el caudal erogado (Menzies et al., 1976; Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991, Huyghebaert et al., 2001, Ross y Schmidt, 2002, Roskopf, 2004) y la distribución del líquido asperjado, donde las boquillas gastadas cambian la forma del patrón de distribución, conservando el ancho de la zona asperjada con mayor concentración de líquido en la zona central de la distribución (Ackerman, 1992; Ozkan et al., 1992 a) y también, cómo influye el desgaste en el espectro de pulverización donde el diámetro volumétrico medio de la boquilla sometida a desgaste sufre un incremento lineal con el caudal de la boquilla (Ozkan et al., 1992 a, Ripoli et. al., 1998)

Las mejoras en las técnicas de pulverización incluyen mejorar o favorecer el funcionamiento de las boquillas. En este sentido, el desarrollo de nuevos tipos de boquillas ha tenido en cuenta tanto la forma y diseño de las mismas, como el material

con que se construyen (Reichard et al., 1991, Matthews, 1993; Ozkan, 1998; Huyghebaert et al., 2001; Lafferty y Tian, 2001; Guler et al., 2007).

Para evaluar la incidencia del desgaste sobre el funcionamiento de las boquillas, se ha utilizado el coeficiente de variación CV como medida de la uniformidad de distribución, estando universalmente aceptado como representativo del desgaste. En una distribución perfecta este coeficiente tomaría valores cercanos a cero; aceptándose como una buena distribución CV menores a 15% (Jayanthi et al., 1998). En tanto que variaciones de caudal nominal $\pm 10\%$, es el criterio utilizado hasta el momento para el reemplazo de boquillas usadas adoptado por la mayoría de los fabricantes y en concordancia con varios autores (Ozkan, 1992 a; Ozkan, 1992 b; Jayanthi 1998; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016).

Mediante esta variable mencionada, se pudieron determinar los cambios en boquillas cuidadosamente mecanizadas que, por efecto del desgaste, modificaron su patrón de distribución, espectro de gotas y cambios del caudal erogado, (Barrufet y Sales, 1989; Corrêa, H. y Neto, B., 1976).

Estos resultados relativos a cambios asociados a desgaste son consecuentes con todos los autores relevados, así, Ozkan et al. (1992 b) no solo encuentra cambios en las variables anteriormente citadas sino asociados al tipo de material empleado.

Por otra parte, existe un deterioro asociado a las acciones químicas además de las físicas, Matthews (1987), por el cual el orificio de las boquillas es alterado por la acción química (corrosión) del caldo asperjado y por efecto abrasivo de partículas que conforman parte de la formulación del fitoterápico y de las materias extrañas suspendidas en ese caldo, conduciendo a un aumento del caudal asperjado, un incremento en el tamaño de gota y una alteración en el patrón de distribución. De igual forma, demuestra la existencia de relaciones entre tipos de materiales constructivos y de los patrones de desgaste y, por ende, de durabilidad.

Respecto a la utilización de diferentes materiales, existen numerosos trabajos que indican patrones de duración. En general los materiales de construcción de las boquillas pueden ser: latón, latón niquelado, nylon, plástico, acero inoxidable, acero inoxidable endurecido y cerámica (Matthews, 1987; Bengtsson et al., 1996; Ozkan et al., 1992 a; Kecskesne Nagy et al., 2014). El orden creciente de desgaste -de acuerdo a los materiales- es: cerámica, polímero, acero inoxidable y latón; según lo determinado por Sarubbi (2005) trabajando con caolín micronizado y oxiclورو de cobre a 300 kPa. Estos resultados concuerdan con lo hallado por las firmas Hypro (2010) y Albus (2014).

Tanto los materiales, como forma y tamaño de la boquilla, tiempos de uso, presión de trabajo y tipo de formulación aplicada afectan el normal funcionamiento de las mismas (Ozkan et al., 1992 b, Nanduri, et al., 2002).

Como característica fundamental que denota el desgaste de las boquillas a consecuencia del uso, puede ser el aumento de caudal (Menzies et al., 1976; Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991; Ozkan et al., 1992 b; István Sztachó-Pekáry, 2006). Sin embargo, Matthews y Thronhil (1996) citado por Sarubbi (2005) encontraron que en las primeras etapas del desgaste se producen disminuciones de caudal erogado por posible absorción de agua de ciertos componenets del material de fabricación de las boquillas.

Las boquillas de menor caudal sufren un desgaste más acelerado que las de mayor caudal, según el material de construcción, el acero inoxidable tiene en promedio 5,6 a 2,1 veces más de tiempo de duración que el latón y el nylon respectivamente antes de que el caudal aumente 10%. El incremento del caudal se relaciona con la raíz cuadrada del tiempo de uso (Reichard et al., 1991; István Sztachó-Pekáry, 2006). Sin embargo, Duvnjak et al. (2009) trabajando con boquillas de 780; 1400; 2200 y 3000 ml.min⁻¹, encontró que en los caudales extremos el acero inoxidable tuvo 4,8 veces mayor vida útil que el plástico antes de alcanzar un aumento de caudal del 10%. En tanto que, en los caudales intermedios, las boquillas de plástico tuvieron mayor vida útil que el acero inoxidable.

Tal como se mencionó anteriormente, el volumen de distribución del caldo asperjado sufre ciertas modificaciones manteniendo el ancho de pulverización, pero concentrando el volumen en el centro de la campana de distribución (Zhu et al., 2004; Ripoli et.al.1998). Según Ozkan et al. (1992 a), esto debería ser monitoreado por los pulverizadores para poder hacer los ajustes necesarios respecto de la altura del botalón y mantener el porcentaje de solapado entre boquillas de acuerdo al grado de uso de las mismas. La uniformidad de la distribución es determinada por el coeficiente de variación (CV).

Trabajos más recientes (Kecskesne Nagy et al., 2014) indican que este concepto no sería lo suficientemente acorde, dado que dicha variabilidad en la distribución del asperjado provocaría zonas con áreas sobredosificadas y/o subdosificadas.

La uniformidad de la distribución se determina pulverizando con un botalón provisto de boquillas a evaluar, adecuadamente distanciadas, sobre una mesa de prueba. La misma cuenta con una serie de canaletas continuas con cierta pendiente, que permiten en el extremo inferior recolectar el líquido asperjado y luego poder cuantificar el mismo (ISO 5682-1, 1996).

La firma Spraying Systems (2007) armó un botalón con boquillas de distintos grados de desgaste, lo cual genera diferentes diagramas de distribución de acuerdo a los niveles de desgastes de las boquillas. Allí se puede observar tramos de botalón con boquillas nuevas donde el coeficiente de variación fue de 6%, con una distribución homogénea del caldo asperjado. Otra sección muestra mayor desuniformidad en la distribución, con concentración del caldo pulverizado en la parte central del abanico. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por István Sztachó-Pekáry (2006). Por último, una tercera sección que refleja una distribución más desuniforme (CV=57%) como consecuencia del mayor desgaste.

La presión juega un rol importante en cuanto a la modificación del ángulo de pulverización de las boquillas. Jayanthi et al. (1998) demostró que a presiones de 138 y 276 kPa el ángulo de pulverización se mantuvo alrededor de los 80°, pero a presiones de 552 kPa el ángulo de pulverización se acercó a 100°. Correa y Neto (1976), trabajando con óxido de cobre encontró que había correlación entre aumentos de caudal y reducciones de ángulos de pulverización a partir de 100 horas de ensayo. A su vez, estos aumentos de caudal se correspondían con aumentos del DV 0,5 (Diámetro Volumétrico Medio).

Ozkan et al. (1992 b), también determinó que el tamaño de las gotas pulverizadas sufre alteraciones con el desgaste. Encontraron que en boquillas de 800 ml min⁻¹ el DV 0,5 en el centro de la distribución varió entre 150-200 µm de 0 a ± 200 mm y a partir de estos límites aumenta considerablemente. En boquillas de mayor capacidad (1500; 2300; 3000 ml min⁻¹), el DV 0,5 disminuye desde el centro hacia los 200 mm y a partir de allí vuelve a aumentar, independientemente del tipo de material de construcción. Este fenómeno puede producir un aumento excesivo del DV 0,5 que, a pesar de impactar en el objetivo, las gotas del caldo asperjado pueden por coalescencia rodar fuera del mismo significando una reducción de la eficiencia de aplicación (Kozel, 2009).

Ganzelmeier (2002) citado por Kecskesne Nagy et al. (2014) trabajando con boquillas Lechler con aire inducido ID 120-03 encontró, que el DVM pasó de 445 μm en boquillas nuevas a 469 μm luego de 10% de aumento de caudal.

Reed (1984) citado por István Sztachó-Pekáry (2006), encontró que la presión tiene influencia directa en la vida útil de las boquillas; trabajando con abanico plano 8001 de latón demostró que a 138 kPa el desgaste relativo es 5 veces menor que a 414 kPa. Cuando analizó diferentes materiales en el mismo tipo de pastilla, encontró que el acero inoxidable tiene 9,5 veces más vida útil que el latón, operando a 138 kPa, en tanto que, a 414 kPa la diferencia se reduce a 4 veces más.

El caudal de las boquillas tiene influencia directa sobre el desgaste; boquillas de menor caudal aumentan más rápidamente el caudal por efecto del desgaste acelerado que las de mayor sección. Kecskesne Nagy et al. (2014) trabajando con boquillas abanico plano 8002 y 8008 en polímero y acero inoxidable, encontró que las de acero, para un mismo caudal, tienen en promedio 2,5 veces más vida útil que las de polímero.

La formulación del caldo asperjado tiene incidencia directa sobre el orificio de salida. Menzies et al. (1976) evaluó el caudal erogado por una boquilla cono hueco antes y después de la pulverización con polvos mojables. Ellos encontraron aumentos de caudal de hasta 80,5% luego de asperjar 1.136 l a 2.068 kPa.

Del análisis de las imágenes de boquillas obtenidas a través de un comparador óptico, se puede apreciar las deformaciones que sufre el orificio de descarga (principal responsable del caudal erogado) como consecuencia del desgaste. Una boquilla nueva representa en la imagen una figura geométrica bien definida, como resultado del proceso de mecanización de la misma. Mientras que, luego del proceso de desgaste, los bordes toman formas irregulares hasta provocar aumento de la sección (Spraying Systems, 2007).

Otro método de alta resolución no destructivo conocido como micrografía electrónica de barrido, permite a través de imágenes hacer visible el desgaste que al ojo humano resulta imperceptible. Esto contribuyó a incrementar el conocimiento de los patrones de desgaste de las boquillas de diferentes materiales (Krause et al., 2003). Esta tecnología permite visualizar los bordes bien definidos del orificio de descarga en

boquillas sin uso y por efecto del desgaste, los mismos sufren erosiones provocando en consecuencia aumentos de caudal.

Analizando una boquilla de latón 8002 por este medio, trabajando bajo las normas ASAE S471, el orificio acusa un desgaste mayor en el eje menor con valores de 7,7; 15,4; 26,9; 38,5 y 46,2% para incrementos de volumen de 10, 20, 30, 40 y 50% respectivamente, mientras que el incremento en el eje mayor fue de 5,1% cuando el volumen presentó un aumento del 50% (Krause et al., 2003).

Utilizando esta misma tecnología para evaluar desgaste, Krishnan et.al. (2004), encontró que tanto latón como plástico presentan mayor grado de desgaste que el latón niquelado y el acero inoxidable a presiones de 137, 275 y 551 kPa luego de 20 horas de trabajo. El acero inoxidable inclusive, a la máxima presión, no demostró desgaste excesivo. En el caso del latón niquelado, a 551 kPa el recubrimiento había desaparecido.

Por otro lado, boquillas de acero inoxidable registraron un aumento exponencial de caudal debido al desgaste acelerado. Las boquillas de plástico, recién a las 40 horas de funcionamiento acusaron aumento de caudal por arriba del 10% y a las 100 horas de funcionamiento, el aumento de caudal toma valores del 35% respecto del nominal. En tanto, que las boquillas de cerámica sufren pequeños aumentos de caudal a partir de las 40 horas de funcionamiento, para estabilizarse en el 5% de aumento de caudal hasta las 100 horas (Albuz, 2014).

Existe suficiente información acerca de cómo el desgaste acelerado modifica el funcionamiento de las boquillas convencionales, aumentando el caudal erogado, modificando la distribución del mismo y el espectro de gotas producido por las boquillas. Resulta de interés determinar el efecto del desgaste sobre boquillas con inducción de aire ya que en este caso el caudal de las mismas depende principalmente del orificio de salida de la boquilla y del tubo Venturi que permite la inducción de aire.

1.1. Hipótesis y Objetivos

Objetivos:

Principal:

Propender al uso eficiente de productos agroquímicos a partir de aplicaciones compatibles con el resguardo del ambiente

Específicos:

- Evaluar la prestación de boquillas de abanico plano con inducción de aire.
- Determinar las variaciones del caudal producto del desgaste de las mismas.
- Valorar las diferencias de prestación de las pastillas producto del desgaste acelerado.
- Establecer las modificaciones en la deriva producto de la aplicación por efecto del viento en distintos estados del desgaste.

Hipótesis fundamental: las boquillas a través del uso sufren desgaste afectando sus parámetros de funcionamiento.

Hipótesis específicas:

- Las boquillas sometidas a desgaste aumentan el caudal a lo largo del tiempo.
- Los índices de deriva no se ven afectados por la tasa de desgaste.
- La tasa de desgaste depende del material del inserto y es independiente del caudal de la pastilla.

2. Materiales y métodos.

Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Protección de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural (IIR) del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

El banco de desgaste de boquillas, que promueve el aumento de caudal de forma acelerada a través del uso de caldos abrasivos, está construido de acuerdo a la norma ISO 5682-1 (1996), que hace referencia a los equipos de pulverización y concretamente en la parte 1, a los métodos de prueba de boquillas.

El mismo consta de un recipiente (Figura: 2.1), de fibra de vidrio, de sección tronco cónica de 50 litros de capacidad. En la parte superior sobre dos soportes fijos, se ubican 4 distribuidores que portan 6 portaboquillas cada uno. Estos distribuidores son alimentados del circuito hidráulico, a través de mangueras de conducción del caldo de tratamiento, provenientes del comando general de pulverización marca "Arag" provisto de cuatro cortes por sección eléctricos permitiendo trabajar con uno o los cuatro distribuidores en simultáneo. La agitación se logra mediante dos agitadores hidráulicos colocados a 90 grados, cuya presión de trabajo es regulada por una válvula independiente que asegura la uniformidad de concentración durante el período de ensayo. La presión es mensurada por medio de un manómetro de línea graduado de 0 a 700 kPa, con una resolución de ± 10 . El circuito hidráulico se completa con una bomba a pistón membrana de desplazamiento positivo marca Annovi Reverberi AR 120 BP de 120 l min^{-1} . La misma es accionada por un motor trifásico de 2240 W de potencia a 1450 v^{-1} .

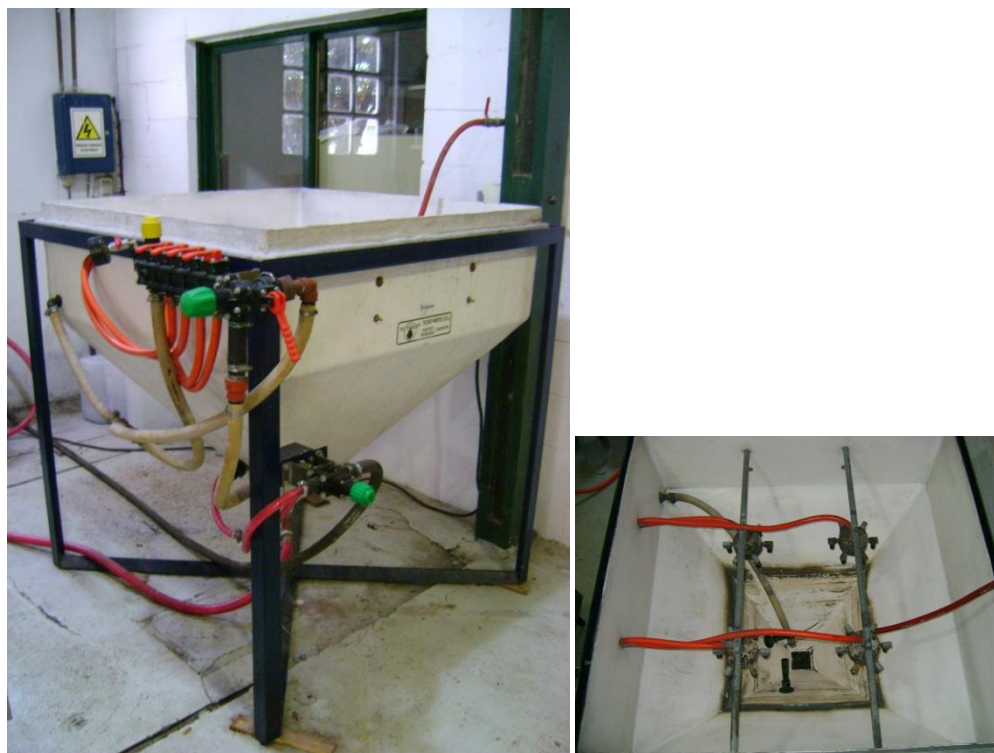


Figura: 2.1. Vista lateral y superior del banco de desgaste

El banco de distribución empleado en el presente trabajo está construido bajo la norma ISO 5682-1, con 60 canaletas de 50 mm de ancho y 3000 mm de largo. En la parte superior del mismo se ubica el túnel de viento de 1000 mm de alto, 1530 mm de ancho y 8000 mm de largo, el viento dentro del mismo se logra con un ventilador trabajando con presión negativa por aspirado, de manera de producir velocidades del viento de $4,8 \text{ m seg}^{-1}$, con una turbulencia del orden del 4%.

