



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRIA EN PRODUCCIÓN VEGETAL

Tesis presentada como requisito para optar al grado de Magíster

Manejo y uso eficiente del tamaño, uniformidad y distribución de la gota de pulverización en cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill).

Alumno: Ing. Agr. Iván José M. Alvarez
Director de tesis: Dr. Carlos Magdalena
INTA Alto Valle

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, un especial agradecimiento a mi amigo y mentor Esteban Frola, por estar presente en todo momento, desde el principio cuando el proyecto era apenas una vaga idea, durante su comienzo, seguimiento y culminación, con un constante aporte de conocimientos y sobre todo por confiar y no dudar de mí durante todo este tiempo.

A mi incansable y paciente director, Dr. Carlos Magdalena, al aceptarme como alumno de maestría cediendo su valioso tiempo al viajar desde Gral. Roca hasta Bandera (S. E.) para compartir sus experiencias, conocimiento, apoyo y sobre todo por una inquebrantable paciencia y Fe en este trabajo.

Al Ing. Agr. Matías Castillo, becario doctoral del Conicet y miembro de la cátedra de Estadística y Biometría de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC), por su importante, valiosa y desinteresada colaboración en la realización de los cálculos estadísticos junto a los profesores Dra. Mónica Balzarini, Dr. Julio Di Rienzo, Ing. Agr. (M. Sc.) Margot Tablada, Dra. Cecilia Bruno e Ing. Agr. (M. Sc.) Laura Gonzales, a todos ellos infinitas gracias.

A mis colegas y amigos Ings. Agrs. Esteban Jauregui y German Sponda por colaborar en los trabajos a campo.

Al piloto agrícola, amigo y excelente persona, Gerardo Iovaldi, pieza fundamental de este trabajo en los tratamientos aéreos con el avión de la empresa Ricardo y Armando Diruscio Fumigaciones Aéreas S.R.L. que soy parte y orgulloso de trabajar junto a ellos.

En la recolección de muestras a campo con elevadas temperaturas, estuvo siempre presente mi amigo y compañero de trabajo Lucas Valfredo.

Al productor Daniel Castellán y al operario Alejandro Gonzales, gracias por colaborar cediendo el equipo pulverizador terrestre durante los dos años de duración del proyecto.

Al Ing. Agr. José Tarragó quien en forma desinteresada y con voluntad de participar en los experimentos a campo, dispuso del equipo LAI 2000 y dedicó dos días completos entre viajes y estadía desde Charata (Chaco) hasta Bandera trabajando en equipo para la recolección de datos.

A mis padres, Amaro (†) y María Rosa, todo se lo debo a ellos.

A Dios, El me dio fuerzas para sobreponerme de situaciones que parecían no tener salida, sabiduría para llevar este trabajo adelante y Fe por sobre todas las cosas.

INDICE GENERAL	Página
Agradecimientos	I
Índice general.....	II
Contenido	III
Indice de tablas	VII
Indice de graficos.....	X
Indice de figuras	XIII
Anexo	XIV
Abreviaturas.....	XV
Resumen	XVI
Abstract	XVII

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	El cultivo de soja en el mundo.....	1
1.2	El cultivo de soja en la Argentina	2
1.3	Adversidades bióticas y su control	2
2	Objetivo General	5
2.1	Objetivos Específicos.....	5
3	Hipótesis	5
4	ANTECEDENTES	1
4.1	Desarrollo del cultivo y momentos de aplicación.....	1
4.1.1	Principales plagas y enfermedades.....	1
4.2	Control mediante técnicas de pulverización	2
4.3	Energía hidráulica (presión)	3
4.4	Boquillas de pulverización.....	3
4.4.1	Importancia del tamaño y homogeneidad de las gotas	5
4.5	Parámetros del espectro de gotas	7
4.6	Control de deriva.....	9
4.7	Comportamiento del espectro de gotas en función del tamaño, agregado de coadyuvantes y condiciones ambientales	10
4.8	Calidad cualitativa del espectro de gotas	12
4.9	Calidad cuantitativa - Uso de trazadores o marcadores	13
5	MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1	Caracterización del cultivo mediante área foliar del cultivo (IAF).....	15
5.2	Blanco de aplicación	16
5.3	Diseño experimental	16
5.3.1	Variables.....	17
5.4	Modelos estadísticos	17
5.4.1	Análisis univariado	17

5.4.2	Análisis multivariado	18
5.5	Consideraciones generales.....	19
5.6	Determinaciones químicas.....	19
5.7	Determinaciones físicas	19
5.8	Trabajos en gabinete	20
5.9	Pulverización terrestre.	21
5.9.1	Condiciones operativas.....	22
5.9.2	Calibración del equipo pulverizador	22
5.9.3	Boquillas	22
5.9.4	Pulverización aérea	23
5.9.5	Calibración del avión agrícola	24
5.9.5.1	Determinación del caudal o tasa de aplicación teórica.....	24
5.9.5.2	Determinación del caudal o tasa de aplicación real	25
5.10	Año 2012	26
5.10.1	Procedimientos	26
5.11	Año 2013	28
5.12	Pulverización aérea	28
5.12.1	Procedimientos de carga, aplicación, recolección de muestras, descarga y lavado	28
5.13	Pulverización terrestre.	30
5.13.1	Procedimientos de carga, aplicación, recolección de muestras, descarga y lavado	30
6	RESULTADOS Y DISCUSION	32
6.1	Año 2012	32
6.1.1	Regímenes de precipitaciones y temperatura.	32
6.1.2	Índice de Área Foliar (IAF).....	33
6.2	Introducción al análisis descriptivo	33
6.3	Análisis de Componentes Principales	33
7	RESULTADOS DEL ANAVA PARA CADA VARIABLE	35

7.1	DETERMINACIONES FISICAS	35
7.1.1	Ln Imp.cm ² . Numero de impactos por centímetro cuadrado	35
7.1.2	DMV o Dv _{0.50} - Diámetro de la mediana volumétrica	38
7.1.3	v _{0.90} - Diámetro volumétrico 0.90	40
7.1.4	Dv _{0.10} - Diámetro volumétrico 0.10	42
7.1.5	C.H. - Coeficiente de homogeneidad	45
7.2	DETERMINACIONES QUIMICAS.....	47
7.2.1	µg cm ² FS	47
7.3	Regresión lineal	50
7.4	AÑO 2013.....	52
7.5	Pulverizaciones terrestres.....	52
7.5.1	Regímenes de precipitaciones y temperatura	52
7.5.2	Índice de Área Foliar (IAF)	53
7.6	Introducción al análisis descriptivo	54
7.6.1	Análisis de Componentes Principales (ACP).....	55
8	RESULTADOS DEL ANAVA PARA CADA VARIABLE	56
8.1	DETERMINACIONES FISICAS	56
8.1.1	Ln Imp.cm ² . Numero de impactos por centímetro cuadrado	56
8.1.2	DMV o Dv _{0.50} - Diámetro de la mediana volumétrica.	58
8.1.3	Dv _{0.90} - Diámetro volumétrico 0.90	60
8.1.4	Dv _{0.10} - Diámetro volumétrico 0.10	62
8.1.5	C.H. - Coeficiente de homogeneidad	64
8.2	DETERMINACIONES QUIMICAS.....	65
8.2.1	µg.cm ² FS - Utilización de fluoresceína sódica (FS) como marcador	65
8.3	Pulverización aérea	68
8.3.1	Introducción al análisis descriptivo	68
8.3.2	Análisis de componentes principales (ACP).....	69
8.4	DETERMINACIONES FISICAS	70
8.4.1	Ln Imp.cm ² - Número de impactos por centímetro cuadrado.....	70

8.4.2	DMV o $Dv_{0.50}$ - Diámetro de la mediana volumétrica	72
8.4.3	$Dv_{0.90}$ - Diámetro volumétrico 0.90	75
8.4.4	$Dv_{0.10}$ - Diámetro volumétrico 0.10	77
8.4.5	C.H. - Coeficiente de homogeneidad (CH).....	79
8.5	DETERMINACIONES QUIMICAS.....	81
8.5.1	$\mu\text{g. cm}^{-2}$ FS - Utilización de fluoresceína sódica (FS) como marcador	81
9	Comparación entre pulverización terrestre y aérea	84
9.1	DMV, imp. cm^{-2} y $\mu\text{g. cm}^{-2}$ FS	84
10	CONCLUSIONES.....	86
11	Anexo	87
12	BIBLIOGRAFÍA.....	90

TABLAS

Tabla 1. Clasificación del espectro de gotas por tamaño (Fuente SDTF 2001)	7
Tabla 2 Caudal de cada boquilla a 3 bares acorde al catálogo de cada fabricante	22
Tabla 3 Parámetros para cada boquilla y aspersores hidráulicos utilizados en los tratamientos terrestres y aéreos.....	23
Tabla 8. Caudal de aplicación en relación a la unidad de reducción variable (URV) y presión de trabajo.....	24
Tabla 9. Valores calculados de acuerdo al manual del usuario.	25
Tabla 10. Valores de caudales esperados.	25
Tabla 4. Parámetros para cada boquilla utilizadas en los tratamientos.	26
Tabla 5. Procedimientos, tratamientos y muestreos.	27
Tabla 6. Dosis y cantidades requeridas de Fluoresceína Sódica.	27
Tabla 7. Dosis de aditivo en función de cada tratamiento.	27
Tabla 11. Dosis y cantidades del aditivo y FS.....	29
Tabla 12. Tratamientos, orden de aplicación y recolección de muestras.....	29
Tabla 13. Parámetros de boquillas.....	30
Tabla 14. Dosis y totales de FS y aditivo.	30
Tabla 15. Tratamientos y muestras.	31
Tabla 16. Condiciones ambientales durante los ensayos.....	32
Tabla 17. Valores que conforman la matriz de correlación con los coeficientes de correlación de Pearson para cada variable de clasificación: caudal, estrato, con y sin coadyuvante	35
Tabla 18. Resultados del ANAVA, efecto caudal para imp.cm^{-2}	36
Tabla 19. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para imp.cm^{-2}	36
Tabla 20 Densidad de gotas (gotas.cm^{-2}) obtenidas en función del diámetro de gotas (μm) y de la tasas de aplicación (L.ha^{-1}). (Fuente: Texeira; M. M. Capítulo 5, Tecnología de aplicación de agroquímicos).	38
Tabla 21. Recomendaciones mínimas de densidades de gotas para diferentes tipos de tratamiento en cultivos bajos. (Fuente: Texeira; M. M. Capítulo 5, Tecnología de aplicación de agroquímicos).....	38
Tabla 22. Resultados del ANAVA, caudal para $Dv_{0.50}$	40
Tabla 23. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $Dv_{0.50}$	40
Tabla 24. Resultados del ANAVA, efecto caudal para $Dv_{0.90}$	41
Tabla 25. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $Dv_{0.90}$	42
Tabla 26. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para $Dv_{0.10}$	43
Tabla 27. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $Dv_{0.10}$	44

Tabla 28. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para CH.....	45
Tabla 29. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para CH.	47
Tabla 30. Resultados de ANAVA, caudal*estrato para $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS.....	48
Tabla 31. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS.	49
Tabla 32. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS.....	49
Tabla 33 coeficientes de regresión y estadísticos asociados.	51
Tabla 34. Condiciones ambientales desde las 13:00 a 17:00 h.....	54
Tabla 35. Matriz de coeficientes de correlación resultantes que explican el grado de afinidad entre los parámetros del espectro y la FS con las variables de clasificación caudal, aditivos c/s y estratos.	56
Tabla 36. Resultados del ANAVA, efecto estrato para $\text{imp}\cdot\text{cm}^{-2}$	57
Tabla 37. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para $\text{imp}\cdot\text{cm}^{-2}$	57
Tabla 38. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para DMV.	59
Tabla 39. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para DVM.	61
Tabla 40. Resultados del ANAVA, efectos caudal y estrato para $Dv_{0,10}$	63
Tabla 41. Resultados del ANAVA, caudal*estrato y estrato*aditivos c/s para $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS.....	66
Tabla 42. Condiciones ambientales desde las 13:00 a 17:00 h.....	68
Tabla 43. Matriz de coeficientes de correlación.	70
Tabla 44. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para $\text{imp}\cdot\text{cm}^{-2}$	71
Tabla 45. Resultados del ANAVA, caudal*aditivo c/s para $\text{imp}\cdot\text{cm}^{-2}$	71
Tabla 46. Resultados del ANAVA, estrato*aditivo c/s para $\text{imp}\cdot\text{cm}^{-2}$	72
Tabla 47. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para DVM.	73
Tabla 48. Resultados del ANAVA, interacción caudal*estrato para $Dv_{0,90}$	75
Tabla 49. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s $Dv_{0,90}$	76
Tabla 50. Resultados del ANAVA, efecto caudal, caudal*estrato para $Dv_{0,10}$	78
Tabla 51. Resultados del ANAVA, efecto aditivos c/s para CH.	80
Tabla 52. Coeficientes de homogeneidad para distintas boquillas	80
Tabla 53. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS.....	82
Tabla 54. Resultados del ANAVA, efecto fijo aditivo c/s.....	82
Tabla 55. Comparación entre medias de las variables $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS, $\text{imp}\cdot\text{cm}^{-2}$ y DMV ordenados por tipo de aplicación aérea y terrestre, tasas de aplicación y el estrato superior, medio e inferior para el año 2013 con los análisis posteriores de Fisher en letras minúsculas para aéreo y mayúsculas para terrestre.....	84
Tabla 56. Medidas de resumen.....	87

GRAFICOS

Gráfico 1 Registro de precipitaciones, temperaturas medias máximas y mínimas.	32
Gráfico 2 Comparación entre gráficos de distribución empírica en donde a la izquierda están graficados los valores observados y a la derecha los valores transformados a escala Ln.	33
Gráfico 3 Biplot exploratorio de análisis de componentes principales (ACP). Variables físicas. Ref: S=superior, M=medio, I=inferior; s=sin, c=con.	34
Gráfico 4 Biplot exploratorio de componentes principales. Variables físicas y químicas. Ref: S=superior, M=medio, I=inferior; s=sin, c=con.	34
Gráfico 5 Distribución de imp.cm^{-2} a través de estratos a diferentes caudales.	37
Gráfico 6 Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos interactuando sobre los tres estratos.	39
Gráfico 7 Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas del $Dv_{0.10}$ sobre los tres estratos correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos. Se advierte un formato irregular o distinto de distribución.	44
Gráfico 8 Representación del comportamiento de los distintos coeficientes de homogeneidad inducido por la variabilidad que ofrecen los estratos con y sin el efecto del aditivo.	46
Gráfico 9 Distribución de fluoresceína sódica (FS) a través del estrato superior, medio e inferior frente a los efectos producidos por las tasas aplicadas con y sin el uso del aditivo.	50
Gráfico 10 Gráficos de puntos para los valores predichos de impactos de gotas en función de los diferentes caudales para cada estrato en combinación con o sin la presencia de coadyuvantes.	52
Gráfico 11 Registro de precipitaciones mensuales con temperaturas medias máximas y mínimas.	53
Gráfico 12 Comparación entre datos observados vs transformados a ln.	54
Gráfico 13 Biplot correspondiente al ACP que involucra a todas las variables y su influencia en el comportamiento de los diferentes asperjados con y sin el uso del aditivo. Ref: SUP=superior, MED=medio, INF=inferior.	55
Gráfico 14 Posicionamiento de los imp.cm^{-2} en los tres estratos y los efectos provocados por el agregado del aditivo.	58