En el interior del túnel se ubica un soporte en el cual se aloja un portaboquilla con sistema anti goteo, sobre el que se pueden intercambiar las boquillas, regular la posición respecto a la vertical y a la dirección del viento. El mismo se ubica centrado en relación al plano vertical y a 850 mm del borde a barlovento con respecto al banco de distribución.

La pulverización hidráulica se logra a través de una bomba positiva de pistón membrana marca Udor modelo Kappa 30 de $34,5 \text{ l min}^{-1}$ de capacidad a 4000 kPa de presión máxima. El comando de pulverización marca Arag modelo 464550 posee cinco cortes por sección eléctricos, con 250 l min^{-1} y 2000 kPa de presión. La presión se fiscaliza a través de un manómetro de 60 milímetros de cuadrante en baño de glicerina con escala diferencial de 1 a 5 bar y fondo de escala de 25 bar, testado en el IIR. La presión de trabajo al a cual se realizaron todas las determinaciones fue 276 kPa.



Figura: 2.2. Túnel de viento con boquilla ubicada en posición de trabajo.

Las boquillas utilizadas en el presente trabajo están fabricadas bajo la norma ISO 10625 (1996), con la denominación abanico plano con inducción de aire de baja deriva. El código identificador es 110-02 y 110-03 con 110° de apertura del abanico y caudales teóricos de alrededor de 800 y 1200 ml min^{-1} respectivamente a tres bares de presión. Las boquillas se seleccionaron al azar de un lote de 20 para trabajar finalmente con 6 repeticiones. Las características de las boquillas se presentan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Marca, modelo y material de construcción del Venturi y del Inserto

Marca	Modelo	Caudal (ml min ⁻¹)	Material de construcción del Venturi	Material de construcción del Inserto
Agrotop.	AirmixNodrift.(AM)	800	Polímero	Polímero
Agrotop.	AirmixNodrift.(AM)	1200	Polímero	Polímero
Hypro.	Guardian AI (HY)	800	Polímero	Polímero
Hypro.	Guardian AI (HY)	1200	Polímero	Polímero
Teejet.	Air Induction Teejet (AIC)	790	Polímero	Polímero
Teejet.	Air Induction Teejet (AIC)	1180	Polímero	Polímero
Teejet.	Air Induction Teejet (AIVS)	790	Polímero	Acero Inoxidable
Teejet.	Air Induction Teejet (AIVS)	1180	Polímero	Acero Inoxidable

Los caudales indicados en la tabla 2.1, corresponden a los indicados por los fabricantes de las distintas marcas (Agrotop, 1999; Hypro, 2010; Teejet,2014)

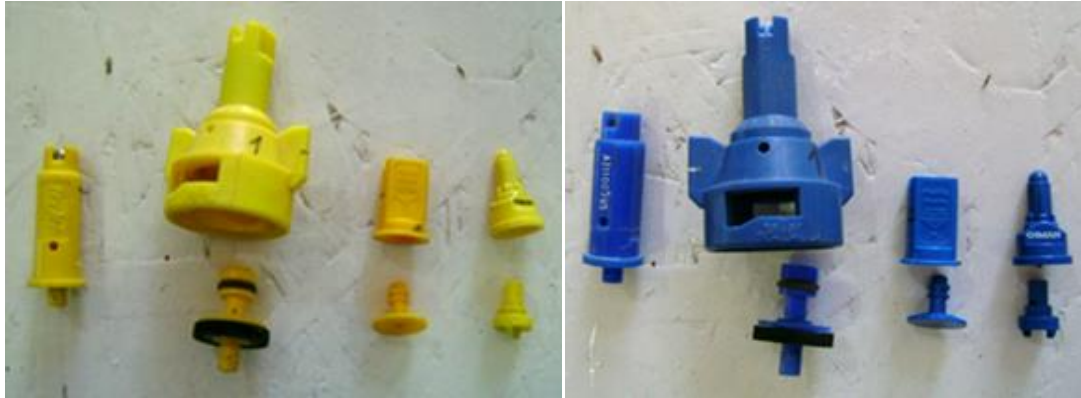


Figura: 2.3. Despiece de boquillas de aire inducido empleadas en el trabajo. De izquierda a derecha: Teejet Air Induction con inserto de acero inoxidable, Teejet Air Induction con inserto de polímero, AgrotopAirmixNodrift con inserto de polímero, HyproGuardian AI con inserto de polímero. Todas con Venturi de polímero. Las boquillas de color amarillo corresponden al caudal 800 y las de azul a 1200 ml min⁻¹.

Para asegurar la calidad de las boquillas, se seleccionaron marcas de empresas de importante trayectoria en el país. La elección de pastillas y caudales seleccionados obedecen a los más empleados en el mercado argentino según las empresas proveedoras y los materiales de las mismas obedecieron a la disponibilidad de existencia en el mercado.

El proceso de desgaste acelerado se realizó con una suspensión en agua de óxido de aluminio (Al₂O₃) a una concentración de 20 g l⁻¹, según norma ISO 5682-1. La temperatura del caldo de pulverización permaneció entre 17,2 – 18,5 °C, determinado por medio de un termómetro sumergible de mercurio marca “SIAP” n° serie 639. El caldo de pulverización se renovó de acuerdo a la norma arriba mencionada cada 6,5 y 4,4 horas para los caudales 800 y 1200 ml m⁻¹ respectivamente.

De acuerdo al material de construcción de las boquillas seleccionadas, las lecturas de caudal erogado se realizaron a 0 minutos (min), 4min, 25 min, 1 h 30 min y 7 h 30 min.

Para determinar el efecto del desgaste acelerado sobre el Venturi y su incidencia en la exoderiva se pulverizó a 300 kPa y 50 cm de altura del banco de distribución en túnel de viento (Farooq et.al., 2001; Nuyttens et. al., 2009). Las boquillas se colocaron de modo que el viento impacte de manera frontal sobre el espectro de distribución, favoreciendo de esta forma las mayores pérdidas. La velocidad del aire se

mantuvo alrededor de $4,8 \text{ m seg}^{-1}$ de acuerdo con los trabajos realizados por Miralles y Bogliani (1993) citado por Masiá (2010).

El caldo asperjado sobre el banco de distribución se recolectó en la parte inferior de las canaletas, en recipientes para luego cuantificar el volumen derivado por gravimetría a través de una balanza electrónica con precisión de $\pm 0,1$ gramo y el tiempo se controló con un cronómetro electrónico con décimas de segundo.

Los caudales de las boquillas con y sin viento fueron utilizados para realizar dos pruebas:

- a) Determinar si el efecto del desgaste alteró el caudal entregado por la boquilla, para lo cual se consideró como caudal de referencia al caudal erogado por la boquilla al minuto cero del desgaste. Las comparaciones se efectuaron entre los caudales en los distintos momentos del desgaste y el caudal nominal de la pastilla (800 y 1200 ml m^{-1}).
- b) Determinar si el efecto del desgaste tuvo incidencia en la exoderiva, entendiéndose por exoderiva, al caudal no recogido en el banco de ensayo como consecuencia de la acción directa del aire a velocidad generado en el túnel de viento (Murphy et al., 2000; Wolf y Frohberg, 2002; Wolf, 2003). El volumen derivado fue calculado como la diferencia entre el volumen erogado por la boquilla y el recogido por el banco de ensayo sometido a la acción del túnel de viento.

Para realizar el cálculo de volumen derivado, se empleó la ecuación (1)

$$\text{Volumen derivado (ml)} = V \text{ asp (ml)} - V \text{ rec (ml)} \dots \dots \dots (1)$$

En donde:

$V \text{ asp}$: volumen asperjado sin viento medido en ml.

$V \text{ rec}$: volumen recogido en el banco con viento, como consecuencia de la acción del túnel de viento, medido en ml.

Con el fin de visualizar en forma sencilla las diferencias de caudal (Δ Caudal) en cada momento del desgaste respecto de nuevas, se utilizó la ecuación (2)

$$\Delta \text{Caudal (ml min}^{-1}) = X_0 - X_n \quad \dots\dots\dots (2)$$

En donde:

X_0 es caudal erogado previo al desgaste (ml min⁻¹).

X_n es caudal erogado en las distintas etapas del desgaste (ml min⁻¹), 4min, 25 min, 1 h 30 min y 7 h 30 min.

Para poder comparar boquillas de distintos caudales, el volumen derivado pierde significancia. Para lo cual se prefirió utilizar el concepto de deriva expresado en términos porcentuales. Para realizar el cálculo se empleó la ecuación (3).

$$\text{Deriva (\%)} = \frac{\text{Caudal derivado (ml min}^{-1})}{\text{Caudal erogado min 0 (ml min}^{-1})} * 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

En donde:

Caudal derivado (ml min⁻¹): es el caudal derivado por efecto del viento en 1 minuto.

Caudal erogado min 0 (ml min⁻¹): es el caudal erogado al minuto cero.

Los tratamientos analizados en el presente trabajo corresponden a boquillas dentro del grupo de caudal teórico 800 ml min⁻¹ ,denominadas comercialmente 02 (indicando el caudal erogado en galones min⁻¹ a 300 kPa) de diferentes marcas comerciales y por otro lado en ensayo independiente, boquillas dentro del grupo de caudal teórico 1200 ml min⁻¹ de las mismas industrias de fabricación. La variable de análisis fue el caudal erogado por las boquillas en los distintos momentos del desgaste.

Quedando el ensayo configurado con cuatro tipos de pastillas en dos caudales, 02 y 03, sometidas a funcionamiento en banco de desgaste. Siendo la variable respuesta el caudal erogado en túnel de viento al min 0 (estado de nuevas), min 4, min 25, 1 h 30 min y 7 h 30 min. Utilizándose un diseño completamente aleatorizado en forma independiente para los distintos caudales empleados.

Para la determinación de caudales tanto con viento como sin viento, se llevaron a cabo sobre seis muestras de cada tipo de pastilla diez repeticiones, como método de análisis estadístico se empleó un análisis de varianza para después hacer la prueba de comparaciones múltiples de LSD con un nivel de significancia del 5%. Los datos fueron analizados con el programa estadístico InfoStat versión 2014e.

Las condiciones climáticas al momento del ensayo, así como la velocidad del viento en el túnel de ensayo, se determinaron a través de un termohigrómetro marca “Testo” modelo 410-2 y la temperatura del caldo de pulverización se mantuvo entre 17,0 – 18,8°C medido a través de un termómetro sumergible de mercurio marca “SIAP” n° serie 639.

3. Resultados y Discusión

3.1. Condiciones Climáticas

La tabla 3.1.1. indica las condiciones de temperatura y humedad relativa durante las determinaciones de caudal en el banco distribución. Sin embargo, a pesar de no haberse determinado las condiciones de laboratorio, se considera que fueron similares a las observadas por Farroq et al. (1996) trabajando en ambiente confinado. Por lo tanto, se supone que los resultados no fueron afectados.

Tabla 3.1.1 Valores promedios de Temperatura ambiente(°C) y Humedad Relativa (%) registrados durante las horas de determinación de caudales.

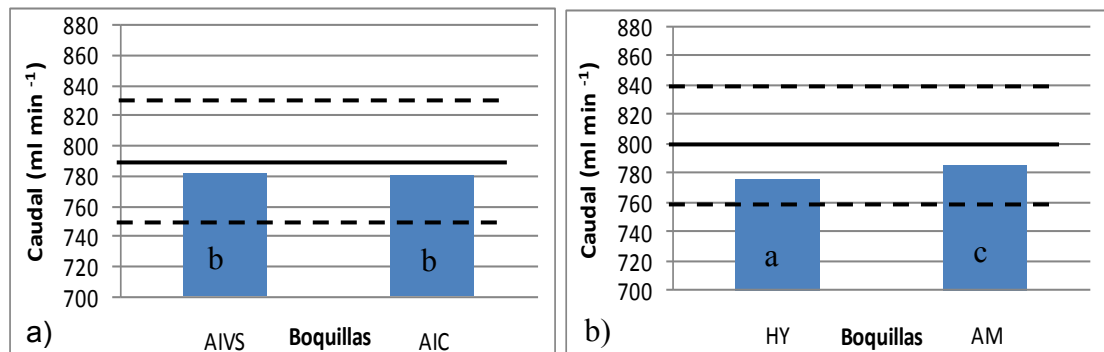
Día	Horas	Valores promedios Humedad relativa (%)	Valores promedios Temperatura ambiente (°C)
1	3	47,4	25,2
2	4	46,3	25,6
3	6	47,8	23,7
4	9	50,6	21,5
5	8	47,5	24,5
6	8,5	40,5	28,5
7	4	49,5	28,8
8	10	49,2	28,3
9	8	48,9	23,8
10	3	49,6	21,1
11	5	48,5	23,7
12	9	48,3	20,0
13	4	47,9	21,3
14	6	49,1	20,0
15	5,5	46,6	22,5
16	5	44,7	23,7
17	6	48,9	25,0
18	11	49,1	24,1
19	10	38,4	22,6
20	4	38,9	18,9
21	10	46,1	23,1
22	6	38,8	30,3
23	8,5	38,0	30,5
24	6,5	49,2	15,0
25	5,5	41,9	26,8
26	6	37,8	30,1
27	10	41,6	28,9
28	4	33,8	31,3
29	10	48,9	30,9
30	3	48,7	29,2
TOTAL	202,5	45,4	25,1

3.2. Boquillas de caudal teórico de 800 ml min⁻¹

3.2.1. Minuto 0

A continuación en el gráfico 3.2.1.1 a y b, se puede visualizar los caudales erogados por las distintas boquillas sin haber sido sometidas a desgaste y los límites considerados por la norma ISO 5286/1 que contempla ± 5 % del caudal nominal para

pastillas nuevas. La línea continua representa el caudal declarado por los fabricantes (790 ml min⁻¹ para la marca Teejet y 800 ml min⁻¹ para las boquillas Airmix y Hypro). Las líneas discontinuas representan los límites de $\pm 5\%$ del caudal nominal; del análisis de estos gráficos se evidencia que ninguna de estas boquillas está fuera de rango según lo estipulado por dicha norma.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.1.1: Caudales erogados (ml min⁻¹) por las boquillas de caudal teórico de 800 ml min⁻¹ nuevas y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas dentro de la norma ISO 5286/1. La línea continua, representa el caudal nominal a 300 kPa y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado para ser considerado dentro de la norma ISO 5286/1 (caudal nominal $\pm 5\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 790 ml min⁻¹ b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 800 ml min⁻¹.

En la Tabla 3.2.1.1 se muestran los valores de volumen derivado, en donde es posible observar claramente tres grupos de boquillas con diferente potencialidad de ocasionar daño por deriva. Un grupo de mayor volumen derivado formado por representantes de las marcas HY y AM con mayor potencialidad de ocasionar daño por deriva y otros dos grupos formados por las boquillas AIC y AIVS. Dentro de la marca Teejet, las boquillas con inserto de acero inoxidable arrojaron valores de menor volumen derivado.

Tabla 3.2.1.1. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) previo a la etapa de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	74,50 a	9,5
AIC	105,11 b	13,5
HY	131,99 c	17,0
AM	135,25 c	17,3

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Las diferencias estadísticas de volumen derivado pueden ser explicadas por los distintos diseños y técnicas constructivas. En este sentido se puede observar que las boquillas HY y AM presentan dimensiones más reducidas en su eje longitudinal respecto de las boquillas Teejet. Estas diferencias de dimensiones seguramente provocan alteraciones en el grado de turbulencia y posiblemente en la interfase líquido - aire. Otro de los aspectos relevantes diferenciales en lo constructivo se visualiza en las boquillas de la marca Teejet. Las mismas presentan el inserto de acero inoxidable a diferencia del resto que utilizan polímeros, esta característica además de provocar seguramente diferencias en la durabilidad es posible que también tenga influencias en aspectos de diseño. Esta combinación de mayores dimensiones en el plano longitudinal asociadas a diferencias del inserto terminaría comportándose como la mejor opción antideriva.