Grafico 15 División del espectro de gotas en diferentes tamaños del DMV resultante de la variabilidad ejercida por el estrato superior, condicionando los estratos medio e inferior.....	60
Grafico 16 División del espectro de gotas en diferentes tamaños del $Dv_{0.90}$ resultante de la variabilidad ejercida por el estrato superior, condicionando a los estratos medio e inferior.....	62
Grafico 17 División del espectro de gotas en diferentes tamaños del $Dv_{0.10}$ resultante de la variabilidad ejercida por el estrato superior, condicionando a los estratos medio e inferior.....	64
Grafico 18 Distribución de fluoresceína sódica (FS) cuantificada en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ a través de los diferentes estratos del cultivo por los caudales con y sin el aditivo.	67
Grafico 19 Comparaciones entre valores sin transformar (izq.) y transformados a escala logarítmica (der.), por estrato con y sin el aditivo.	68
Gráfico 20 Biplot del ACP que ubica en un plano exploratorio, al grupo de efectos fijos y su afinidad con las variables respuesta. Ref.: s=sin aditivo; c=con aditivo; Sup=estrato superior; Med=estrato medio; Inf=estrato medio.	69
Grafico 21 Distribución de la cobertura de impactos en los distintos estratos de cultivo provenientes de los caudales 6 y 18 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ con los efectos del aditivo.	72
Grafico 22 Distribución de los diferentes DMV por cada estrato, provenientes de los caudales 6 y 18 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ con y sin el agregado del coadyuvante.....	74
Grafico 23 Distribución de los distintos $Dv_{0.90}$ en los tres estratos provenientes de las tasas 6 y 18 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ con y sin el agregado del coadyuvante.....	77
Grafico 24 Distribución sobre los tres estratos de los distintos tamaños del $Dv_{0.10}$ provenientes de los caudales con y sin el agregado del coadyuvante.....	78
Gráfico 25 Valores de CH en bajo y alto caudal con y sin aditivo.....	80
Grafico 26 Distribución de FS por estratos a dos caudales con y sin aceite.....	83
Gráfico 27, 6 y 7. Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas del $Dv_{0.90}$ sobre los tres estratos correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos. Comparación entre los máximos valores del DMV, $Dv_{0.90}$ y $Dv_{0.10}$ en el estrato superior.	88

FIGURAS

Figura 1	Proceso de pulverización. (Fuente: Schick, R. J.)	2
Figura 2	Boquilla de cono hueco integral, abanico plano y cono hueco con disco y núcleo (Fuente: Tejeet 2009, Albuz 2009).	4
Figura 3	Relación entre número y tamaño de gotas. (Fuente: Leiva, P. 2011)	6
Figura 4	Equivalencia entre los tamaños de gotas (Texeira M. 2010).	6
Figura 5	Parámetros para caracterizar el espectro de gotas (Fuente: Leiva 2011)	8
Figura 6	Efecto de la amplitud relativa en la eficiencia de distribución de gotas (Texeira M. 2010)	9
Figura 7	Equipo de medición de IAF LAI 2000.	16
Figura 8	Recolección en recipientes de vidrio de 750 cm ³ y posterior rotulado.	19
Figura 9	Tarjetas en soporte ubicadas en tres estratos, superior, medio e inferior.	20
Figura 10	Tarjeta en posición superior con marcas de improntas.	20
Figura 11	Solución de extracto acuoso de FS.	21
Figura 12	Pulverizador autopropulsado con botalón frontal.	21
Figura 13	Avión agrícola Ayres Thrush S2R-G6 utilizado en los ensayos.	23
Figura 14	Modelo de aspersor rotativo indicando sus principales componentes.	24
Figura 15	Representación esquemática. Índice (c.) Rejilla de medición del espectro de gotas. Fuente: Chapple et al., (1997).	61

ANEXO

Tabla 57. Medidas de resumen	135
Gráficos 27, 6 y 7. Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas del $Dv_{0.90}$ sobre los tres estratos correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos. Comparación entre los máximos valores del DMV, $Dv_{0.90}$ y $Dv_{0.10}$ en el estrato superior.	136
Imagen 1. Ubicación geográfica del lugar de los ensayos durante las dos etapas de duración.	89

ABREVIATURAS

%.....	tanto por ciento	Dv _{0.90}	diámetro 0.90
‰.....	tanto por mil	Dv _{0.10}	diámetro 0.10
%HR....	porcentaje de humedad relativa	DMN..	diámetro de la mediana numérica
°C.....	grados Celsius	CH.....	coeficiente de homogeneidad
min.....	mínima	FS.....	fluoresceína sódica
máx.....	máxima	µg.cm ⁻² FS	microgramos por centímetro cuadrado de fluoresceína sódica.
prom.....	promedio	ppi.....	píxeles por pulgada cuadrada
P.....	presión	IAF.....	índice de área foliar
mbar.....	milibares	AEH.....	área específica de la hoja
kW.....	kilowatts	Ad.....	área
km.h ⁻¹	kilómetros por hora	Wd.....	peso seco
m.h ⁻¹	millas por hora	L.....	litros
kPa.....	kilo pascales	L.ha ⁻¹	litros por hectárea
UV.....	ultravioleta	L.min ⁻¹	litros por minuto
PSI.....	libras por pulgada cuadrada	g.....	gramos
m.....	metro	TA.....	tasa
pl.m ⁻¹	planta por metro	ANAVA.....	análisis de la varianza
pl.ha ⁻¹	plantas por hectárea	ACP.....	análisis de componentes principales.
QQ.ha ⁻¹	quintales por hectárea	Ln.....	logaritmo natural
mm.....	milímetros	CV.....	coeficiente de variación
m ²	metros cuadrados	D.....	distancia entre picos
cm ²	centímetros cuadrados	q.....	caudal
ml.....	mililitros	URV.....	unidad de reducción variable
Ha.....	hectárea	A8000RG...	variedad de soja grupo 7,8
ml.ha ⁻¹	mililitros por hectárea	R1.....	estadio reproductivo 1
cm ³	centímetros cúbicos	R5.....	estadio reproductivo 5
cc.....	centímetros cúbicos	T _{a,b,c,n}	tratamientos
SDTF.....	Spray Drift Task Force	sup:c.....	superior con
ASAE.....	Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos.	sup:s.....	superior sin
INTA....	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.	med:c.....	medio con
µm.....	micrones	med:s.....	medio sin
DVM o Dv _{0.50}	diámetro de la mediana volumétrica.	inf:c.....	inferior con
		inf:s.....	inferior sin

RESUMEN

Actualmente el control de plagas con aplicaciones de fitosanitarios en el cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill), es mediante pulverizaciones terrestres y aéreas. Ante una elevada densidad foliar, se utilizan técnicas que concentran principios activos en las hojas superiores perjudicando las hojas medias y basales comprometiendo la eficiencia de control con impacto en costos y medio ambiente. Se evaluó la penetración, distribución y homogeneidad del espectro de gotas de cinco modelos de boquillas hidráulicas y aspersores rotativos, determinando el asperjado que se ajusta a las necesidades de control del cultivo. Los experimentos se realizaron en un lote destinado a producción, cercano a la localidad de Bandera (Santiago del Estero, Argentina). Los tratamientos consistieron en caracterizar calidad del espectro de gotas mediante el uso de tarjetas sensibles al agua complementado con el seguimiento del trazador Fluoresceína sódica (C.I. 45350) con y sin coadyuvante, pulverizado mediante maquinaria agrícola autopropulsada con 28 m de ancho de labor, equipada con boquillas de cono hueco HCX 6 (20 L.ha⁻¹ 5 bar), AD5/AN13 (30 L.ha⁻¹ 6 bar), AD5/AN23 (40 L.ha⁻¹ 6 bar), TXV 12 (60 L.ha⁻¹ 3,8 bar), PPV 02 (100 L.ha⁻¹ 4 bar) y aspersores rotativos en pulverización aérea (6 y 18 L.ha⁻¹). El diseño fue completamente al azar, en esquema factorial 5 (boquillas) x 2 (con y sin coadyuvante) a 4 repeticiones, las hojas se recolectaron y lavaron con posterior cuantificación del trazador por espectrofotometría. Los resultados dictan, que las cantidades del marcador aplicado con altos caudales aumentan en el dosel superior disminuyendo en las hojas medias y basales, bajos caudales demuestran resultados opuestos que a su vez son mejorados por el coadyuvante. La pulverización aérea fue superior a la terrestre, tanto en las cantidades distribuidas del trazador como en calidad del espectro de gotas.

ABSTRACT

Currently, control of pests in soybean cultivation, is through land and air sprays. Faced with a high leaf density, used techniques that concentrate active ingredients in the upper leaves hurting the middle and basal leaves compromising the efficiency of control costs and impact on environment. This study evaluated the penetration, distribution and homogeneity of the appearance of drop in six models of hydraulic rotary nozzles and sprinklers sprayed determining that will fit the needs of culture control. The experiments were performed in a batch for the production, close to the town of Bandera (Santiago del Estero, Argentina). Treatments consisted of quality characterize droplet spectrum using water sensitive cards complemented by tracking tracer sodium fluorescein (C.I. 45350) with and without adjuvants, self-propelled agricultural machinery by spraying with 28 m working width, equipped with hollow cone nozzles HCX 6 (20 L.ha⁻¹ 5 bar), AD5/AN13 (30 L.ha⁻¹ 6 bar), AD5/N23 (40 L.ha⁻¹ 6 bar), TXV 12 (60 L.ha⁻¹ 3,8 bar), PPV 02 (100 L.ha⁻¹ 4 bar) and rotary sprinklers in aerial spraying (6 and 18 L.ha⁻¹). The design was completely randomized in factorial scheme 5 (nozzles) x 2 (with and without adjuvant) and 4 repetitions, leaves were collected and washed with posterior tracer quantification by spectrophotometry. The results dictate that the amounts of applied marker with high flow increase the upper canopy decreasing basal and middle leaves, low flow increase show opposite results however are improved by the adjunct. Aerial spraying was higher than the earth, in the amounts of tracer distribution and quality of the droplet spectrum.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 El cultivo de soja en el mundo

En 2013/14 la producción mundial de granos ascendió 2.460 millones de toneladas, un 7,2% más que en la temporada anterior y la producción de granos gruesos esta pronosticada en 1.275 millones de toneladas, un 9,7% más que la temporada anterior, gracias a una mayor producción en países como Argentina, Brasil y Estados Unidos.

El comercio internacional de granos y subproductos genera aproximadamente 447 millones de toneladas. Los grandes países productores y exportadores son: USA (35% del comercio Mundial), Unión Europea, Canadá, Australia, Brasil y Argentina. Por otra parte China, India, Asia, Rusia, Japón y Brasil son los países que conforman el grupo de grandes productores e importadores de granos. Argentina produce entre el 3 y el 4% de la producción mundial y exporta cerca de 75 millones de toneladas de granos y productos derivados de su industrialización (15% en el comercio mundial en volúmenes físicos).

El escenario actual de la producción de granos está regido por la mayor demanda en cantidad y calidad de alimentos y por la necesidad de poner énfasis en el cuidado del medio ambiente. Los costos crecientes de la tierra y los insumos, en muchos casos no compensan los mejores precios de los granos, a esto se suma la incertidumbre en cuanto a las condiciones económicas y climáticas futuras. En este marco se presenta como una alternativa, la intensificación de la producción definida como la mayor y más eficiente producción por unidad de recurso y/o insumo involucrado con la contraparte que debe responder a los objetivos del productor que son: productividad, sustentabilidad del sistema de producción, rentabilidad y protección del medio ambiente (García et al., 2009). La soja es el producto agrícola de mayor crecimiento en los últimos años: la oferta pasó de 185 millones de toneladas en el 2001/02 a 238 millones de toneladas en el 2011/12, mientras que la demanda de la oleaginosa creció de 184 millones de toneladas a 254 millones estimadas para 2011/12, es decir, un 28% en 10 años. En la misma década, China pasó de importar algo más de 10 millones a 58 millones de toneladas, creciendo un 83% en el período y participando con el 64% del comercio mundial. Por el lado de la oferta, la producción creció notoriamente por la expansión en Sudamérica y concentró la oferta en 3 grandes productores: Estados Unidos, Brasil y Argentina. Estados Unidos sigue liderando la producción mundial pero sin experimentar incrementos importantes en los últimos 10 años (con 78 millones de toneladas producidas en 2001/02 y 84 millones en 2011/12), mientras que la producción sudamericana muestra un sostenido crecimiento. Brasil pasó de 43,5 millones de toneladas a 66,5 millones entre dichas campañas, mientras que Argentina tuvo una producción de 30 millones de toneladas en 2001/02 y de 40 millones en 2011/12 (habiendo alcanzado los 54 millones en la campaña 2009/10). Es decir, que mientras Estados Unidos incrementó su producción en 7,7%, Brasil lo hizo en un 52,8% y la Argentina en un 25% en los últimos 10 años. Las proyecciones del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), estima que la producción mundial de soja 2014/2015 será de 299.82 millones de toneladas, cerca de 15.78 millones de toneladas más de lo estimado el mes pasado. La producción mundial de soja de la campaña 2013/14 fue de 283.79 millones de toneladas, según los datos estimados este año podrían significar un incremento de 16.03 millones de toneladas o un 5.65% en la producción de soja alrededor del mundo (*Fuente: www.produccionmundialdesoja.com*).

1.2 El cultivo de soja en la Argentina

La soja es el cultivo dominante en varios países de la región del Cono Sur de Latinoamérica y se ha constituido en una fuente de ingreso importante para productores y estados. La superficie implantada continúa incrementándose cada año. Es el producto que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años en el mercado argentino, ganando terreno frente a cultivos tradicionales, como trigo, girasol o maíz que suman un total de área sembrada registrada en la Argentina en la campaña 2013/14 de 36.3 millones de hectáreas, con los cuales la soja registra los datos más altos de la historia con 19.7 millones de hectáreas sembradas con un rinde promedio de 34.4 QQ.Ha⁻¹ y una producción record de 53,3 millones de toneladas. En la anterior campaña 2011/12 la superficie sembrada se mantuvo en 18,7 millones de hectáreas, pero debido a las bajas precipitaciones generalizadas para todo el área del cultivo el rinde promedio bajo a 22,6 QQ.Ha⁻¹ arrojando una producción de 40,5 millones de toneladas. Argentina es el principal exportador mundial de aceite y harina de soja, y el tercer proveedor mundial de la oleaginosa en grano. Las razones van desde los buenos precios, la buena adaptación a los suelos y la constante incorporación de tecnología que proporciona año tras año incrementos tanto en rendimientos como en área sembrada, sin estas condiciones el sector no tendría la importancia que lo caracteriza (Ministerio de Agricultura y Pesca de la Nación, 2014).

1.3 Adversidades bióticas y su control

Los rendimientos de este cultivo pueden ser maximizados siguiendo prácticas de manejo, basadas en principios científicos probados que incluyen la rotación de cultivos, la siembra directa, el manejo correcto de la nutrición de suelos y cultivos, la fecha y densidad de siembra, la elección de cultivar y la protección sanitaria del cultivo contra plagas, enfermedades y malezas con el objeto de preservar además los recursos naturales (García et al., 2009).

La incidencia de malezas, como adversidad biótica, ha sufrido cambios desde la introducción del cultivo de soja hasta la actualidad, las continuas variaciones en los modelos productivos han dado lugar a cambios en las prácticas para el control de malezas y las adaptaciones de las comunidades a tales modelos que obligan a una permanente reformulación de las tecnologías de control (Papa y Ciampitti 2009). Las malezas pueden ser definidas como plantas que interfieren con la actividad productiva agrícola, adaptadas a los ambientes modificados por el hombre y constituyen una de las principales causas de las pérdidas de rendimiento del cultivo. Los métodos de control de malezas desde sus orígenes son a través de métodos culturales y mecánicos. Actualmente esta práctica es muy poco difundida por el advenimiento de la siembra directa, que trae consigo la utilización de sistemas de pulverización terrestres y aéreos para el control de malezas con un variado uso de tecnologías que data desde equipos primitivos hasta pulverizadores terrestres equipados con sensores ópticos que detectan el color verde mediante luz reflejada y absorbida a través de la detección del color rojo y cercano al infrarrojo (Moltoni et al., 2006).

Investigaciones realizadas en cultivo de girasol demostraron que las pérdidas de rendimiento por competencia de malezas gramíneas anuales se ubicaban entre un 4 y un 78% con un promedio de 38% (Gries 2003) citado por Moltoni et al., (2006).

La razón por la cual se recomiendan aplicaciones de herbicidas en altas dosis está dada principalmente por el desconocimiento del desarrollo en el cual se encuentran

las malezas, lo que obliga a considerar a cualquier situación como si se tratase del peor escenario posible (Tian 2002).

Las enfermedades foliares producen generalmente clorosis, necrosis y aumento de la senescencia de las hojas afectando la fotosíntesis por disminución de la interceptación de radiación a través de la reducción del índice de área foliar. Todos estos efectos recaen en la producción de flores, y por lo tanto una menor cantidad de vainas y frutos que se ven además afectados en su calidad (Hanna et al., 2009). Las enfermedades foliares del cultivo de soja, constituyen importantes factores que limitan y disminuyen la producción y calidad del cultivo. Durante los últimos años los niveles de ataque de algunas enfermedades se han incrementado debidos principalmente a la combinación del monocultivo de soja y la labranza conservacionista. Se citan como ejemplo a las enfermedades de fin de ciclo (EFC) cuyos síntomas se manifiestan en estados reproductivos intermedios y avanzados. Sus efectos dependen de los tejidos afectados, algunos patógenos atacan tejidos foliares mientras que otros atacan vainas y tallos (Carmona et al., 2009).