Con respecto a las boquillas HY y AM si bien son relativamente similares en cuanto a tamaño, ambas presentan diferencias de diseño importantes. Si bien ambas presentan las mismas dimensiones en su eje longitudinal, tanto de la boquilla como del Venturi, la geometría externa de estas piezas es distinta produciendo seguramente diferencias en la cámara de turbulencia. Sin embargo, se comportan de manera análoga en cuanto al volumen derivado, no presentando diferencias significativas entre las mismas.

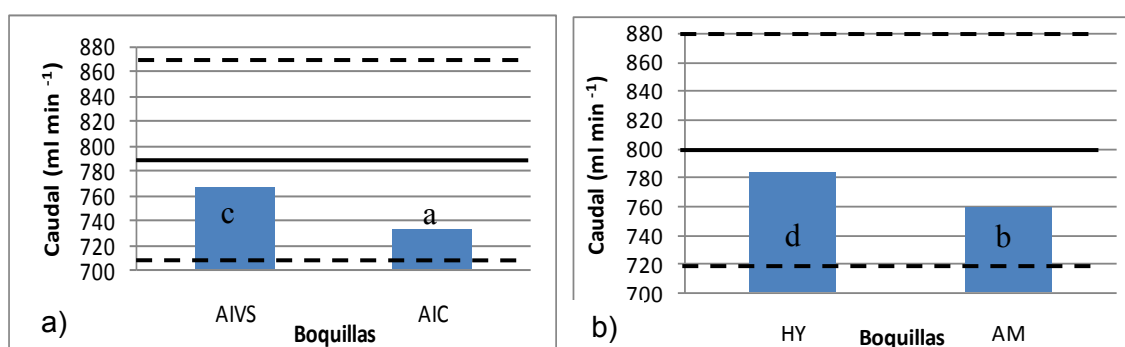
Muy probablemente estas diferencias de diseño son las responsables del espectro de pulverización de gotas. De esta manera las boquillas con mayores dimensiones en su eje longitudinal declaran tamaños de gotas extremadamente grueso (503 – 665 μ), mientras que las representantes de las marcas Hy y AM expresan

tamaños de gotas consideradas dentro de la categoría gruesa (250- 375 μ) para la presión utilizada (Hypro, 2010; Teejet, 2014;).

Las diferencias de volumen derivado entre la de más y menos deriva es del 60% de caudal y respecto de su seguidora inmediata existe una diferencia del 30%. Claramente el comportamiento de los distintos diseños de pastillas, expresa diferencias importantes en cuanto al volumen derivado. Esta situación, independientemente de los efectos posteriores del desgaste, define la importancia al momento de la elección y compra de una determinada boquilla al condicionar la potencialidad de ocasionar daños por deriva.

3.2.2. Minuto 4

En los gráficos siguientes 3.2.2.1 a y b, se puede visualizar los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 4 min a desgaste representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan \pm el 10% del caudal nominal. Criterio utilizado para el recambio de boquillas usadas, adoptado por la mayoría de los fabricantes y en concordancia con varios autores (Ozkan et al., 1992 a; Ozkan et al., 1992 b; Jayanthi et al., 1998; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016), ya que porcentajes mayores afectan de manera significativa el espectro de distribución.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.2.1: Caudales erogados (ml min⁻¹) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min⁻¹ a 300 kPa luego de 4 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal

y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 790 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 800 ml min^{-1} .

A 4 min del ensayo se observan disminuciones del caudal erogado, respecto al estado inicial. Estas diferencias de caudales permiten separar cuatro grupos de boquillas con diferencias estadísticamente significativas.

Sin embargo, se distinguen cambios entre ellas lo que se verifica cuando se observa el orden con respecto al caudal erogado al minuto 0 del desgaste. Esto corresponde con una disminución de los caudales arrojados, situación que se confirma a lo largo de los tratamientos siguientes. Dicha disminución de caudales en las primeras etapas del desgaste acelerado se corresponde con lo hallado por Matthews y Thornhill (1996) Sarubbi (2005), quien explica esta situación como una posible hidratación de los componentes de fabricación de las boquillas en boquillas de polímeros. Otra posible hipótesis que surge de este trabajo puede estar relacionada con el efecto del desgaste sobre la geometría interna de las pastillas que, durante las primeras etapas del desgaste por cambios de angulaciones internas, provoca leves disminuciones de caudal para luego entrar en la etapa final de aumentos progresivos.

Es posible verificar una mayor variación de caudal dentro de la marca Teejet según el material de construcción del inserto, corroborándose mayor modificación del caudal para la de polímero en concordancia con lo hallado por Krishnan et al. (2004), Kecskesne Nagy et al. (2014), Duvnjak et al. (2009), para boquillas convencionales. A medida que aumenta el tiempo de desgaste las tasas de disminución de cada una de ellas no se comportan en forma similar, observándose una alternancia en los caudales erogados a lo largo del ensayo.

A continuación en la tabla 3.2.2.1, se expresan las diferencias de caudal (Δ Caudal), para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 4 min al desgaste acelerado.

La mayoría de las boquillas evidenciaron disminuciones de caudal, salvo las representantes de la marca HY que experimentó un leve aumento.

Tabla 3.2.2.1: Diferencias de caudal (ml min⁻¹) luego de 4 minutos de desgaste acelerado.

Boquilla	Δ Caudal (ml min ⁻¹) a 4 min
HY	-7,6
AIC	46,6
AIVS	14,8
AM	25,6

Seguidamente en la tabla 3.2.2.2 se puede visualizar la formación de cuatro grupos homogéneos en cuanto al volumen derivado.

Tabla 3.2.2.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 4 minutos en banco de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	73,87 a	9,6
AIC	92,98 b	12,6
AM	120,02 c	15,8
HY	156,05 d	19,9

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

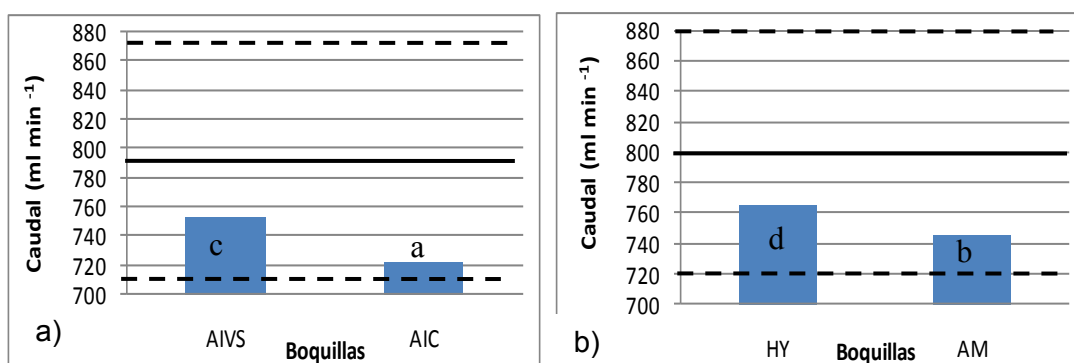
Las boquillas AIVS continúan presentando el mejor comportamiento respecto al menor riesgo potencial de ocasionar deriva seguidas por las AIC de manera similar al minuto cero. En ambos casos no se evidencia efecto del desgaste manteniéndose, lo que se refleja en valores absolutos muy similares al minuto cero.

Con respecto a las boquillas AM y HY a pesar de tener un diseño más parecido en cuanto a sus dimensiones, luego de este período de desgaste, se aprecian diferencias significativas entre ellas. Mientras que la boquilla AM siguió la tendencia de reducir el caudal en forma similar a las AIVS y AIC. La HY fue la única que lo aumento manifestando además los mayores volúmenes derivados, lo que estaría indicando un desgaste más acelerado respecto a las demás. Por otra parte, las diferencias entre ambos grupos son muy evidentes produciéndose hasta un 110% más deriva para las pastillas más estrechas.

3.2.3. Minuto 25

Se verifican disminuciones en los caudales erogados a los 25 minutos de desgaste respecto al punto anterior de la evaluación. Tal cual en la etapa anterior del desgaste, estas diferencias de caudales permite separar cuatro grupos de boquillas con diferencias estadísticamente significativas. De acuerdo a lo observado en los gráficos 3.2.3.1 a y b.

En dichos gráficos, también es posible observar los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 25 min a desgaste representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan \pm el 10% del caudal nominal. Criterio utilizado para el recambio de boquillas usadas. De estos gráficos queda evidenciado que la boquilla AIC está muy próxima al límite de \pm 10% del caudal nominal para considerar su descarte, con un margen mayor para las otras tres boquillas.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.3.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 25 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 790 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 800 ml min^{-1} .

A continuación en la tabla 3.2.3.1, se expresan las diferencias de caudal para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 25 min al desgaste acelerado. Todas

las boquillas acusan disminuciones de caudal, entre 1,4 y 7,5% para las HY y AIC respectivamente.

Tabla 3.2.3.1: Diferencias de caudal (ml min^{-1}) respecto del caudal al estado de nuevas luego de 25 minutos de desgaste acelerado.

Boquilla	Δ Caudal (ml min^{-1}) a 25 min
HY	11,3
AIC	58,6
AIVS	28,2
AM	40,1

A continuación en la tabla 3.2.3.2, es posible apreciar que a partir de las boquillas de la marca Teejet el volumen derivado es significativamente menor, existiendo diferencias también entre las AM y HY. Manteniéndose la tendencia, de la boquilla HY a esta altura del desgaste a ser la que más volumen deriva con mayor potencialidad de ocasionar daños. Las diferencias de volumen derivado es del 93%, la misma muestra una tendencia al aumento mientras avanzan las etapas del desgaste. Es interesante observar que las diferencias a favor de las AIVS que se manifestaban por sobre las AIC tanto a los cero como a los cuatro minutos no se visualizan, igualándose el comportamiento de ambas.

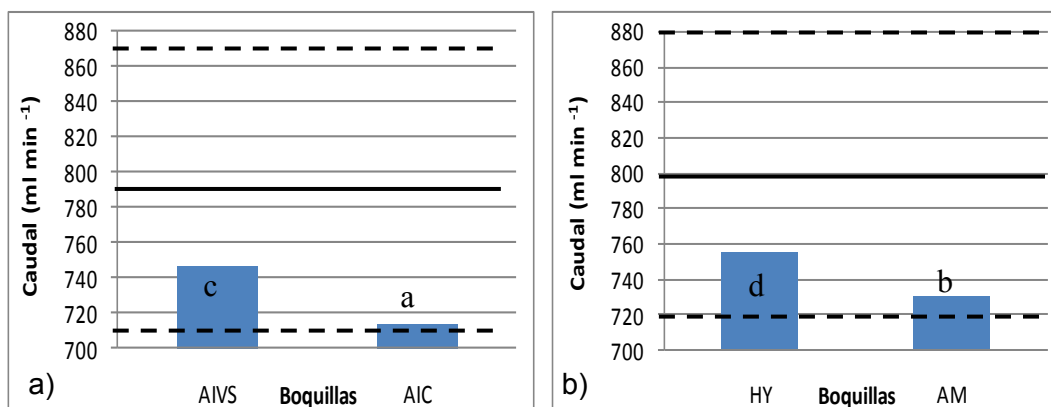
Tabla 3.2.3.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 25 minutos en banco de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIC	79,84 a	11,7
AIVS	84,41 a	11,2
AM	133,99 b	17,9
HY	154,08 c	20,1

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

3.2.4. 1 Hora 30 Minutos

En los siguientes gráficos 3.2.4.1 a y b, se observan los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 1 h 30 min a desgaste representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan \pm el 10% del caudal nominal. Criterio utilizado para el recambio de boquillas usadas. En estos gráficos no solo la boquilla AIC está muy próxima al límite de \pm 10% del caudal nominal para considerar su descarte, sino también la boquilla AM. En este tipo de boquillas de costo elevado, una posible recomendación pueda ser ampliar el margen inferior (caudal nominal -10%) como criterio de descarte, entendiendo la disminución de caudal como un proceso normal de las primeras etapas del desgaste. En tanto que las boquillas AIVS y HY no acusan tal disminución de caudal.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.4.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de $1 \text{ h } 30 \text{ min}$ de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 790 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 800 ml min^{-1} .

A pesar del desgaste acumulado, aún continúa verificándose en todas las boquillas evaluadas disminuciones de caudal. Permaneciendo las diferencias significativas de grupos homogéneos, tal cual se verifica luego 4 min de desgaste. Estas diferencias de caudales permiten separar cuatro grupos homogéneos de boquillas con diferencias estadísticamente significativas. Este comportamiento está en concordancia

a lo hallado por Matthews y Thronhill (1996), Sarubbi (2005) y Albuz (2014) quienes observaron disminuciones de caudal en las primeras etapas del desgaste para luego entrar en la etapa de aumentos progresivos.

Luego en la tabla 3.2.4.1, quedan expresadas las diferencias de caudal para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 1 hora 30 min al desgaste acelerado. Se continúan profundizando las disminuciones de caudal con pequeños aumentos. Manteniéndose las HY como las que menor disminución sufren con 2,7% y en el otro extremo las AIC con 8,4% las que mayor disminución experimentaron.

Tabla 3.2.4.1: Diferencias de caudal (ml min^{-1}) respecto del caudal al estado de nuevas luego de 1 hora 30 min de desgaste acelerado.

Boquilla	Δ Caudal (ml min^{-1}) a 1 hora 30 min
HY	21,5
AIC	66,1
AIVS	33,8
AM	54,7

Si bien la variable caudal no demuestra diferencias con respecto al orden de volúmenes erogados, en relación al punto de desgaste anterior, si continúa la tendencia a la disminución de los caudales totales. En la tabla 3.2.4.2, cuando se analizan los volúmenes derivados, las diferencias se profundizan quedando el grupo Teejet como las de menor volumen derivado y dentro de este grupo con una diferencia a favor de la boquilla con inserto de acero inoxidable lo cual indicaría una mayor vida útil de la boquilla. Por otra parte todo el grupo estudiado aumentó el volumen derivado a diferencia de lo sucedido en las evaluaciones anteriores.

Tabla 3.2.4.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 1 hora 30 minutos en banco de desgaste.

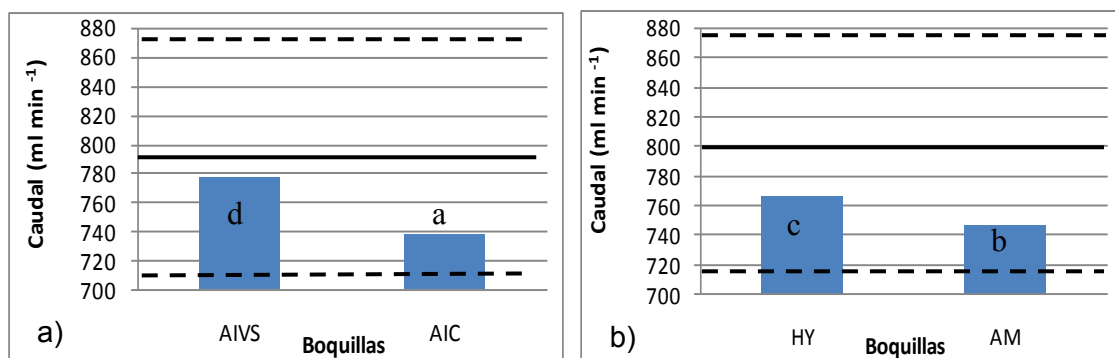
Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	80,06 a	10,7
AIC	105,31 b	14,7
AM	143,69 c	19,7
HY	161,83 d	21,5

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

3.2.5. 7 Horas 30 Minutos

Recién en este punto del desgaste, donde el ensayo sufre una cierta cantidad de horas acumuladas, se puede observar el cambio de la tendencia a la disminución de los caudales para mostrar un ligero aumento de los mismos respecto al punto anterior evaluado (gráficos 3.2.5.1 a y b). A la hora de analizar estos aumentos, cuantitativamente, se observan variaciones del 1,5-2% donde se encuentran las boquillas HY y AM y aumentos del 3,2-3,8% para AIC y AIVS respectivamente. A pesar del desgaste acumulado, no se observa aumentos del caudal erogado por sobre el teórico o nominal en ninguno de los casos.

A continuación, se observan los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 7 h 30 min a desgaste representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan \pm el 10% del caudal nominal. Con este nivel de desgaste alcanzado no se observaron modificaciones de caudal que obliguen al descarte de ninguna de las boquillas.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.5.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas caudal teórico de 800 ml min^{-1} a 300 kPa luego de $7 \text{ h } 30 \text{ min}$ de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 790 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 800 ml min^{-1} .

En la tabla 3.2.5.1, se ponen en evidencia las diferencias de caudal para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 7 horas 30 min al desgaste acelerado. Las variaciones de caudal están entre $0,6\%$ y $5,4\%$ para las boquillas AIVS y AIC respectivamente. Es posible pensar que de sumarse más tiempo de desgaste en pocas horas más, se ingresaría en la fase de desgaste positiva verificándose aumentos de caudal por encima del nominal.

Tabla 3.2.5.1: Diferencias de caudal (ml min^{-1}) respecto del caudal inicial luego de 7 horas 30 min de desgaste acelerado.