Las poblaciones de insectos que se alimentan del cultivo de soja, muchas veces alcanzan niveles que inciden sobre el rendimiento del cultivo, por lo que son denominadas plagas. Solo para citar los más importantes, hay una gran variedad de insectos y organismos semejantes, como lepidópteros, coleópteros, crustáceos, arácnidos y hemípteros entre otros. Es importante conocer su comportamiento biológico, órganos y lugares de preferencia para cada plaga ya que se pueden ubicar según la especie, en el tercio superior, medio o inferior de la planta de soja. La finalidad, es realizar la aplicación de agroquímicos poder pulverizar en el momento y lugar indicado del cultivo para poder alcanzar con el principio activo necesario los lugares donde se encuentre el insecto o enfermedad y lograr un eficiente control de la misma. El control químico es la herramienta más usada para combatir plagas en el cultivo de soja. Es utilizada a través de diferentes métodos como ser, el espolvoreo, cebos tóxicos y técnicas de pulverización aéreas y terrestres.

En este contexto es oportuno destacar la importancia del estudio de las pulverizaciones terrestres y aéreas, con el objetivo de aportar conocimientos de nuevas técnicas para hacer más eficiente la aplicación de fitosanitarios.

Existe una brecha muy grande entre eficiencia de aplicación y correcto control de la plaga debido a la falta de conocimientos sobre usos de diferentes tamaños de gota, uniformidad y distribución en las hojas en los distintos estratos del cultivo, comportamiento bajo distintas condiciones climáticas, uso de aditivos de pulverización entre otros aspectos.

A campo se obtienen controles erráticos de plagas, enfermedades y malezas y se adjudica la responsabilidad al producto utilizado, sin advertir que en casi la totalidad de los casos, estos se deben a fallas en la aplicación o errores en la elección del momento adecuado de control donde la plaga es más vulnerable. De modo que para alcanzar la efectividad biológica se requieren las siguientes condiciones: momento oportuno, producto específico y buena aplicación. (Pérez s.f.).

Las aplicaciones convencionales de alto volumen depositan entre 25-50% de la pulverización sobre la superficie de la planta y aproximadamente el 1% alcanza la plaga objetivo (Giles 1992).

Bache y Johnston (1992) notaron que se requiere un conocimiento más preciso para maximizar la eficiencia de aplicación en lo referente a cobertura y penetración de fungicidas en la canopia de la planta.

Los pulverizadores comúnmente usados, son ineficientes para depositar una cantidad uniforme de pesticida en el tercio inferior de cultivos densos, donde el ataque de insectos y enfermedades es frecuentemente más intenso (Zhu et al., 2006). El uso de elevadas tasas de aplicación, con el objeto de alcanzar los sectores internos e inferiores del follaje genera incrementos en las pérdidas por arrastre, acumulación excesiva en las hojas superiores, aumento de costos y un impacto negativo sobre el ambiente.

La aplicación mediante pulverización de productos fitosanitarios sobre las plantas cultivadas se puede considerar una técnica de elevada precisión, que ha alcanzado un alto nivel de desarrollo, que exige, para realizarla con la calidad que solicita la agricultura actual, un profundo conocimiento de los principios en los que se fundamenta (Porras y Porrás 2006).

Trabajos experimentales y estudios de simulación mencionan que los movimientos del botalón producen una alta variabilidad de los depósitos que pueden alcanzar a 800% del patrón de distribución deseado. Los movimientos más comunes son en el plano vertical y horizontal. Una mejora en la estabilidad del botalón incrementa la homogeneidad de la cobertura y aumenta la eficiencia de los pesticidas. Las boquillas muy cercanas al suelo generan un cono de asperjado muy pequeño dejando sectores sin tratar (Ramón et al., 1997 y Nation 1982) citado por Anthonis et al., (2006).

La arquitectura del cultivo de soja es muy particular, ya que su densidad foliar y disposición ejercen un efecto físico a modo de “paraguas” dificultando la llegada física de la aplicación al interior del cultivo. En las hojas rectinervias y compuestas de la soja el movimiento de las gotas no es fluido, está más limitado y por eso es necesario asegurar una mayor y mejor cobertura durante la aplicación en el cultivo. Conviene recordar que los fungicidas móviles los hacen solo hacia arriba, por transpiración. Si la velocidad del viento fuera de 8-10 km h⁻¹ posibilitaría el movimiento del follaje y permitiendo una mejor penetración (Carmona 2005).

Los fitosanitarios deben ser aplicados con técnicas operativas apropiadas que consisten en combinar altas velocidades de aplicación, bajos volúmenes de agua con una correcta mezcla de activos, que faciliten la adhesión de las gotas, humectación, distribución y finalmente entrada a las hojas (Auweter et al., 2010).

Entre los diferentes factores tecnológicos mencionados anteriormente que influyen directamente en el correcto control de plagas, el presente trabajo de investigación está dirigido al comportamiento espectral de gotas y su efecto en la aplicación de agroquímicos con el objeto de alcanzar mejores resultados técnico – económicos.

2 OBJETIVO GENERAL

Validar técnicas de pulverización terrestre y aérea para lograr llegada al follaje interno e inferior del cultivo de soja con la cantidad de activo suficiente en el periodo fenológico R3-R5.

2.1 Objetivos Específicos

- Evaluar la supervivencia de las gotas utilizando antievaporantes.
- Determinar el efecto de diferentes tasas de aplicación sobre el tamaño, distribución y homogeneidad del espectro de gotas en diferentes estratos de la canopia.
- Determinar el adecuado tamaño, distribución y homogeneidad de la gota.
- Evaluar la distribución de trazante depositado en los diferentes estratos de la canopia.

3 HIPÓTESIS

La disminución del tamaño de la gota de pulverización permite mejorar la deposición en la parte interior, media e inferior del canopeo del cultivo de soja, sobre la aplicación en el sector superior de la misma.

4 ANTECEDENTES

4.1 Desarrollo del cultivo y momentos de aplicación.

En la Argentina, el cultivo de soja posee una amplia ventana de producción debido principalmente al ajuste del crecimiento del cultivo a partir de la combinación de la longitud del ciclo de los cultivares y su manejo con las fechas de siembra y espaciamiento en función de la calidad de los lotes de producción. A lo largo del territorio Argentino, desde el sur de la provincia de Buenos Aires hasta el norte de la provincia de Salta las fechas de siembra van desde septiembre a enero y los grupos de madurez que intervienen son desde el II al IX. El presente trabajo de investigación se desarrolló en la zona rural de la ciudad de Bandera ubicada en la Región Norte, específicamente en el departamento Belgrano, al sudeste de la Provincia de Santiago del Estero, donde las fechas de siembra se concentran desde fines de noviembre principios de enero con grupos de madurez VI al VIII (Baigorri 2002). Censos realizados por la Sociedad Rural del Sudeste Santiagueño, el departamento cuenta con 400.000 hectáreas en producción agrícola ganadera. Pertenece a la Gran Llanura Chaqueña con características climáticas del Chaco semiárido y sub húmedo. La temperatura máxima absoluta alcanza los 45° C y la mínima absoluta los – 6.5° C. El período libre de heladas comprende 240 días aproximadamente que constan desde fines de septiembre hasta los primeros días de mayo. Las precipitaciones varían alrededor de los 900 mm anuales distribuidas en el período primavera-estival. Actualmente la agricultura abarca el 90% de la superficie siendo los cultivos más importantes la soja y maíz, quedando el sorgo, algodón y girasol destinados a otros tipos de ambientes, el 10% restante es destinado a ganadería y siembra de pasturas. El cultivo una vez emergido comienza su crecimiento y desarrollo midiéndose sus etapas vegetativas por el número de nudos, altura de la planta, distancia entre nudos y presencia o no de órganos reproductivos. La etapa vegetativa ($V_{1, 2, 3, \dots, n}$) abarca los meses de diciembre, enero, hasta mediados de febrero donde comienza el estadio R1 (inicio de floración) y continúa su crecimiento hasta R5.5 (mitad de llenado de granos) en el cual la planta alcanza su máximo peso, número de nudos y área foliar con presencia de vainas y semillas con un tamaño de 3 mm en uno de los 4 nudos superiores en el tallo principal con hojas completamente desarrolladas en el último nudo (Ritchie et al., 2006). En esta etapa los entresurcos ya están cubiertos por las hojas principalmente del tercio superior y medio, las plantas alcanzan un gran porte y presentan una importante cantidad de hojas distribuidas en forma alterna lo que dificultan la llegada del principio activo a las hojas internas del tercio medio e inferior. El índice de área foliar (IAF), definido como el cociente entre el área foliar por unidad de superficie, está altamente relacionado con el rendimiento del cultivo de soja. En los estados R3-R5, son necesarios valores críticos de 3,5 a 4 para alcanzar el máximo rendimiento. Defoliaciones que reduzcan el IAF por debajo de ese rango generalmente reducen el rendimiento (Perotti y Gamundi 2009) por este motivo es necesario mantener el área foliar y realizar el control de plagas o enfermedades foliares a partir de las necesidades de las plantas y evitar la defoliación (Gassen 2011).