Boquilla	Δ Caudal (ml min^{-1}) a 7 horas 30 min
HY	9,8
AIC	42,7
AIVS	4,8
AM	39,9

Al analizar los caudales derivados, tabla 3.2.5.2., es posible visualizar que el grupo de las Teejet con alrededor de 55% menos de volumen derivado con respecto a

las AM y HY. Esta tendencia se viene manteniendo desde el inicio del ensayo, lo cual indicaría un mejor comportamiento en cuanto a la resistencia al desgaste de las boquillas AIC y AIVS con un efecto mayor en cuanto al control de deriva potencial.

Tabla 3.2.5.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 7 horas 30 minutos en banco de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	98,83 a	12,7
AIC	110,64 a	15,0
HY	162,91 b	21,2
AM	164,92 b	22,2

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

3.2.6. Evolución del caudal erogado en función de la duración

Al analizar todas las boquillas de caudales teóricos 800 ml min^{-1} en conjunto durante todo el ensayo, a partir del gráfico 3.2.6.1, se puede apreciar que a pesar del desgaste acumulado luego de 7 h 30 min de trabajo, ninguna boquilla excede el caudal nominal $\pm 10\%$ (790 y 800 ml min^{-1}) parámetro utilizado como criterio de descarte de boquillas usadas (Ozkan et al., 1992 a; Ozkan et al., 1992 b; Jayanthi et al., 1998; Hypro, 2010; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016). A diferencia de lo observado por distintos autores al trabajar con boquillas convencionales con inserto de polímero donde con este tiempo de desgaste las variaciones de caudal sugieren el descarte de las mismas (Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991; Roskopft, 2004; Albuz, 2014).

En líneas generales se puede observar que, en todas las boquillas se detectan disminuciones de significancia estadística en los caudales erogados luego de su paso por el banco de desgaste, salvo en aquellas de la marca HY. Estos resultados concuerdan con los obtenidos Reichard et al. (1991), Roskopft (2004), Albuz (2014), que al trabajar con boquillas construídas en polímeros hallaron en las primeras etapas del desgaste disminuciones del caudal erogado, hasta entrar en la etapa de aumentos progresivos. Reichard et al. (1991) ya a los 5 minutos de iniciado el proceso de desgaste

verificó disminuciones de caudal de hasta el 5%. Datos que concuerdan con lo hallado por Roskopf (2004) que en el mismo tiempo de desgaste encontró disminuciones de 0,3 – 5,6%. La firma Albus (2014) en cambio para hallar similares niveles de disminución de caudales tuvo que avanzar en el período de desgaste.

Si bien estos autores no explicitan los motivos de este comportamiento seguramente se deben a modificaciones de la geometría interna de las pastillas lo que provocaría mayores turbulencias del flujo reflejándose en menores caudales.

Este comportamiento se verifica en todas las boquillas del presente ensayo con excepción de HY a los cuatro minutos siendo esta boquilla la que presentó peor performance de las cuatro evaluadas.

Por otra parte el efecto del desgaste sobre todo en las primeras etapas no se encuentra lo suficientemente estudiado. Así otros autores encontraron que el CV de la distribución de boquillas usadas de bronce, polímero y acero inoxidable endurecido fue menor que en las mismas boquillas antes de ser sometidas al desgaste manteniéndose siempre debajo del 15% (Ozkan et al., 1992 b) lo que parecería ser una acción positiva del desgaste, de manera similar trabajos realizados por István Sztachó-Pekáry (2006), muestran menores variaciones de distribución del caldo asperjado, en boquillas usadas que en nuevas para el mismo tipo de boquilla y material.

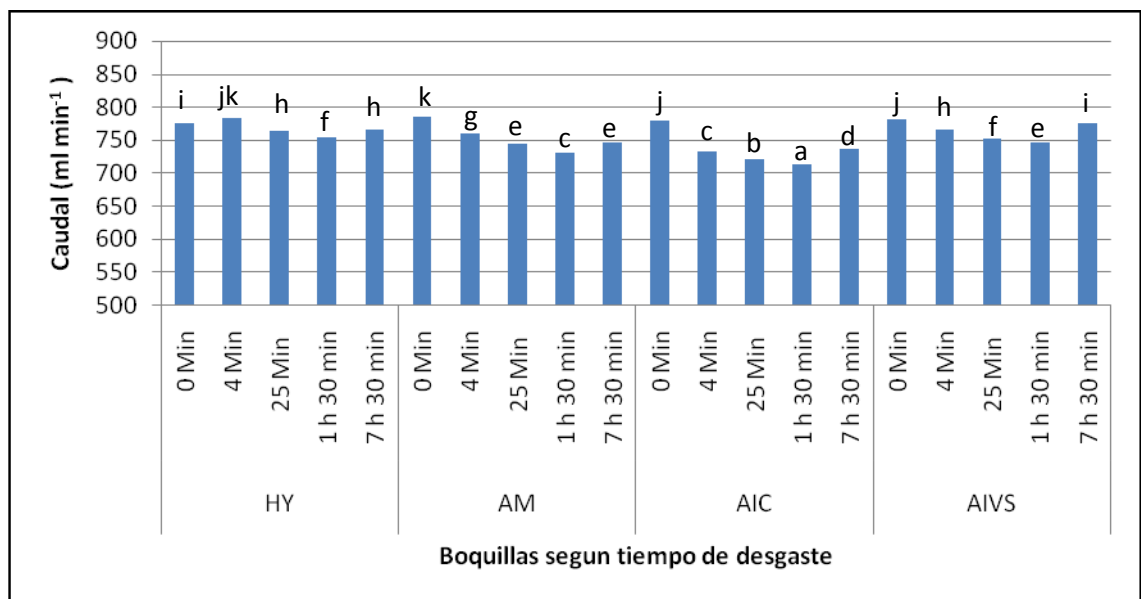
En las boquillas Teejet con distinto material de construcción del inserto, se observan diferencias de caudal erogado con significancia estadística luego del paso por el banco de desgaste. En contraposición a lo hallado por Sarubbi (2010), Hypro (2010) y Albus (2014) quienes encontraron que el acero inoxidable presenta menor resistencia al desgaste que el polímero. Posiblemente estas discrepancias puedan ser explicadas por diferentes composiciones de los polímeros usados, en ninguno de los ensayos, incluido el presente, se encuentra disponible la composición molecular del material como tampoco las especificaciones del mismo siendo el término “polímero” un genérico adaptado a diferentes materiales

En las boquillas HY, AM y AIC con inserto de polímero, las diferencias de caudales erogados muy probablemente se deban a características de diseño.

En el presente trabajo, es posible ver que el punto de inflexión de las curvas de las distintas boquillas se encontraría alrededor de la 1 hora 30 minutos. Aproximadamente a partir de este momento el desgaste producido podría ser tal que

además de posibles modificaciones de la geometría interna de la boquilla, se comenzaría a producir aumentos en los diámetros internos dando como resultado el aumento del caudal. Para el presente ensayo las tasas de modificación fueron relativamente reducidas, en el orden del 1 al 4% aproximadamente.

Posiblemente estas variaciones de caudal menores al 10% del caudal nominal encuentren explicación en el mayor tamaño del orificio de descarga, que puede ser entre el 2,1 y 2,75 veces mayor que una boquilla convencional de igual caudal según Guler et al. (2007).



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.6.1: Caudal (ml min⁻¹) erogado por las boquillas de caudal teórico 800 ml min⁻¹ en los distintos momentos del desgaste.

En el gráfico 3.2.6.2 se puede analizar en conjunto el volumen derivado de todas las boquillas en los distintos momentos del desgaste. A partir del mismo es posible visualizar dos grupos, uno de mayor volumen derivado constituido por las boquillas de menor desarrollo en su eje longitudinal, dentro del cual se ubican las marcas HY y AM, y el otro de menor deriva formado por las boquillas de mayor desarrollo en su eje longitudinal (AIC y AIVS). Dentro de este último grupo, también existen diferencias estadísticamente significativas, a favor de la boquilla con inserto de acero inoxidable.

Cuando se analiza lo sucedido por efecto del desgaste desde el punto de vista del caudal derivado la situación cambia notablemente. Mientras que los caudales totales

erogados disminuían para luego comenzar a aumentar, pero sin llegar a los del punto cero, aún después de 7 h 30 min de desgaste, el caudal derivado se comportó de manera diferente. En todas las boquillas se evidencia una tendencia al aumento del volumen derivado a medida que se van acumulando minutos de desgaste a partir de 1 h 30 min.

La situación aquí encontrada con boquillas asistidas por aire presenta alguna similitud con lo expuesto por Ozkan et al. (1992 a), Kozel (2009) y Zhu et al. (2004), quienes plantean que el aumento de caudal erogado en boquillas de abanico plano luego del desgaste se manifiesta en la parte central del espectro de distribución. Por otro lado, el volumen central del caldo asperjado en boquillas abanico plano, está constituido por una mayor proporción de gotas de menor tamaño con mayor potencialidad de ocasionar deriva Matthews (1993), Ozkan et al. (1992 a).

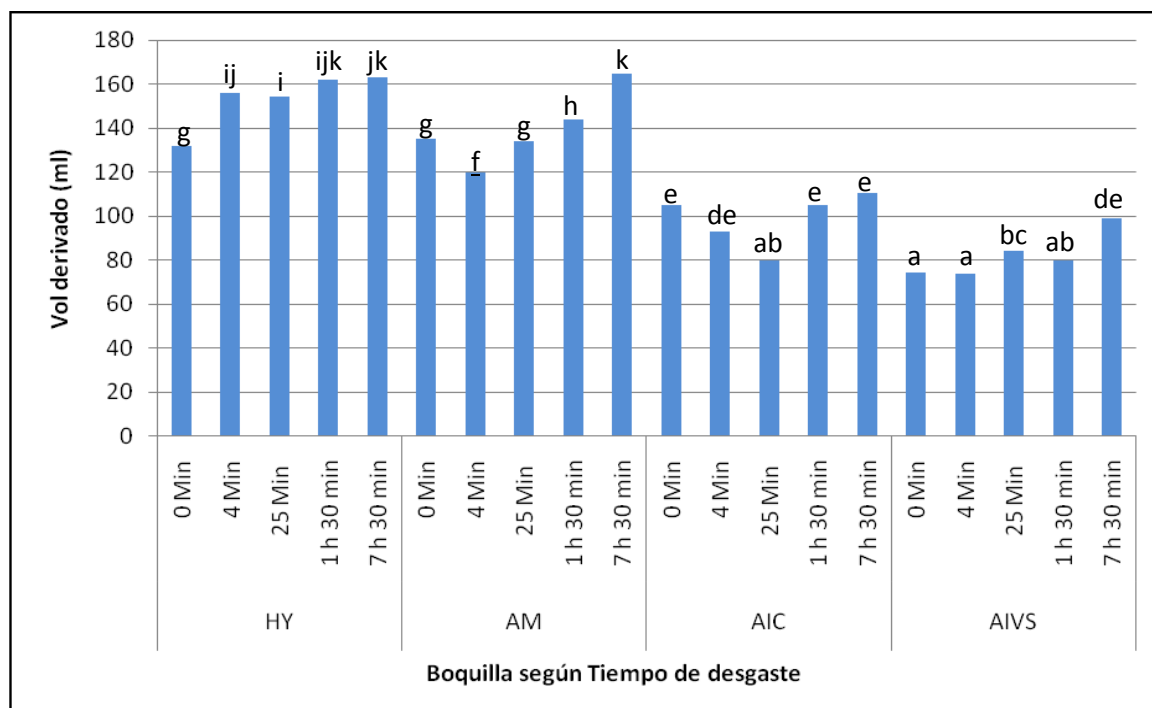
Los aumentos de volumen derivado registrados en el presente trabajo, seguramente se deben a una mayor proporción de gotas finas del caldo asperjado o a una menor proporción de gotas grandes constituidas por la interfase aire-líquido. Esto es como consecuencia de cambios de la geometría interna de las boquillas, posiblemente estos cambios alteran las proporciones iniciales de los fluidos agua y aire del caldo asperjado, produciendo una mayor proporción de gotas finas o menor de gruesas. Esta situación también podría ser parte de la explicación de los menores volúmenes recogidos. Si bien en el presente trabajo no fue posible medir los tamaños de gota en forma directa, si la cantidad de aire aumenta, es posible que ello atente contra la cantidad de líquido asperjado.

Por otra parte el aumento de los volúmenes derivados presta mayor relevancia debido a que suceden en el contexto de la disminución de caudal total, lo que indica que los cambios en los tamaños de gota para este tipo de boquillas son alterados en forma negativa e importante por el efecto del desgaste respecto al objetivo de estas pastillas que es disminuir la deriva.

En contraposición, Ganzelmeier (2002) citado por Kecskesne Nagy et al. (2014) trabajando con boquillas Lechler aire inducido ID 120-03 encontró, que el DVM pasó de 445 μ en boquillas nuevas a 469 μ luego de 10% de aumento de caudal.

Este comportamiento distinto del volumen derivado vs caudal total para las boquillas antideriva utilizadas presenta también implicancias en la metodología usual de

campo de evaluar la viabilidad de pastillas a través de mediciones de caudal según norma, no constituyéndose una práctica compatible para evaluar su capacidad antideriva.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.2.6.2: Volumen derivado (ml) de las boquillas de caudal teórico 800 ml min^{-1} durante el desgaste acelerado.

A continuación en la tabla 3.2.6.1, se expresan los resultados en términos de porcentaje de deriva. Este porcentaje se obtiene de relacionar la diferencia de caudales recogido con y sin viento con el caudal sin viento en cada tiempo de desgaste.

Tabla 3.2.6.1: Porcentajes de deriva provocados por las boquillas de caudal teórico de 800 ml min⁻¹ en los distintos tiempos de desgaste.

Tiempo de desgaste	Boquillas	Deriva (%)
0 Min	AIVS	9,5
	AIC	13,5
	HY	17,0
	AM	17,3
4 Min	AIVS	9,6
	AIC	12,6
	HY	19,9
	AM	15,8
25 Min	AIVS	11,2
	AIC	11,7
	HY	20,1
	AM	17,9
1 Hora 30 Min	AIVS	10,7
	AIC	14,7
	HY	21,5
	AM	19,7
7 Hora 30 Min	AIVS	12,7
	AIC	15,0
	HY	21,2
	AM	22,2

Al inicio del ensayo se puede apreciar diferencias de deriva entre las distintas marcas posiblemente atribuibles a las diferencias de diseños, en cuanto a largo de Venturi, tamaño y diseño de cámara de mezclado y material de fabricación del inserto.

A medida que se va acumulando tiempo de desgaste, esas diferencias se tornan cada vez más notorias, las pastillas Teejet se muestran más resistentes al desgaste en términos de deriva. Mientras que las pastillas de diseño menor en su eje longitudinal ya a 1 hora 30 minutos de desgaste manifiestan un aumento importante de

deriva. Estos resultados concuerdan con lo hallado por Nanduri et al. (2002) donde plantea que el largo de la boquilla tiene relación directa con el desgaste. Es posible que al pasar el mismo caudal con una determinada concentración de abrasivo por el Venturi de menor desarrollo, el efecto del desgaste sea mayor que en las boquillas AIC y AIVS de mayor desarrollo del Venturi, provocando en consecuencia aumento de la deriva. Planteándose diferencias significativas dentro de esta misma marca a favor de la boquilla con inserto de acero inoxidable. Estos resultados concuerdan con varios autores (Duvnjak, 2009; Krishnan et.al., 2004; Sarubbi, 2010; Kecskesne Nagy et al., 2014) quienes hallaron que el desgaste de las boquillas con inserto construido de acero inoxidable es menor a las de polímero. Sin embargo, la información bibliográfica es dispar en este aspecto. Así, Sarubbi (2010), al evaluar desgaste real a campo de boquillas pulverizadoras XR 11002, el desgaste de las boquillas de acero inoxidable fue superior a las de polímero, a pesar de que las diferencias entre ambas fueron mínimas, con aumentos de caudal de 2,31% y 2,01% respectivamente. De forma similar la firma Albuz (2014) indica que para las boquillas de acero inoxidable ya a las 5 horas de desgaste manifestaron 10% de aumento de caudal mientras que en las de polímero para llegar al mismo nivel de desgaste fue necesario someterlas a desgaste por 30 horas.

Debido a limitaciones presupuestarias las evaluaciones de desgaste se cumplieron en 7h 30 min, probablemente este tipo de boquillas donde el orificio de descarga es de mayor sección comparado con una boquilla convencional de igual caudal (Guler et al. ,2007) sea necesario más tiempo en banco de desgaste para observar aumentos de caudal. Sin embargo, en todas las pastillas se registraron aumentos de caudal derivado respecto al estado de nuevas.

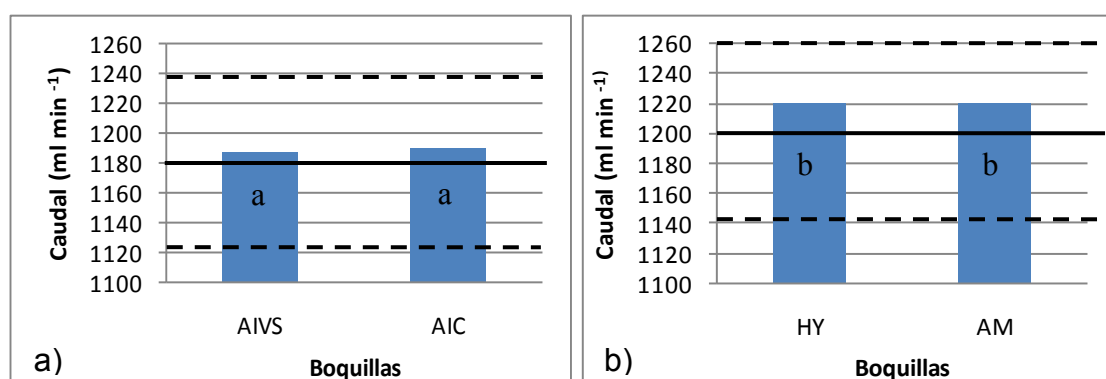
3.3. Pastillas de caudal teórico de 1200 ml min⁻¹

3.3.1. Minuto 0

El análisis estadístico detecta diferencias significativas de los caudales entregados por las distintas marcas, pudiéndose observar dos grupos homogéneos.

Un primer grupo formado por las boquillas AIC y AIVS y un segundo grupo constituido por las boquillas HY y AM, ambos grupos erogaron caudales dentro de rango según lo estipulado por la norma ISO 5286/1 que contempla $\pm 5\%$ del caudal nominal (1180 ml min⁻¹, para Teejet, y 1200 ml min⁻¹ para AM y HY).

A continuación en el gráfico 3.3.1.1 a y b, se puede visualizar los caudales erogados por las distintas boquillas al inicio del ensayo y los límites considerados por la norma ISO 5286/1 que contempla el caudal nominal $\pm 5\%$ para pastillas nuevas. La línea continua representa el caudal declarado por los fabricantes (1180 ml min^{-1} para las boquillas AIC y AIVS y 1200 ml min^{-1} para las boquillas AM y HY). Las líneas discontinuas representan los límites de $\pm 5\%$ del caudal nominal; del análisis de estos gráficos se evidencia que ninguna de estas boquillas está fuera de rango según lo estipulado por dicha norma.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.3.1.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa nuevas y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas dentro de la norma ISO 5286/1. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado para ser considerado dentro de la norma ISO 5286/1 (caudal nominal $\pm 5\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 1180 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 1200 ml min^{-1} .

A continuación la Tabla 3.3.1.1 muestra valores de volumen derivado, que resulta de la diferencia entre el caudal erogado sin viento y el caudal recogido con influencia de viento. Del análisis de volumen derivado es posible observar claramente tres grupos de boquillas con diferente potencialidad de ocasionar daño por deriva. Un grupo de menor volumen derivado formado por las boquillas AIVS y AIC, no presentando diferencias en cuanto al material de construcción del inserto. En el otro extremo, un grupo con mayor potencialidad de ocasionar daño por deriva, donde se encuentra la boquilla HY y un grupo intermedio constituido por la AM.

Las diferencias de volumen derivado tanto de AM como de HY resultan entre un 50 y un 58% más respecto de AIC y AIVS. Las mismas pueden hallar su explicación

en los distintos diseños, diámetro y largo de Venturi, diseños de cámara de mezclado y sección del orificio de salida (Butler Ellis et al. 2002). Las boquillas HY y AM son de dimensión más reducida en su eje longitudinal respecto de las boquillas Teejet. Al analizar las boquillas dentro de este último grupo se puede ver que el material de construcción del inserto, no gravita sobre el comportamiento de la pastilla. Así la pastilla con inserto de acero inoxidable se comporta de manera similar que la de polímero.

Tal cual lo acontecido en las boquillas de menor sección, las prestaciones de los distintos diseños de boquillas expresan diferencias importantes en cuanto al volumen derivado y con esto mayor potencialidad de ocasionar daños por deriva. En este caudal no se evidencian diferencias estadísticamente significativas de volumen derivado entre los distintos materiales de construcción del inserto, hecho que se observó en las boquillas de menor sección.

Tabla 3.3.1.1. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) previo a la etapa de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIC	115,41 a	9,7
AIVS	116,28 a	9,7
AM	173,99 b	14,2
HY	185,33 c	15,2

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

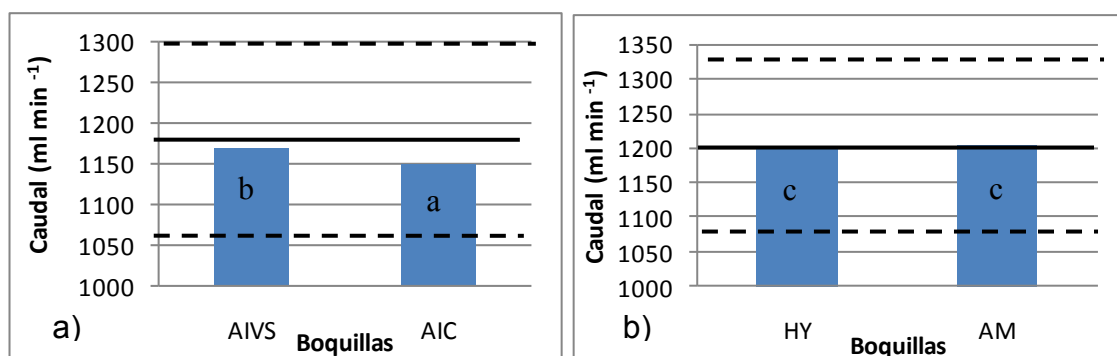
3.3.2. Minuto 4

En apenas unos minutos de trabajo comienzan a producirse modificaciones en los caudales erogados respecto de nuevas permitiéndose observar tres grupos en cuanto al caudal erogado. Un grupo de mayor caudal formado por las boquillas de menor desarrollo en su eje longitudinal representadas por las boquillas HY y AM, seguidas por las boquillas AIC con inserto de polímero y el último grupo de menor caudal conformado por las boquillas AIVS con inserto de acero inoxidable. Posiblemente, el material de construcción del inserto podría tener alguna incidencia.

Al igual que lo sucedido con las boquillas de menor caudal, también en estas boquillas comienzan a presentar una tendencia a la disminución de los caudales arrojados, fase llamada de desgaste negativo (Sarubbi, 2005) del orden del 1,3 -1,6%,

situación que se confirma a lo largo de los tratamientos siguientes. A diferencia de la boquilla de menor sección, a medida que aumenta el tiempo de desgaste las tasas de disminución de cada una de ellas se comportan de manera similar.

En los gráficos siguientes 3.3.2.1 a y b, se puede visualizar los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 4 min a desgaste representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan el caudal nominal \pm el 10%. Criterio utilizado para el recambio de boquillas usadas, adoptado por la mayoría de los fabricantes y en concordancia con varios autores (Ozkan et al., 1992 a; Ozkan et al., 1992 b; Jayanthi et al., 1998; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016), ya que porcentajes mayores afectan de manera significativa el espectro de distribución. Todas las boquillas conservan los parámetros funcionales.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.3.2.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 4 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 1180 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 1200 ml min^{-1} .

A continuación en la tabla 3.3.2.1, se expresan las diferencias de caudal, para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 4 min al desgaste acelerado. Todas las boquillas evidenciaron disminución del caudal erogado. Las disminuciones relativas respecto del caudal inicial rondan entre el 1,3 al 3,3%.

Tabla 3.3.2.1: Diferencias de caudal (ml min⁻¹) luego de 4 minutos de desgaste acelerado.

Boquilla	Δ Caudal (ml min ⁻¹) a 4min
AM	16,4
AIVS	19,1
HY	19,4
AIC	39,8

Seguidamente en la tabla 3.3.2.2 surgen cuatro grupos con diferencias estadísticamente significativas en cuanto a volumen derivado con diferente potencialidad de ocasionar daño por deriva. Las boquillas Teejet presentan menor riesgo de deriva y dentro de estas la AIC manifiesta un 15% más volumen derivado que la AIVS.

Las mayores diferencias de volumen derivado se evidencian con respecto a las boquillas de menor eje longitudinal, observándose diferencias de 43,8% entre las AIC y AM, para aumentar nuevamente 12,6% la HY. Las diferencias entre la boquilla que más y menos deriva generan, es de alrededor del 86 % (HY y AIVS, respectivamente). A esta altura del desgaste para las boquillas de menor caudal la diferencia era del 110%.

Tabla 3.3.2.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 4 minutos en banco de desgaste.

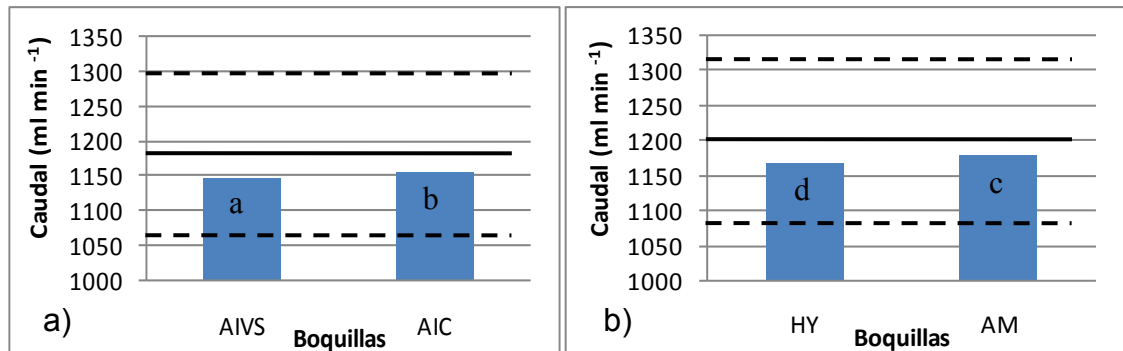
Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	96,68 a	8,1
AIC	110,94 b	9,3
AM	159,58 c	13,1
HY	179,69 d	14,7

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05 Test LSD)

3.3.3. Minuto 25

En los gráficos siguientes 3.3.3.1 a y b, se expresan los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 25 min a desgaste representando con la línea continua el caudal nominal y en líneas discontinuas el caudal

nominal \pm el 10% que se adopta como tolerancia. Este es el criterio utilizado para el recambio de boquillas usadas, (Ozkan et al., 1992 a; Ozkan et al., 1992 b; Jayanthi et al., 1998; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016), dado que porcentajes mayores afectan de manera significativa el espectro de distribución. Según este criterio con 25 min de desgaste ninguna de las boquillas acusan modificaciones de los parámetros funcionales.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.3.3.1: Caudales erogados (ml min^{-1}) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min^{-1} a 300 kPa luego de 25 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 1180 ml min^{-1} b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 1200 ml min^{-1} .

De los gráficos 3.3.3.1 a y b, se puede apreciar la tendencia a la disminución de los valores absolutos de caudal. Dicha tendencia presenta valores inferiores respecto de las boquillas de menor caudal. Para las boquillas de caudales teóricos 1200 ml min^{-1} , en esta instancia del desgaste, acusa disminuciones de alrededor del 0,3%, mientras que para las boquillas de menor sección la disminución va del 1,4 al 5,1%.

En la tabla 3.3.3.1, se expresan las diferencias de caudal, para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 25 min al desgaste acelerado. Todas las boquillas continúan evidenciando disminución del caudal erogado profundizando la fase negativa de desgaste. Respecto al punto anterior evaluado las diferencias de caudal son mayores

(2,8 – 4,2%). Valores proporcionalmente similares a los hallados en boquillas de menor sección.

Tabla 3.3.3.1: Diferencias de caudal (ml min^{-1}) luego de 25 minutos de desgaste acelerado.

Boquilla	Δ Caudal (ml min^{-1}) a 25min
AIC	33,6
HY	40,0
AIVS	41,3
AM	51,7

Seguidamente en la tabla 3.3.3.2, continua la tendencia de cuatro grupos con diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la potencialidad de ocasionar deriva. En este caso las diferencias mayores se observan entre AIC y AM (25%). Dentro de las boquillas similares en su eje longitudinal las diferencias disminuyen entre el 8 – 18%.

Manteniéndose la tendencia, de la pastilla HY de ser la responsable del mayor volumen derivado con mayor potencialidad de ocasionar daños, situación que también se evidencia en las boquillas de menor caudal. Las diferencias de volumen derivado entre los extremos es del 61%, la misma muestra una tendencia al aumento mientras avanzan las etapas del desgaste.

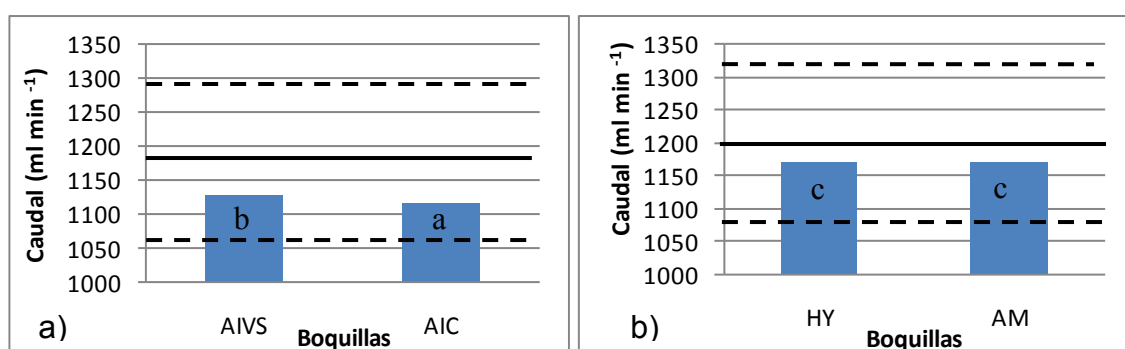
Tabla 3.3.3.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 25 minutos en banco de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	110,30 a	9,3
AIC	119,65 b	10,0
AM	149,76 c	12,2
HY	177,47 d	14,5

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ test LSD)

3.3.4. 1 Hora 30 Minutos

En los gráficos siguientes 3.3.4.1 a y b, se expresan los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 1 h 30 min a desgaste representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan el caudal nominal \pm el 10%. Criterio utilizado para el recambio de boquillas usadas, (Ozkan et al., 1992 a; Ozkan et al., 1992 b; Jayanthi et al., 1998; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016). De acuerdo este criterio con 1 h 30 min de desgaste ninguna de las boquillas acusa modificaciones de los parámetros funcionales.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.3.4.1: Caudales erogados (ml min⁻¹) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min⁻¹ a 300 kPa luego de 1 h 30 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continua, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal \pm 10%). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 1180 ml min⁻¹ b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 1200 ml min⁻¹.

Aún en esta etapa del desgaste, del análisis de los caudales,, continúa registrándose una disminución del caudal erogado. A pesar, de haber sido sometidas a un avanzado proceso de desgaste. En este momento se puede ver una ligera reducción de la tasa de disminución de caudales con valores entre 1,6-0,7%. La misma muy por debajo de la disminución observada en las boquillas de menor caudal, que se encuentra en valores de 7,5-8,4% en concordancia con lo hallado por los autores (Reichard et al., 1991, István Sztachó-Pekáry, 2006 y Duvnjak et al., 2009)

A continuación en la tabla 3.3.4.1, se expresan las diferencias de caudal, para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 1 h 30 min al desgaste acelerado. Todas las boquillas vuelven a evidenciar disminuciones de caudal respecto al punto anterior de evaluación, persistiendo la fase negativa del desgaste.

Tabla 3.3.4.1: Diferencias de caudal (ml min^{-1}) luego de 1h 30 minutos de desgaste acelerado

Boquilla	Δ Caudal (ml min^{-1}) a 1h 30 min
HY	48,6
AM	51,5
AIVS	59,4
AIC	72,6

Del análisis de los volúmenes derivados, tabla 3.3.4.2., se observan tres grupos diferentes en cuanto a la potencialidad de ocasionar daños por deriva. Las boquillas AIC y AIVS como las de menor volumen derivado sin diferencias a pesar de los diferentes materiales de construcción del inserto. La boquilla HY con 82% más de volumen derivado y con mayor potencialidad de ocasionar daño la AM con 89%.

Tabla 3.3.4.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 1 hora 30 minutos en banco de desgaste.