La mortalidad y el daño no son medidas equivalentes de evaluación en protección de cultivos. Una alta mortalidad en un control tardío puede resultar en severos daños, sin embargo una reducida mortalidad en un control temprano suele redundar en una mejor protección del cultivo (Ebert et al., 1999)

4.1.1 Principales plagas y enfermedades

En la Argentina los insectos defoliadores constituyen las principales plagas del cultivo de soja. Existen especies de aparición esporádica que pueden provocar defoliaciones importantes como ser: *Spodoptera frugiperda*, *Dichoroplus spp.*, *Megascelis sp.*, *Spilosoma virgínica* y *Spodoptera cosmioides*. Sin embargo existen 4 especies consideradas las más importantes por su frecuencia de aparición y abundancia (Perotti y Gamundi 2009).

Oruga de las leguminosas (*Anticarsia gemmatalis* Hubner).

Es una de las plagas más importante del cultivo de soja. La larva llega a medir de 35 a 40 mm de longitud, comienza alimentándose del mesófilo siguiendo de hojas y partes tiernas dejando intactas las nervaduras, también puede consumir de forma parcial o total las vainas tiernas o semillas que se están llenando (Kathryn 2000). Una larva llega a consumir entre 100 y 110 cm² de superficie foliar (Aragón y Flores 2006).

Falsa medidora (*Pseudoplusia includens* Walkers) y **Oruga medidora** (*Rachipusia nu* Guen).

El lugar de preferencia de ellas es el tercio inferior del cultivo (Aragón 2004). Prefieren alimentarse de hojas localizadas en el tercio inferior de la planta de soja protegidas por la canopia del cultivo, en este sector es dificultosa la llegada del insecticida. A medida que la defoliación se incrementa en dicho estrato, las larvas migran hacia la parte superior en búsqueda de alimento de mejor calidad nutricional (Herzog 1980). Su nivel de consumo es variable, entre 80 y 200 cm² de hojas de soja, respetando las nervaduras (Navarro et al., 2009).

Oruga bolillera (*Helicoverpa gelotopoeon* Dyar). Puede presentarse como una plaga móvil a través de toda la planta. Las larvas se alimentan de las partes tiernas y unen las hojas del brote por medio de hilos de seda. Luego abandonan el capullo de hojas y siguen dañando brotes tiernos. Puede atacar en varios momentos del ciclo, defoliando las plantas, atacando los nuevos brotes o consumiendo racimos florales, vainas, y granos. Puede llegar a consumir entre 8 y 15 granos en los dos últimos estadios larvales (Urretabizcaya et. al., 2010).

En las últimas campañas, se observa un incremento y mayor prevalencia de otros grupos de insectos: trips: *Frankliniella schultzei*, *Caliothrips phaseoli*, moscas blancas: *Bemisia tabaci* y arañuelas: *Tetranychus urticae* y *Tetranychus spp.* El daño de estas plagas provoca disminución de la capacidad fotosintética pudiendo con altas poblaciones y condiciones de estrés ambiental reducir la expansión foliar con pérdidas anticipadas de hojas. (Perotti y Gamundi 2009).

Complejo de chinches: Chinche marrón o de los cuernitos (*Dichelops furcatus*), **Chinche verde** (*Nezara viridula*), **Cinche de la alfalfa** (*Piezodorus guildini*), **Alquiche chico** (*Edessa meditabunda*).

Constituyen una de las plagas más importantes en soja. Las toxinas inyectadas durante el picado de la chinche pueden provocar distintos tipos de daño según el estadio reproductivo de la planta. Las vainas recién formadas abortan y caen. Los granos detienen su crecimiento, el daño extremo es la chaucha sin granos (vaneo). Los granos más grandes pueden tener menor tamaño y peso, verse arrugados o manchados. Otro efecto de la picadura es la retención foliar o soja loca, donde los tallos y hojas siguen verdes cuando las vainas se encuentran maduras, dificultando la cosecha. El momento de mayor susceptibilidad del cultivo es a partir del inicio de floración R1 y hasta finalizado R6. (Irgazábal et. al., 2009).

El cultivo de soja en el país ha crecido con la superficie bajo siembra directa y con el monocultivo, creando excelentes condiciones para la multiplicación y supervivencia de los patógenos causantes de las enfermedades de fin de ciclo (EFC) y roya asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Las principales EFC son la mancha marrón (*Septoria glycinis*), tizón de la hoja (*Cercospora kikuchii*), Antracnosis (*Colletotrichum spp*), Tizón de la vaina y tallo (*Phomopsis sojae*), mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*), mancha anillada (*Corynespora cassiicola*), el tizón y pústulas bacterianas. El daño promedio causado por las EFC es de 8% a 10%, con un máximo de hasta 30% (Wrather et. al., 2001; Carmona 2003; Carmona et. al., 2004), citado por Carmona 2005.

4.2 Control mediante técnicas de pulverización

Las gotas constituyen el vehículo más común para llevar la sustancia activa hasta el objetivo deseado. Existen diferentes técnicas que se utilizan para la subdivisión de líquidos en un espectro de gotas. El proceso utilizado para la formación de gotas se denomina pulverización.

Las pulverizaciones se componen de un número variable de gotas de diferentes tamaños y velocidades. La distribución de diámetros del espectro de gotas determina las características de operación y la eficiencia de la pulverización. Muchos autores advierten que en las pulverizaciones agrícolas no solo se producen gotas de tamaño correcto para obtener control, sino que además se originan otras de tamaño muy variado que pueden traer consecuencias adversas para el ambiente y la salud humana (Villalba Farinha et al., 2009, Ruver 2011, Cunha et al., 2012, Nuyttens et al., 2009).

El proceso de pulverización puede considerarse como la interrupción de la influencia estabilizadora de la tensión superficial por la acción de fuerzas internas y externas. Muchas de las grandes gotas producidas en el proceso de desintegración inicial son inestables y sufren un nuevo proceso de rompimiento para generar gotas más pequeñas. Así, el tamaño final de las gotas dependerá del alcance de los dos procesos, pulverización primaria y pulverización secundaria (Castillo 2010) Figura 1.

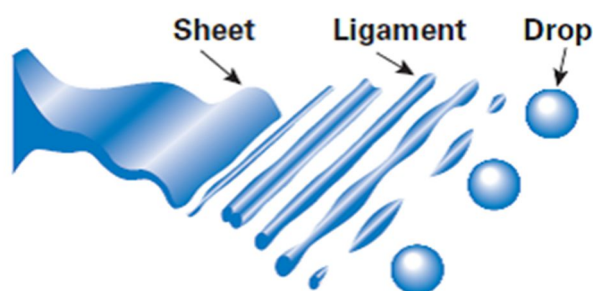


Figura 1. Proceso de pulverización. (Fuente: Schick, R. J.)