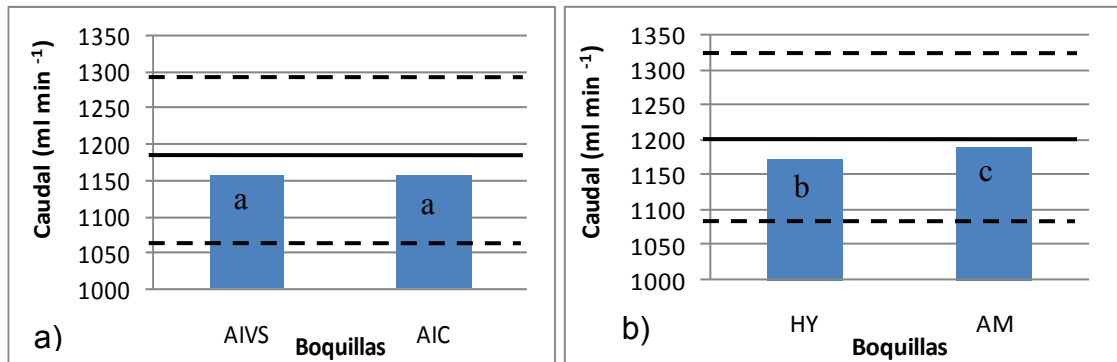
Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	98,33 a	8,2
AIC	99,86 a	8,3
HY	181,83 b	14,9
AM	189,73 c	14,5

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

3.3.5. 7 Hora 30 Minutos

En los gráficos 3.3.5.1 a y b, se expresan los caudales erogados por las distintas boquillas luego de haber sido sometidas por 7 h 30 min a desgaste continuo representado por la línea continua y en líneas discontinuas que representan el caudal

nominal \pm el 10%. Siguiendo este criterio luego del desgaste acumulado ninguna de las boquillas sufre modificaciones de caudal que obliguen al recambio. A diferencia de las boquillas de menor sección las variaciones de caudal en ningún momento se acercaron a los límites.



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.3.5.1: Caudales erogados (ml min⁻¹) por las boquillas de caudal teórico de 1200 ml min⁻¹ a 300 kPa luego de 7 h 30 min de desgaste y su relación respecto de los caudales límites para ser consideradas utilizables según el criterio adoptado por fabricantes y algunos autores. La línea continúa, representa el caudal nominal y las líneas discontinuas representan el criterio utilizado de descarte (caudal nominal $\pm 10\%$). a) Boquillas AIVS y AIC con caudal nominal equivalente a 1180 ml min⁻¹ b) Boquillas HY y AM con caudal nominal equivalente a 1200 ml min⁻¹.

Es posible observar a través los caudales erogados en todas las boquillas un cambio de la tendencia a la disminución de los caudales para mostrar un ligero aumento de los mismos. Estos aumentos se ubican en el orden de 1,6-2,5%. En las boquillas de menor caudal también se observan ligeros aumentos de caudal en el orden de 1,5-3,8%. Esto parece indicar que en las boquillas de menor sección las modificaciones de caudal resultan de mayor significancia.

A continuación en la tabla 3.3.5.1, se expresan las diferencias de caudal, para las distintas boquillas luego de ser sometidas por 7h 30 minutos al desgaste acelerado.

Tabla 3.3.5.1: Diferencias de caudal (ml min^{-1}) luego de 7h 30 minutos de desgaste acelerado

Boquilla	Δ Caudal (ml min^{-1}) a 7h 30min
HY	29,56
AIC	32,59
AIVS	30,93
AM	47,66

Todas las boquillas muestran disminuciones en el Δ Caudal respecto de la tabla 3.3.4.2, lo cual indicaría un cambio de la tendencia de disminución de caudal erogados para entrar finalmente a la etapa de aumento crecientes de caudal. Estos datos concuerdan con lo hallado por Reichard et al. (1991), Barrufet y Sales (1989); Corrêa, H. y Neto, B. (1976), Roskopf (2004), Albu, (2014), que trabajando con boquillas convencionales, hallaron que a medida que se prolonga el tiempo de desgaste se observan aumentos de caudal. Posiblemente de continuarse el trabajo en banco de desgaste estos caudales en algún momento superen el caudal erogado por las boquillas previo al desgaste. No obstante, el conjunto de boquillas con inducción de aire muestra una escasa variación del caudal producto del uso. Sin embargo, ello no implica que se produzcan cambios en la estructura de la boquilla en sus diferentes componentes que afecten su prestación.

Al analizar los caudales derivados, tabla 3.3.5.2., se visualizan diferencias significativas entre las distintas boquillas. Las boquillas AIVS se presentan como de menor caudal derivado, seguidamente se puede observar las AIC, donde su principal diferencia es el material de construcción del inserto con 6,5% más de caudal derivado que la de inserto en acero inoxidable. Mientras que la diferencia que se observa con la siguiente en cuanto a mayor caudal derivado es de 58% para la boquilla AM, y de esta a su vez con la siguiente, 6,4% en la boquilla HY. Por otra parte, los caudales derivados parecieran altos para todas las pastillas, independientemente de las diferencias entre sí.

Esto indicaría un mejor comportamiento en cuanto a la resistencia al desgaste de las boquillas AIC y AIVS con un efecto mayor en cuanto al control de deriva potencial, tendencia que se viene manteniendo desde el inicio del ensayo.

Tabla 3.3.5.2.: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de volumen derivado (ml) y (%) luego de 7 horas 30 minutos en banco de desgaste.

Boquilla	Vol derivado (ml)	Vol derivado (%)
AIVS	112,32 a	9,4
AIC	119,65 b	10,0
AM	189,74 c	15,5
HY	201,93 d	16,5

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

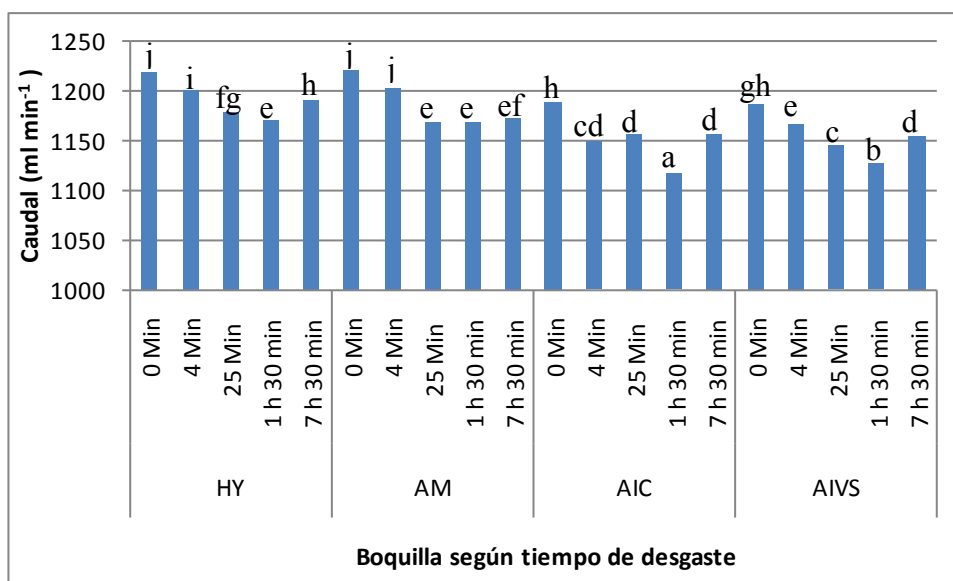
3.3.6. Todos los tratamientos en boquillas de caudal teórico 1200 ml min^{-1}

Del análisis del gráfico 3.3.6.1, se puede apreciar que todas las boquillas sufren disminución significativa del caudal erogado, tendencia que se repite hasta 1 h 30 min de desgaste. Durante este período todas las boquillas ensayadas acusan disminuciones del caudal inicial. A partir de allí cambia la tendencia, más suavemente en las boquillas AM, y comienza un aumento del caudal erogado por las boquillas aunque en ningún caso alcanzaron o sobrepasaron el caudal inicial de la boquilla sin desgaste, al menos en el tiempo de ensayo.. A partir de dicho límite, las boquillas gastadas cambian la forma del patrón de distribución, conservando el ancho pero con mayor concentración de líquido en la zona central de la distribución (Ozkan et al., 1992 a). Pese a ello, la ausencia de incrementos por sobre el caudal inicial limita la semejanza de variaciones de prestación entre boquillas de diseño convencional y de aire inducido con el paso del tiempo, ya que no puede comprobarse que se produzca un aumento lineal del caudal con el paso del tiempo (Ozkan et al., 1992 b, Ripoli et. al., 1998). En función de estos cambios de prestación para boquillas con inducción de aire, futuros trabajos deberían considerar la evaluación de los patrones y espectros de pulverización de las boquillas sometidas al desgaste para establecer si más allá de la ausencia de aumentos significativos de caudal se hubiesen producido una afectación de la uniformidad de distribución donde el caudal puede considerarse como un indicador de desgaste. Estos resultados se encuentran en concordancia con los hallados por (Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991; Roskopf, 2004; Albus, 2014) para boquillas de material plástico. En este caso a diferencia de lo informado por Reichard et al. (1991) y Duvnjak et al. (2009) también las boquillas con inserto de acero inoxidable registraron una disminución del caudal desde el inicio del proceso de desgaste hasta el tiempo establecido para la finalización del ensayo. Podría establecerse la hipótesis que las

variaciones en el caudal no son afectadas por el material del inserto de la boquilla sino que la semejanza de comportamiento de todas las boquillas se vinculan con el material constructivo del venturi, el cual es polímero para la totalidad de las mismas.

El punto de inflexión ubicado alrededor de 1h 30min de desgaste acumulado, coincide en ambos caudales de boquillas ensayadas, aunque para las boquillas de menor caudal, parecería ser que ocurre antes. Estas diferencias pueden observarse al calcular las tasas de modificación de caudales. Mientras que para las boquillas de menor sección del orificio de descarga están en el orden del 1 al 4%, para las boquillas donde el orificio es de mayor sección las mismas se ubican en el orden del 1 al 2,5% para el mismo período de desgaste acumulado. Esto parecería indicar que también en boquillas con aire inducido el caudal que eroga la boquilla incide sobre la tasa de desgaste, tal como fuera informado por Ozkan et al. (1992 a y b) Nanduri et al. (2002) ,Kecskesne Nagy et al. (2014). Sin embargo, no pareciera que fuese la sección del orificio de salida la que tiene mayor incidencia en el aumento del caudal, ya que la misma no es la encargada de dicha función, que se relaciona en mayor medida con los orificios de entrada, conducciones y la salida (garganta) del venturi que permite la entrada del aire dentro del líquido en el interior de la boquilla. El tamaño de la garganta y el orificio de salida se relacionarían en mayor medida según Butler Ellis et al (2002) con el tamaño de las gotas y la cantidad de aire la sección del orificio de salida tiene incidencia en el desgaste, de acuerdo con lo hallado por Ozkan et al. (1992 a y b), Nanduri et al., (2002) ,Kecskesne Nagy et al. (2014).

Luego de 7 h 30 min de desgaste el material de construcción no tiene influencia en el tiempo de duración de las boquillas independientemente de los caudales, a diferencia de lo hallado por los autores (Menzies et al., 1976; Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991, Huyghebaert et al., 2001; Duvnjak et al., 2009; Hypro, 2010; Albuz, 2014;) quienes encontraron diferencias a favor del acero inoxidable. Posiblemente esto guarde relación con el orificio de salida de las boquillas con inducción de aire que para los mismos caudales estas boquillas tienen 2,1-2,75 veces mayor sección (Guler et al. 2007).



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

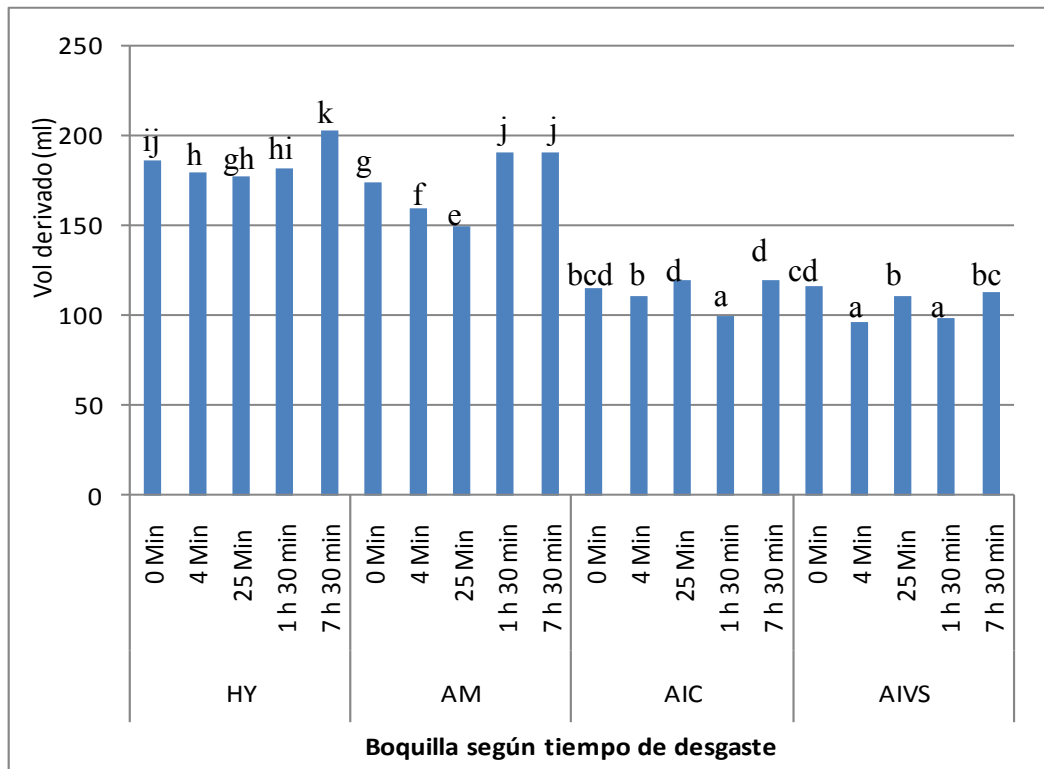
Gráfico 3.3.6.1.: Caudal (ml min⁻¹) erogado por las boquillas de 1200 ml min⁻¹ de caudal teórico en los distintos momentos del desgaste.

En el gráfico 3.3.6.2, permite analizar en conjunto el volumen derivado de todas las boquillas con caudales teóricos de 1200 ml min⁻¹ durante las distintas etapas del desgaste. La prestación de las boquillas con inducción de aire no es uniforme en cuanto a los volúmenes derivados y su potencial de disminución de la deriva. A diferencia de lo observado en las boquillas de menor sección, donde luego de las primeras etapas del desgaste se produce aumento del volumen derivado. Los diferentes diseños de pastillas presentan diferente prestación en el control de la deriva. Los valores, expresados en forma porcentual varían aproximadamente entre el 9% y el 15% para las pastillas nuevas. Si bien las velocidades de viento son elevadas, también lo es el porcentaje de caldo derivado. A su vez, tampoco resultan uniformes las tendencias en la evolución de deriva con el paso del tiempo. Algunas de ellas, HY y AM, de peor prestación en general, alcanzan valores significativamente mayores al final del ensayo con respecto a la situación original, mientras que AIVS y AIC no alcanzan a diferenciarse significativamente al comparar los valores de final e inicio del ensayo. La deriva se asocia fuertemente con el tamaño de gota producido, siendo mayor cuanto menor es el $D_v 0,5$ de la población de gotas (Doble et al., 1985; Miller y Hadfield, 1989; Piggot y Matthews, 1999; Hewitt, 1998). Asimismo, el desgaste de las pastillas se asocia no solamente con un aumento del caudal de las pastillas sino también con un aumento del tamaño de gotas producido (Menzies et al., 1976; Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991, Ozkan et al., 1992b, Huyghebaert et al., 2001). Los resultados de la evaluación de la deriva parecen contradecir en un análisis global lo expuesto anteriormente.

En todas las boquillas se puede observar una tendencia al aumento de deriva en la medida que avanza el desgaste de las mismas. En el grupo (HY y AM), de peor comportamiento esta tendencia se observa claramente, mientras que el grupo AIC y AIVS se comporta de forma más errática, lo que posiblemente indique que para este grupo aún con un desgaste acumulado de 7 h 30 min todavía se mantiene un control de deriva similar a las pastillas nuevas. Es importante destacar que a pesar de lo comentado los valores absolutos de deriva aún para las de peor comportamiento tuvieron muy pequeña variación por efecto del desgaste. Esta situación parecería diferir de lo registrado para las boquillas de menor caudal donde todas mostraron luego de 7 h 30 min de desgaste acumuladas pérdidas en el control de deriva, lo que sugiere una mayor duración de pastillas de mayor sección. Posiblemente esta situación encuentre su explicación en la mayor sección del orificio de descarga de las boquillas de aire inducido.

Para las boquillas AM y HY luego de 1 h 30 min, en ambos caudales de boquillas ensayados se verifica un cambio en su capacidad de controlar deriva. Por otro lado, la medida de caudal erogado no es un indicador confiable del desgaste si se toma como valor referencial al caudal teórico. Ninguna de las boquillas, aún después de sufrir 7h 30min de desgaste, mostraba valores de caudal arrojado que indicaran su recambio tomando como criterio diferencias del 10% respecto al valor teórico.

En todas las boquillas se puede observar pequeñas disminuciones del volumen derivado a medida que se acumula tiempo de desgaste, marcando inclusive diferencias significativas en algunos casos. Estas disminuciones, que indicarían una aparente mejora en el funcionamiento de las boquillas, se pueden deber a cambios de la geometría interna de las mismas, responsables de las proporciones iniciales de la mezcla de fluidos agua y aire del caldo asperjado, provocando una mayor proporción de gotas menos susceptibles de deriva. Las disminuciones de volumen derivado se observan hasta prácticamente 1 h 30 min, a partir de aquí es posible visualizar una leve tendencia al aumento. Esta situación se observa con más claridad en las boquillas de menor sección. Esto mostraría, también en boquillas de aire inducido, una posible mayor susceptibilidad de las boquillas de menor caudal al efecto del desgaste. Prácticamente desde el inicio se puede ver que las boquillas de menor caudal producen proporcionalmente mayor deriva, en concordancia con lo hallado por Keccskesne Nagy (2014), Nanduri et al. (2001).



Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Gráfico 3.3.6.2.: Volumen (ml) derivado de las boquillas 1200 ml min^{-1} de caudal teórico durante el desgaste acelerado.

A continuación en la tabla 3.3.6 es posible observar en las boquillas de menor sección aumentos de deriva, mientras que en la boquillas de mayor caudal prácticamente la deriva se mantuvo inalterable luego del tiempo ensayado. En las boquillas de menor sección los aumentos de deriva registrados fueron alrededor del 3% para las boquillas AIVS y AIC mientras que para las boquillas de menor desarrollo de su eje longitudinal dichos aumentos se ubican en el orden del 5%. En cambio, en las boquillas de mayor sección aún después de 7 h 30 min de desgaste acumulado prácticamente conservan los valores de deriva originales. Se observa un claro aumento de deriva en las boquillas de menor sección a medida que avanza el proceso de desgaste, independientemente del tipo de boquilla. En cambio, dicho aumento no se visualiza en las boquillas de mayor sección manifestando un comportamiento similar al de inicio. A pesar del desgaste acumulado como responsable de las variaciones de volumen derivado expresado de manera porcentual, estas boquillas permanecen dentro de niveles de deriva potencial considerados como normal (0-25%) de acuerdo al sistema de clasificación internacional de la BCPC (Southcombe et al., 1997, Hewitt et al., 1998).

Tabla 3.3.6.1: Porcentajes de deriva provocados por las boquillas en los distintos tiempos de desgaste.

Tiempo de desgaste	Boquillas	Deriva (%) Boquillas Caudal 800 ml min ⁻¹	Deriva (%) Boquillas Caudal 1200 ml min ⁻¹
0 Min	AIVS	9,5	9,7
	AIC	13,5	9,7
	HY	17,0	15,2
	AM	17,3	14,2
4 Min	AIVS	9,6	8,1
	AIC	12,6	9,3
	HY	19,9	14,7
	AM	15,8	13,1
25 Min	AIVS	11,2	9,3
	AIC	11,7	10,0
	HY	20,1	14,5
	AM	17,9	12,2
1 Hora 30 Min	AIVS	10,7	8,2
	AIC	14,7	8,3
	HY	21,5	14,9
	AM	19,7	15,5
7 Hora 30 Min	AIVS	12,7	9,4
	AIC	15,0	10,0
	HY	21,2	16,5
	AM	22,2	15,5

se observa un claro aumento de deriva en las boquillas de menor sección a medida que avanza el proceso de desgaste, independientemente del tipo de boquilla. En cambio, dicho aumento no se visualiza en las boquillas de mayor sección manifestando un comportamiento similar al de inicio. A pesar del desgaste acumulado como responsable de las variaciones de volumen derivado expresado de manera porcentual, estas boquillas permanecen dentro de niveles de deriva potencial considerados como normal (0-25%) de acuerdo al sistema de clasificación internacional de la BCPC (Southcombe et al., 1997, Hewitt et al., 1998).

En el gráfico siguiente 3.3.6.3., se reflejan los volúmenes derivados, la boquilla de mayor sección es la responsable de generar mayor volumen derivado. Al inicio esta diferencia está entre el 28-40%, mientras que hacia la finalización del ensayo esta diferencia se ubica entre 13-15%. Es posible observar una tendencia a igualarse los volúmenes derivados de ambos caudales de boquilla, que pueda deberse posiblemente al mayor desgaste que sufre la boquilla de menor sección en el lapso de tiempo analizado.

Si bien el desgaste acelerado es responsable del aumento de D_v 0,5 tanto en boquillas convencionales (Ozkan et al., 1992b) y esto concuerda con lo hallado por Ganzelmeier (2002) trabajando con boquillas Lechler aire inducido ID 120-03; las variaciones en la deriva sobre todo en las boquillas de menor sección, evidencian una mayor proporción de gotas susceptibles al arrastre por viento.

Muy probablemente en boquillas de mayor caudal el espectro de distribución este conformado por mayor cantidad de gotas que son arrastradas por la acción del viento en términos absolutos que a las boquillas de menor caudal. Dado que a pesar de lo encontrado por Ganzelmeier (2002) en boquillas Lechler aire inducido ID 120-03 el DVM pasó de 445 μm en boquillas nuevas a 469 μm luego de 10% de aumento de caudal.

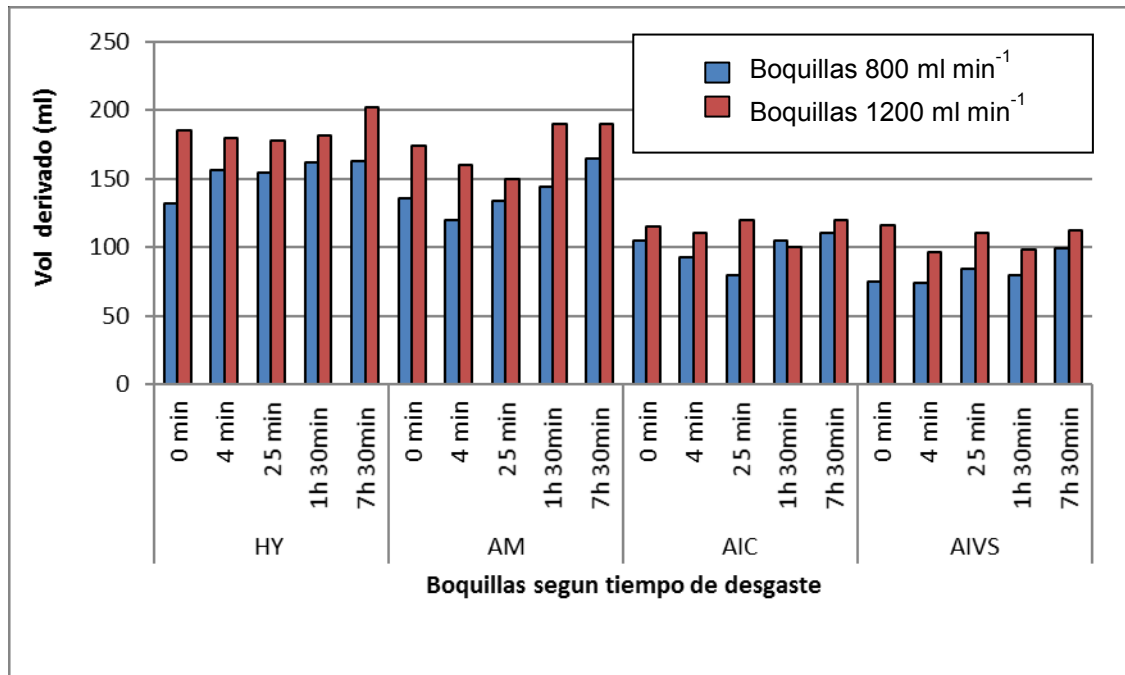


Gráfico 3.3.6.3.: Volumen derivado (ml) de las boquillas de caudales teóricos 800 y 1200 ml min⁻¹ durante el desgaste acelerado en las distintas boquillas.

A continuación en el gráfico 3.3.6.4, se pueden visualizar los caudales erogados por las distintas boquillas durante las etapas del desgaste. Ambas tamaños de boquillas, transitan la fase negativa del desgaste manteniéndose en todo momento dentro de caudal nominal $\pm 10\%$. Criterio de reemplazo de boquillas usadas adoptado por la mayoría de los fabricantes y en concordancia con varios autores (Ozkan et al, 1992 a; Ozkan et al, 1992 b; Jayanthi et al., 1998; ASJ Spray-jet, 2012; Teejet, 2014; Spraytec, 2016)

En boquillas convencionales el desgaste acelerado es responsable de aumento del caudal erogado (Menzies et al., 1976.; Novak y Cavaletto, 1988; Reichard et al., 1991; Huyghebaert et al., 2001; Roskopf, 2004; Sarubbi, 2005), en cambio en este tipo de boquillas con aire inducido no se observaron aumentos de caudal. Probablemente esto encuentre explicación en la mayor sección del orificio de descarga de las boquillas con aire inducido respecto de las convencionales a igual caudal (Guler, et al., 2007)

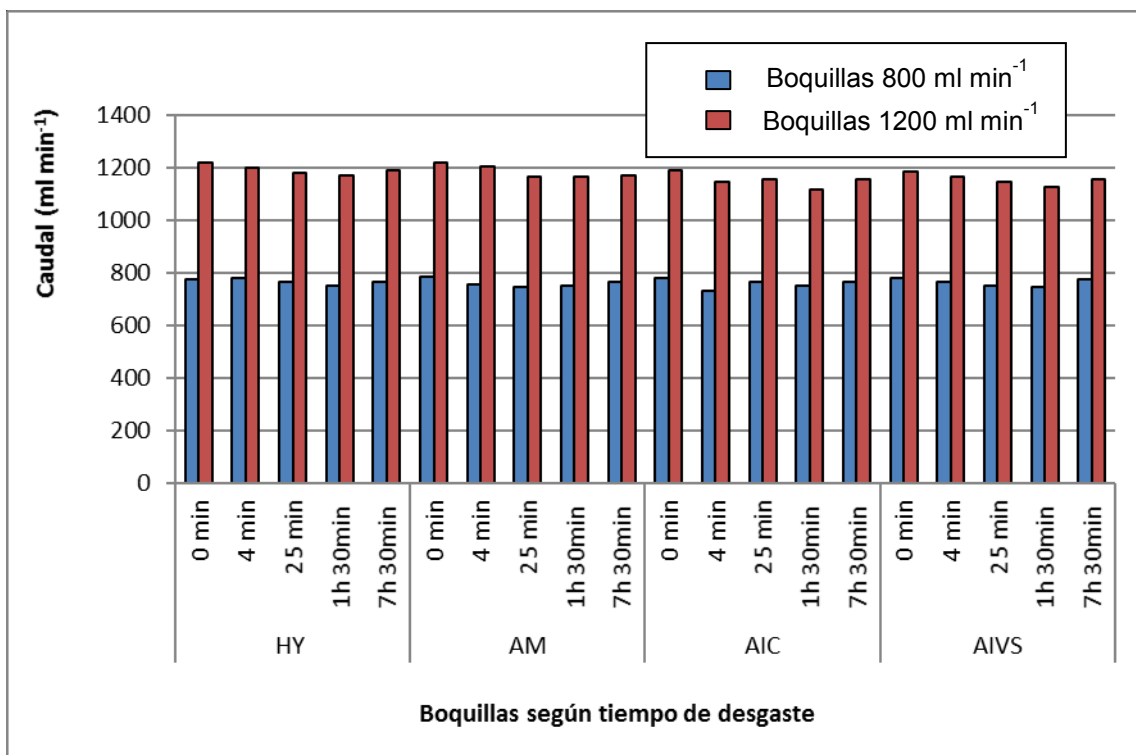


Gráfico 3.3.6.4.: Caudal (ml min⁻¹) sin la acción del viento de las boquillas caudales teóricas 800 y 1200 ml min⁻¹ durante el desgaste acelerado en las distintas boquillas.

Del presente trabajo resulta cuestionable utilizar como herramienta a campo para descartar boquillas de abanico plano con inducción de aire usadas el criterio de caudal nominal $\pm 10\%$, al menos en boquillas de caudal teórico de 800 ml min⁻¹.

En trabajos futuros sería necesario, analizar otros modelos de boquillas con inducción de aire, otras marcas ofrecidas en el mercado, otros caudales, como así también distintos tipos de materiales de construcción tanto del inserto como del Venturi. También sería interesante en el futuro llevar estos ensayos a campo para ver el efecto biocida que puedan lograr las boquillas con inducción de aire, dosis de producto para alcanzar el mismo efecto y tiempos de respuesta sobre distintos objetivos.

4. Conclusiones

1. El aumento de caudal no es un parámetro que evidencie el desgaste de pastillas inducidas por aire. Por lo tanto se rechaza la hipótesis 1.
2. Las pastillas con toberas de mayor longitud de eje tienen mejor desempeño ante la deriva. Se acepta la hipótesis 2.
3. El desgaste actúa en forma diferente según el caudal de la boquilla disminuyendo su capacidad antideriva durante el período de desgaste evaluado solo en las 02. En estas boquillas, también las características del material de construcción del inserto afectan la capacidad antideriva. El desgaste de pastillas inducidas por aire perjudica su capacidad antideriva siendo las de acero más resistentes que las de plástico. Se rechaza la hipótesis 3, porque se encontró que si depende del caudal de la pastilla.

4. BIBLIOGRAFÍA

Ackerman, K.D. 1992. An automated computerized system for testing the uniformity of agricultural spray nozzle patterns. College of engineering the Ohio State University. Pag.88

Agrotop Spray Technology. 1999. La protección de los cultivos agrícolas es nuestro asunto. Obertraubling. Alemania.

Albuz. 2014. Catalogo Albuz Ceramics Spray Nozzle. SaiNt-gobain SolCera. France.

ASJ Spray-Jet. ARAG Group. 2012. Nozzles and accessories.

Barber, J.A.S.; Parkin, C.S. & Chowdhury, A.B. 2003. Effect of application method on the control of powdery mildew (*Bulmeria graminis*) on spring barley. Crop protection 22:949-957.

Barrufet, J.M. & Sales, B.M.C. 1989. Influencia del desgaste sobre las características funcionales de las boquillas de pulverización. FIMA-88. Zaragoza: 367-376.

BCC Research. 2010. Global Markets for Agrochemicals. Report Code: CHM054A, Published: January 2010.

Bengtsson, P.; Alness, K. & Engqvist, A. 1996. The effect of the flat fan nozzle material on wear using field crop sprayers. AEng Madrid 96. Paper 96A-150.

Brechelt, A. Manejo ecológico de plagas y enfermedades. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL) . 2004. www.rap-al.org/...files/Manejo_Ecologico_de_Plagas_A.Bretchel.pdf

Bouse, L.F., Carlton, J.B. & Jank, P.C. 1988. Effect of water soluble polymers on spray droplet size. Transactions of the ASAE 31 (6): 1633-1641, 1648.

Bouse, L. F., I. W. Kirk & L. E. Bode. 1990. Effect of spray mixture on droplet size. Transactions of the ASAE. 33:783–788.

Butler Ellis, M.C.; Tuck, C.R. & Miller, P.C.H. 1997. The effect of some adjuvants on spray produced by agricultural flat fan nozzles. *Crop protection* Vol.16(1): 41-50.

Butler Ellis, M.C. & Tuck, C.R. 1999. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. *Crop protection* 18:101-109.

Butler Ellis, M.C.; Swan, T.; Miller, P.C.H.; Waddelow, S.; Bradley, A. & Tuck, C.R. 2002. Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. *Biosystems Engineering* 82(3), 289-296.

CASAFE. 2019. Mercado fitosanitario argentino 2016. Disponible en: <https://www.casafe.org/pdf/2018/ESTADISTICAS/Informe-Mercado-Fitosanitarios-2016.pdf> [Verificado: diciembre 2019]

Castillo, B. 2010. Formación de gotas en la aplicación de plagicidas. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Red "PULSO". Pag: 55-66.

Cid, R. & Masia, G. 2011. Pastillas de pulverización. En: Manual para aplicadores. Cid, R. y Masia, G. Ediciones INTA. Buenos Aires. Pp: 29-44.

Combella, J.H.; Western, N.M. & Richardson R.G. 1995. A comparison of drift potential of a novel twin fluid nozzles when using a range of adjuvants. *Crop protection*. Vol 15(2): 147-152.

Corrêa, H.E. & Neto, B.L. 1976. Desgaste de bicos de pulverização pelo uso de formulações cúpricas. *Bragantia revista científica de Instituto Agronômico de Estado de Sao Paulo*. Campinas. Vol. 35. Nº25.

Cunha, J.P.A.R., Texeira, M.M., Coury, J.R. e Ferreira, L.R. 2003. Evaluation of Strategies to Reduce Pesticide Spray Drift. *Planta Daninha, Viçosa-MG*, v.21, n.2, p.325-332.

Derksen, R.C.; Ozkan, H.E.; Fox, R.D. & Brazee, R.D. 1999. Droplet Spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. *Transactions of the ASAE*. Vol.42(6)1573-1580.