Si se tiene en cuenta que se necesita energía para romper el líquido en gotas, los métodos de subdivisión pueden clasificarse conforme la energía usada: presión de un líquido (presión hidráulica), presión de aire (neumática), rotación de dispositivos (centrífuga), evaporación de líquidos (térmica), campos eléctricos (electrodinámica) y vibración mecánica de superficies (ultrasónica). Las fuerzas actuantes sobre un líquido a pulverizar, atendiendo a las propiedades más importantes de este son: densidad, coeficiente de tensión superficial y viscosidad dinámica. Las fuerzas que actúan sobre un líquido y que son particularmente importantes en la pulverización son: fuerza de

gravidad, inercia, fuerza de tensión superficial, fuerza viscosa. Entonces habrá subdivisión hasta que el diámetro de las gotas sea lo suficientemente pequeña para mantener el equilibrio, cabe mencionar que el efecto de la viscosidad es oponerse a la deformación de la gota y demorar el proceso de subdivisión.

4.3 Energía hidráulica (presión)

El líquido en forma de chorro o corriente, se introduce bajo presión en un orificio calibrado (boquilla) de una línea o tubería hidráulica. El rompimiento ocurre cuando el líquido sale de la boquilla a un medio gaseoso en reposo (aire de la atmósfera). El líquido fraccionado puede emerger aún en forma de corriente o “chorritos” desintegrándose en gotas o en forma de lámina o película, que luego continuará desintegrándose en gotas. La forma de rotura dependerá del balance de las fuerzas mencionadas (Castillo 2010).

4.4 Boquillas de pulverización

Las boquillas son la parte más importante del equipo pulverizador. La elección de las características de las boquillas de pulverización agrícola es un aspecto importante en la aplicación de pesticidas, porque de ellas depende la eficiencia y los procesos de aplicación. El tamaño de gota y velocidad afecta la estructura de los depósitos y la facilidad de deriva (Taylor et al., 2004).

Nuyttens et. al., (2007) utilizando el Analizador de Partículas en Fase Doppler (PDPA) determinó el tamaño y velocidad de gotas de numerosas boquillas y concluyó que la combinación ideal de boquilla y presión maximizará la eficiencia de los depósitos y el transporte de la dosis letal al blanco, mientras que se minimizan las pérdidas fuera del blanco, es decir la deriva y la exposición del usuario. Por otra parte, sus resultados demuestran una diferencia entre gotas finas y medias dentro de un mismo tipo de boquilla en función del caudal de la misma pero a igual presión. Esta observación no es coincidente entre diferentes autores y manuales de fabricantes.

Las boquillas hidráulicas, debido a su simplicidad, son ampliamente usadas en aplicaciones a campo para el control de plagas, pero la uniformidad de deposición es baja en canopias densas (Zhu et. al., 2006). La SDTF (Spray Drift Task Force 2001) confirma que el tipo de boquilla, tamaño de orificio de la pastilla, ángulo de asperjado, presión de trabajo y las propiedades físicas de la mezcla son los factores primarios que afectan el espectro de tamaño de gotas de las boquillas agrícolas.

En general las gotas más grandes corresponden con las más altas velocidades de desplazamiento y las gotas más pequeñas a más bajas velocidades. Existen importantes diferencias dependiendo del tipo de boquilla y tamaño, ambos aspectos afectan la velocidad de eyección (Nuyttens et. al., 2009).

Las características del asperjado afectan la eficiencia de los procesos de aplicación de pesticidas, estas son tamaño de gota, velocidad de distribución, patrón de distribución del volumen, características de arrastre por aire y la estructura individual de las gotas (Miller y Buttler Ellis 2000).

Las boquillas tienen la función de:

- Determinar el caudal aplicado por hectárea ($L \cdot ha^{-1}$); (cantidad)
- Producir gotas de un tamaño determinado (calidad);
- Proporcionar una adecuada distribución del líquido en toda la superficie bajo tratamiento (uniformidad) (Maciá y Cid 2010).

Existen tres patrones de distribución: cono lleno, cono hueco y abanico plano. Las boquillas con patrón de abanico plano son las que presentan la mayor cantidad de modelos y rangos de variación en el tamaño de las gotas producidas. Las boquillas de cono hueco se presentan en un solo cuerpo, o bien constituidas por elementos independientes, cuerpo de la boquilla, núcleo de rotación, cámara de turbulencia, placa y tapa. Cada uno de estos elementos toma un papel fundamental en la determinación del caudal y formación del cono. Se utilizan cuando se requiere una excelente cobertura, como es el caso de la aplicación de fungicidas (Maciá y Cid 2010).



Figura 2. Boquilla de cono hueco integral, abanico plano y cono hueco con disco y núcleo (Fuente: Tejeet 2009, Albuz 2009).

La aplicación eficiente de agroquímicos tiene como objetivos depositar las gotas de forma que cubran los puntos de infección, potenciales o establecidos, de manera que la materia activa pueda ejercer su acción protectora o curativa (Elliot y Wilson 1983) citado por Hewitt et al., (1997). Hace algunas décadas, para conseguir la cobertura total de las plantas se aplicaban volúmenes muy elevados de líquido fitosanitario por hectárea, tanto mayores cuanto más grande era el tamaño de las gotas pulverizadas y menor el poder curativo del líquido. En contraposición Lake et. al., (1977) citado por Giles (1992) demostraron muy claramente que gotas más pequeñas de 50 micrones en diámetro permanecían sobre la superficie de la hoja mucho mejor que gotas grandes y permiten un mejor control de muchas plagas. Mboob, 1975; Owens y Bennet, 1978 y Scoopes, 1981 citado por Giles (1992) realizaron el mismo trabajo con mosca blanca como objetivo, y resultó claro que las pequeñas gotas otorgan la mejor eficiencia de control. Para alcanzar una buena cobertura de las plantas, se sabe que es esencial usar gotas de tamaño reducido y homogéneo, y que deben evitarse tanto las gotas excesivamente grandes, porque representan un elevado porcentaje del volumen de caldo, coalescen y generan endoderiva, como las excesivamente pequeñas pueden ser arrastradas por el viento y no alcanzar el objetivo previsto (Lake y Dix 1985 citado por Giles 1992; Porras y Porras 2006). Estos autores afirman que este tipo de gotas por su tamaño y peso tienen la capacidad de mejorar la penetración en el tercio inferior del cultivo, evitando los efectos de arrastre provocado por el viento y el de evaporación provocado por la baja humedad ambiente.

En la actualidad es frecuente el uso de antievaporantes que modifican las propiedades físicas del caldo de pulverización y de esta forma aumentan la vida útil de la gota hasta alcanzar el blanco. Se busca mejorar la eficiencia de aplicación y la condición del producto aplicado para el control de plagas. Para llegar correctamente con los impactos necesarios al tercio inferior es conveniente lograr un efecto aerodinámico adecuado con una velocidad de avance adecuada de la pulverizadora y velocidad del viento de 18 a 20 km.h⁻¹ con un tamaño de gotas adecuado (Auweter et. al., 2010).

La bibliografía y los manuales de fabricantes coinciden en recomendar para cultivos con una elevada densidad foliar la utilización de pastillas del tipo cono hueco debido a sus características de generar gotas finas. Los equipos utilizados para la pulverización sobre los cultivos emplean una gran variedad de boquillas para dividir la mezcla en un asperjado de gotas y dirigirlas al objetivo. Las instrucciones dadas en los marbetes de los productos fitosanitarios indican claramente la dosis de producto a ser aplicado sobre la plaga y el volumen de mezcla a pulverizar, mayormente con agua. Sin embargo, la información sobre el tipo de pulverización a ser utilizada a menudo no se especifica o no es clara. La clasificación de los asperjados y las boquillas tiene la finalidad de comunicar la información necesaria en los marbetes de los productos fitosanitarios que definen la calidad más adecuada para la pulverización, información sobre el producto, su utilización y riesgos ambientales y para los operarios. Para ello Southcombe et al., (1997) modifican la clasificación introducida por la BCPC en 1985 (Fina, Media y Gruesa) y proponen extenderla a muy finas (MF <100 μm), finas (F 100-175 μm), medianas (M 175-250 μm), gruesas (G 250-350 μm), muy gruesas (350-450 μm) y extremadamente gruesas (>450 μm). Entonces se puede entender por gotas pequeñas las de diámetro menor de 100 μm , gotas medias entre 200-300 μm , y gotas grandes las de 400 μm en adelante que son consideradas gotas que mitigan el efecto de la deriva por su peso y poca movilidad (Porrás y Porrás 2006).