Doble, S.J.; Matthews, G.A.; Rutherford, I.; Southcombe, E.S.E. 1985. A system for classifying hydraulic nozzle and other atomisers into categories of spray quality. Proc. For BCPC Conference, p.1125-1133.

Dombrowski, N.; Fraser, R.P. 1954. A Photographic Investigation into the Desintegration of liquid Sheets. Philosophical Sciences, 247: 101-130.

Duvnjak, V.; Pliestié, S.; Filipović, D.; Banaj, D. & Andrić, L. 2009. Effect of orifice wear of boom sprayer nozzles on spray characteristic. Agronomski Glasnik 4. ISSN 0002-1954.

E.P.A. 1999. Spray drift of pesticides. EPA Publication No.735F99024, Environmental Protection Agency, Washington, DC. www.epa.gov/pesticides [Verificado: junio 2013]

FAO. 1996. El control de plagas. <http://www.fao.org/FOCUS/S/SpecialPr/spro12-s.htm> [verificado: diciembre 2019]

FAO. 1996. Science and technology for sustainable development. Part,4. Plant protection and pesticides. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/sustdev/RTdirect/RTre0009.htm> [Verificado: octubre 2013]

Farooq, M.; Balachandar, R; Wulfsohn, D. & Wolf, T.M. 2001. Agricultural sprays in cross-flow and drift. J. Agric. Engng Res. 78(4); 347-358.

Fraser, R.P. 1958. The fluid kinetics of application of pesticidal chemicals. En: Advance Pest Control Research .Ed. R.L. Metcalfe. Vol II. Pp 1-106. Interscience. New York.

Ganzelmeier, H. 2002. Europäische und international Entwicklungen in der Pflanzenschutztechnik. Jahrbuch Agrartechnik; VDMA Landtechnik, VDI-MEG, KTBL; Band 14.

Gil, E.; Escola, A.; Rosell, J.R.; Planas, S. & Val, L. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection. Vol 26, Issue 8, Pages 1287–1297

Giles, D.K. 1988. Energy conversion and distribution in pressure atomizers. Transactions of the ASAE 31(6): 1668-1673.

Graham-Bryce, I.J. 1977. Crop Protection: a consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of the scope for improvement. Phil. Trans. R. Lond. B281, 163-179.

Guler, H.; Zhu, H.; Ozkan, H.E.; Derksen, R.C.; Yu, Y. & Krause, C.R. 2007. Spray Characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzles. Transactions of the ASAE. Vol. 50(3): 745-754.

Hartsanft, T. J.; Settles, G.S. 1999. High - Pressure Sheet of Non – Newtonian Fluids, ILASS – Americas 12 Conference on Liquid atomization and Spray Systems, may 16 – 19, 1999, Indianapolis

HEAP. Home Energy Assistance Program. Weed Science. 2012. International survey of herbicide resistant weeds. En: <http://www.weedscience.org/In.asp>. [Verificado: octubre 2013]

Herrmann, M. 2003. Modeling Primary breakup: A three – dimensional Eulerian level set/vortex sheet method for two – phase interface dynamics. Center for Turbulence Research Annual Research Briefs 2003. Pp.185 – 196.

Hewitt, A. J. 1997. The importance of droplet size in agricultural spraying. Atomiz. Sprays 7(3), 235-244.

Hewitt, A.J.; Valcore, D.L.; Teske, M.E.; Schick, R.J. 1998. Droplet size classifications for agricultural spray. Ilass America 11th Annual conference on liquid atomization and spray systems, Sacramento.

Hilz, E.; Vermeer, A.W.P. 2013. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. Crop Protection 44: 75-83.
Himel, C.M. 1974. Analytical methodology in ULV British Crop Protection Council Monograph no:11, Pesticida Application by ULV Methods, pp.112-19.

Huyghebaert, B.; Debouche, C. Mostade, O. 2001. Flow rate quality of new flat fan nozzles. Transactions of the ASAE . Vol 44(4):769-773.

Hypro. 2010. Guía de bolsillo. Pag.36.

InfoStat. Universidad nacional de Córdoba. Estadística y Diseño-F.C.A. versión 2014e. Actualizada 1/11/2014.

ISO 5682-1. 1996. Equipos para la protección de cultivos. Equipos pulverizadores. Métodos de ensayo para boquillas pulverizadoras. Pág. 6

ISO 10625. 1996. Equipment for crop protection – sprayer nozzles. Colour coding for identification. Pág. 5 Switzerland.

István Sztachó-Pekáry. 2006. Influence of Fan nozzle Tip Orifice Wear on Spray Pattern. Progress in Agricultural Engineering Sciences 2: 35-49.

Jayanthi, P.; Krishnan, P. & Kemble, L.J . 1998. Effect of nozzle wear and operating parameters on spray pattern distribution of 8004 fan nozzles. Written for presentation at the ASAE annual international meeting. Orlando, Florida.

Johnson, A.K.; Roeth, F.W.; Martin, A.R. & Klein, R. 2006. Glyphosate spray drift management with drift-reducing nozzles and adjuvants. Weed Technology, volume 20: 893-897.

Kecskesne Nagy, E.; Koszel, M. y Sztacho-Pekary, I. 2014. Effects of working parameters and nozzle wear rate onto the spray quality in use of different fan flat nozzle. Journal of Central European Agriculture. 15 (1), p. 160-174

Krause, C.R.; Reichard, D.L.; Zhu, H.; Brazee, R.D.; Ozkan, H.E. & Fox, R.D. 2003. Evaluation of Fan-Pattern spray nozzle wear using scanning electron microscopy. FAMS, Inc. SCANNING Vol.25,8-11.

Kirk, I. W. 2003. Spray mix adjuvants for spray drift mitigation—progress report. ASAE paper number 03–1060. 2003 ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, NV, July 27–30

Kozel, M. 2009. Influence of flat fan nozzles wear degree on drop track size. Res. Agr. Eng., 55 (2): 39-44.

Krishnan, P.; Evans, T.; Ballal, K. & Kemble, L.J. 2004. Scanning electron microscopic studies of new and used fan nozzles for agricultural sprayers. Applied Engineering in Agriculture American Society of Agricultural Engineers ISSN 0883-8542. Vol. 2 (2): 133-137.

Lafferty, C.L. & Tian, L.F. 2001. The impacts of the pre orifice and air inlet design features on nozzle performance. Written for presentation at the 2001 ASAE annual international meeting. Sacramento. California. USA.

Masiá, G. 2010. Efecto de la exoderiva de un aditivo (poliacrilamida) aplicado con boquillas de abanico plano con inducción de aire. M. Sc. Tesis. UN de San Martín, San Martín, Argentina. 75 pp.

Matthews, G.A. 1987. Métodos para la aplicación de pesticidas Cía. Editorial Continental.. México 365 pp.

Matthews, G.A. 1993. Application Technology for Crop Protection. Page: 101-117.

Matthews, G.A. 2004. How was the pesticide applied? Crop Protection 23:651-653.

McMullan, P.M. 1995. Effect of spray volume, spray pressure and adjuvant volume on efficacy of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl. Crop Protection. Vol 14(7): 549-554.

Menzies, D.R., Fisher, R.W. & Neff, A.E. 1976. Wear of hollow cone nozzles by suspensions of wettable powders. Canadian agricultural engineering. Vol 18(1): 14-15.

Miller, P.C.H.; Hadfield, D. 1989. A simulation model of the spray drift from hydraulic nozzles. J. Agr. Eng. Res. 42, 135-147

Matthews, G.A. and Thornhill E.W. 1996. Pesticide Application Equipment for use in Agriculture FAO.

Miller, P.C.H & Butler Ellis, M.C. 2000. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayer. Crop Protection 19: 609-615.

Miralles, A. & Bogliani, M. 1993. Evaluation macroscopique du vent sur un jet pulverisation. B.C.P.C. second international symposium on pesticides application techniques. Annales vol 1: 117-124.

Murphy, S.D. ; Miller, P.C.H. & Parkin, C.S. 2000. The effect of boom section and nozzles configuration on the risk of spray drift. J. Agric. Eng Res. 75, 127-137.

Nanduri, M.; Taggart, D. y Kim, T. 2002. The effects of system and geometric parameters on abrasive water jet nozzle wear. Machine Tools & Manufacture 42 pag, 615-623.

Novak, M.J. & Cavaletto, R.A. 1988. Wear characteristics of flat fan nozzles. Asae Paper 88-1015.

Nuyttens, D.; De Schampheleire, M; Baetens, K. & Sonck, B. 2007. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayer. Transactions of the ASAE . Vol 50(4):1129-1140.

Nuyttens D.; Taylor, W.A.; De Schampheleire, M.; Verboven, P. & Dekeyser, D. 2009. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. Biosystems Engineering 103. 271-280.

Oliveira, R.B.; Antuniassi, U.R.; Mota, A. B.; Chechetto, R.G. 2013. Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. Engenharia Agrícola vol. 33. No.5 Jaboticabal.

Ozkan, H.E.; Reichard, D.L. & Ackerman, K.D. 1992 b. Effect of orifice wear on spray patterns from fan nozzles. Transactions of the ASAE . Vol 35(4):1091-1096.

Ozkan, H.E.; Reichard, D.L. & Sweeney, J.S. 1992 a. Droplet size distribution across the fan patterns of new and worn nozzles. Transactions of the ASAE . Vol 35(4):1097-1102.

Ozkan, E. 1998. New Nozzles for Spray Drift Reduction. Ohio State University Extension Fact Sheet. Food, Agricultural, and Biological Engineering. AEX-523-98 <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0523.html> [Verificado: julio 2013]

Ozkan, E. 2000. Reducing Spray Drift. Ohio State University Extension Fact Sheet. Food, Agricultural, and Biological Engineering Extension Bulletin 816. Engineering, Ohio. 5 pages. <http://ohionline.osu.edu/b816/index.html> [Verificado: julio 2013]

Pedigo, L. 2002. Entomology & Pest Management. 4th edition, Prentice Hall 742 pp.

Pergher, G. 2001. Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. Transactions of the ASAE 44: 787-794.

Piggot, S.; Matthews, G.A. 1999. Air induction nozzles: a solution to spray drift? Int. Pest control, January-february, 24-28

Pimentel, D.; Lach, L.; Zúñiga, R. & Morrison, D. 1998. Environmental and economic costs associated with non – indigenous species in the United States. Ithaca, EEUU. Cornell University.

Reed, T. 1984. Wear life of agricultural nozzle. ASAE Paper N°AA084.-001. St. Joseph. MI: ASXE.

Reichard, D.L.; Ozkan, H.E. & Fox, R.D. 1991. Nozzle wear rates and test procedure. Transactions of the ASAE . Vol 34(6):2309-2316.

Ripoli, T.C.C.; Padovan, L.A.; Cardoso, R.G. 1998. Ingeniería Rural y mecanización Agraria en el ámbito Latinoamericano. Editorial UNLP p.612. Pp 228-223.

Rodrigues da Cunha, J. P. A. & Alves Ruas, R.A. 2006. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. Pesquisa agropecuária tropical, 36(1): 61-66.

Roskopft, R.,D. 2004. Evaluación del comportamiento de distintas marcas comerciales de boquillas para pulverización sometidas a desgaste. Trabajo final para obtención del título de grado. Universidad nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias Agrarias.

Ross, J; Schmidt, N. 2002. Static wear characteristics of CP polypropylene aerial nozzles. ASAE 36 th Annual national agricultural aviation association convention. Reno, NV

Ryckaert, B.; Spanoghe, P.; Haesaert, G.; Heremans, B., Isebaert, S & Steurbaut, W. 2007. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. *Crop Protection* 26. 1589-1594.

Southcombe, E.S.E.; Miller, P.C.H.; Ganzelmeier, H.; Van der Zande, J.C.; Miralles, A.; Hewitt, A.J. 1997. The international (BCPC) spray classification system including a drift potential factor. The 1997 Brighton crop protection conference, 371-380.

Sarubbi, C.A. 2005. Desgaste de pastillas hidráulicas de baja presión tipo abanico plano. En: *Aplicar eficientemente los agroquímicos*. Mario Bogliani y Jorge Hilbert. Ed. INTA. Rosario. Pp:153-164.

Sarubbi, C.A. 2010. La gota de aspersión y las boquillas pulverizadoras. En: *Tecnología de aplicación de productos fitosanitarios en equipos pulverizadores terrestres*. Sarubbi, C.A. Ed. Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp: 37-50.

Smith, D. B.; Askew, S. D.; Morris, W. H. & M. Boyette. 2000. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. *Trans. ASAE*43(2): 255-259.

Spraying Systems Co. 2007. Teejet. Productos de sistemas móviles. Catálogo 50A-E. Wheaton, EE.UU.

Spraytec. 2016. Catálogo de productos.

Teejet Technologies. 2014. Catálogo 51A-ES. Illinois. USA.

Villalba, J & Hetz, E. 2010. Deriva de productos agroquímicos - Efectos de las condiciones ambientales. *Tecnología de aplicación de agroquímicos*. Red "PULSO". Pag: 45-52

Ware, G.W.; Estes, B.J.; Cahill W.P.; Gerhardt, P.D.; Frost, K.R. 1970. Pesticide drift III. Drift reduction with spray thickeners. *J. economic Entomology*. 63(4): 1314-1316.

Wicke, H.; Bäcker, G. & Frießleben, R. 1999. Comparison of spray operator exposure during orchard spraying with hand-held equipment fitted with standard and air injector nozzles. *Crop protection* 18: 509-516.

Wolf, R. & Frohberg, D. 2002. Comparison of drift for four drift-reducing flat-fan nozzle type measured in wind tunnel and evaluated using dropletscan software. Written for presentation at the 2002 ASAE annual international meeting/CIGR XVth Congress. Chicago, Illinois, USA

Wolf, R. 2003. Drift Characteristics of spray tips measured in a wind tunnel. Written for presentation at the 2003 Mid-central conference of ASAE Ramada Inn. St. Joseph, Mo.

Yates, W.E. & Akkeson, N.B. 1973. Reducing pesticide chemical drift. In: Valkenburg, W. van (ed.) Pesticide Formulations. New York, Marcel Dekker

Yates, W.E.; Akkeson, N.B.; Bayer, D.E. 1976. Effects of spray adjuvants on drift hazards Transactions of the ASAE 19(1):41-46.

Zhu, H.; Downer, J.W.; Rowland, D.L.; Derksen, R.C. & Ozkan, H.E. 2004. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. Biosystem Engineering 87(3): 275-283.

6. Anexo

6.1. Pastillas de caudal teórico de 800 ml min⁻¹

Tabla 6.1.1: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min⁻¹) por las distintas boquillas al minuto 0 de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min ⁻¹)
HY	775,90 a
AIC	780,15 b
AIVS	781,04 b
AM	785,32 c

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05 Test LSD)

Tabla 6.1.2: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min⁻¹) por las distintas boquillas al minuto 4 de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min ⁻¹)
AIC	733,51 a
AM	759,72 b
AIVS	766,19 c
HY	783,50 d

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05 Test LSD)

Tabla 6.1.3: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min⁻¹) por las distintas boquillas a los 25 minutos de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min ⁻¹)
AIC	721,51 a
AM	745,18 b
AIVS	752,85 c
HY	764,65 d

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05 Test LSD)

Tabla 6.1.4: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min^{-1}) por las distintas boquillas a la 1 hora 30 minutos de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min^{-1})
AIC	714,03 a
AM	730,57 b
AIVS	747,20 c
HY	754,41 d

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Tabla 6.1.5: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales teóricos erogados (ml min^{-1}) por las distintas boquillas a 7 horas 30 minutos de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min^{-1})
AIC	737,40 a
AM	745,93 b
HY	766,06 c
AIVS	776,26 d

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

6.2. Pastillas de caudal teórico de 1200 ml min⁻¹

Tabla 6.2.1: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min⁻¹) por las distintas boquillas al minuto 0 de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min ⁻¹)
AIVS	1187,23 a
AIC	1189,52 a
HY	1220,02 b
AM	1220,69 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Tabla 6.2.2: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min⁻¹) por las distintas boquillas al minuto 4 de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min ⁻¹)
AIC	1149,66 a
AIVS	1168,09 b
HY	1200,65 c
AM	1204,25 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Tabla 6.2.3: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min⁻¹) por las distintas boquillas a los 25 minutos de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min ⁻¹)
AIVS	1145,94 a
AIC	1156,93 b
AM	1168,94 c
HY	1180,02 d

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Tabla 6.2.4: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min^{-1}) por las distintas boquillas a la 1 hora 30 minutos de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min^{-1})
AIC	1116,96 a
AIVS	1127,83 b
AM	1169,17 c
HY	1171,36 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

Tabla 6.2.5: Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de caudales erogados (ml min^{-1}) por las distintas boquillas a 7 horas 30 minutos de desgaste.

Boquilla	Caudal (ml min^{-1})
AIVS	1156,30 a
AIC	1156,93 a
AM	1173,03 b
HY	1190,46 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$ Test LSD)