4.4.1 Importancia del tamaño y homogeneidad de las gotas

La bibliografía es coincidente en la falta de conocimientos sobre usos de diferentes tamaños de gota, uniformidad y distribución de la pulverización. Himel (1974) afirmó que el tamaño de gotas adecuado para el control de insectos es uno de los conceptos más importantes en la técnica de aplicación de agroquímicos pero es además, el más controvertido.

El fin de todos los métodos y sistemas de aplicación es la distribución uniforme, en cantidades adecuadas, de la sustancia activa sobre el objetivo. Una pulverización está compuesta por un espectro de gotas de tamaños diferentes; cada uno de estos tamaños tiene un comportamiento característico en su trayectoria hacia el blanco. Una aplicación con menor tamaño de gota a la misma tasa de aplicación producen mejor cobertura con menores pérdidas por escurrimiento. En el campo práctico, las gotas pequeñas por tener energía cinética menor son más útiles cuando es necesario colocar producto en la parte interna de un follaje. Pérez, H. (s.f.).

Durante la aplicación de agroquímicos, el equipo pulverizador debe producir la división del líquido en gotas homogéneas y garantizar su transporte y distribución uniforme sobre el blanco.

El tamaño y número de gotas es generado a través de las boquillas provistas en los equipos pulverizadores. En la Figura 3 se muestra cómo a partir de una gota de diámetro D_1 , se producen 8 gotas a la mitad de su diámetro D_2 . Para una interpretación matemática, se calcula por la fórmula de volumen de la esfera, $V = \pi * D^3 / 6$; y superficie, $S = \pi * D^2$.

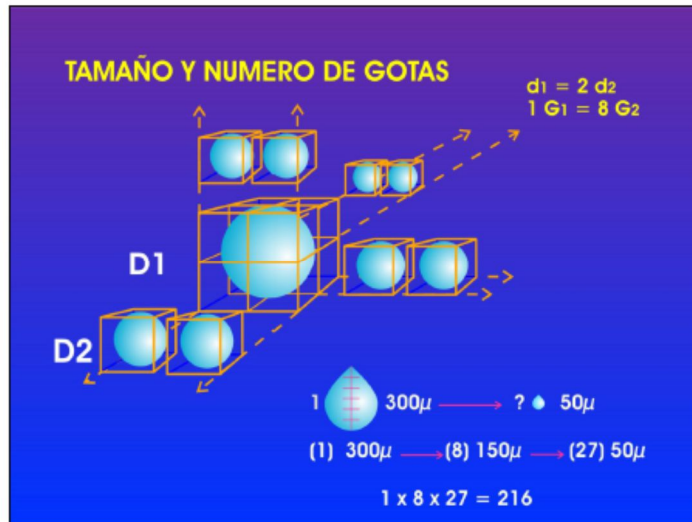


Figura 3. Relación entre número y tamaño de gotas. (Fuente: Leiva, P. 2011)

En la Figura 4 se puede observar cómo a partir de una gota de $400 \mu\text{m}$ de diámetro se divide en gotas de menor tamaño, aumentando progresivamente la superficie de contacto. Cuando se la divide por la mitad se obtienen, con el mismo volumen de líquido, 8 gotas de $200 \mu\text{m}$ diámetro, del mismo modo, cuando se dividen a la mitad esas gotas de $200 \mu\text{m}$ el resultado será de 64 gotas de $100 \mu\text{m}$, lo mismo ocurre para obtener 512 gotas de $50 \mu\text{m}$, lo que permite alcanzar una mayor cobertura del objetivo (Sirignano 1999).

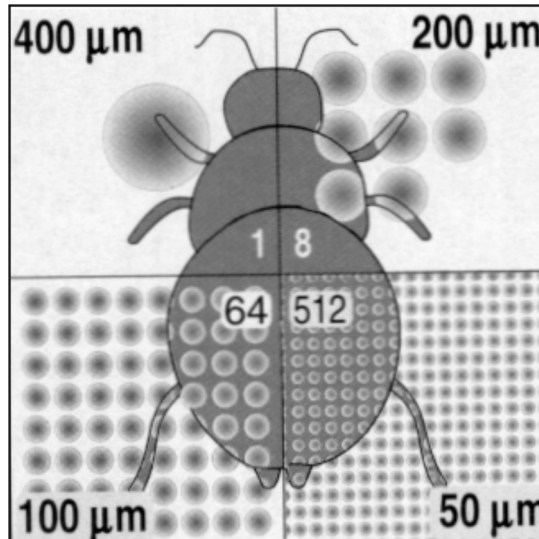


Figura 4 Equivalencia entre los tamaños de gotas (Texeira M. 2010).

Como ya fue mencionado anteriormente de acuerdo a las características del asperjado de diferentes boquillas se pueden considerar cinco categorías (tabla 1) (Doble et al., 1985 citado por Hewitt 1997) y son, muy fina ($<100 \mu\text{m}$), fina ($100 - 175 \mu\text{m}$), mediana ($175 - 250 \mu\text{m}$), gruesa ($250 - 375 \mu\text{m}$), muy gruesa ($375 - 450 \mu\text{m}$) y extremadamente gruesa ($>450 \mu\text{m}$).

Tabla 1. Clasificación del espectro de gotas por tamaño (Fuente SDTF 2001)

Clasificación	Símbolo	Diámetro μm	Código de color
Muy fina	VF	<100	Rojo
Fina	F	100 – 175	Naranja
Mediana	M	175 - 250	Amarillo
Gruesa	C	250 - 375	Azul
Muy gruesa	VC	375 – 450	Verde
Extr. gruesa	XC	>450	Negro

Metcalfe (1980), menciona que una elevada tasa de aplicación produce generalmente un espectro con una gran cantidad de gotas mayores a 250 micrones de diámetro. Estas son muy propensas a generar escorrentía de la superficie de las hojas y perderse por endoderiva. Este tipo de aplicaciones son antieconómicas y en muchas ocasiones no logran controlar la plaga.

Las gotas pequeñas por tener menor velocidad de caída, demoran más tiempo en depositarse, y por lo tanto estarán más expuestas a que el viento, turbulencias y movimientos de aire y/o acción dinámica del equipo, las lleven hacia el interior de las plantas. Pérez (s.f.) ha determinado que con un DVM de 100 μm a 4 L.ha⁻¹ de tasa de aplicación con avión se obtiene hasta un 12% más de penetración, comparando con la penetración a un DVM de 250 μm a una tasa de aplicación de 27 L.ha⁻¹. En este aspecto, la aplicación terrestre es conveniente, porque permite dirigir la aplicación hacia un sitio determinado y las gotas pequeñas siguen estrechamente el movimiento de la masa de aire circundante. Las gotas más grandes tienen poca capacidad de penetración e impactan sobre el primer obstáculo que encuentran porque la energía cinética inherente es demasiado grande. Las hojas y demás estructuras de las plantas “filtran” las gotas, y solo tienen la posibilidad de depositarse en el interior del follaje algunas gotas pequeñas.

Las aeronaves de uso específico agrícola, se han desarrollado en gran parte como resultado de la simplicidad que representa su implementación, uno de los motivos es que permiten optar por el momento más oportuno de aplicación que reúne las mejores condiciones ambientales, logrando mayor eficacia en los resultados de los tratamientos. Los aviones son capaces de realizar siembras, aplicar fertilizantes y pesticidas de una manera oportuna en grandes áreas (Zhang et al., 2010). Estudios realizados por Kirk et al., (2004) en aplicaciones aéreas demostraron que el espectro de asperjado de gotas finas con atomizadores rotativos maximizó la deposición sobre espigas de trigo. Como contraposición, un espectro de gotas medianas mostró menos deposición independientemente del volumen de aspersión evaluado (entre 7.5 y 38.5 L.ha⁻¹).

4.5 Parámetros del espectro de gotas

DMV (diámetro de la mediana volumétrica)

Es el diámetro de gota que separa la población de gotas ordenadas de menor a mayor en dos mitades de igual volumen de líquido. La mitad superior estará compuesta por un menor número de gotas de mayor tamaño y la mitad inferior la conformarán un gran número de gotas de menor tamaño.

DMN (diámetro de la mediana numérica)

Es el diámetro de gota que divide la población de gotas en dos mitades con cantidades numéricamente iguales. Ambas mitades tendrán un volumen de líquido

diferente. Este parámetro no tiene mucha importancia práctica. No obstante analizado en conjunto con el diámetro de la mediana volumétrica (DMV) permite la mejor evaluación de la homogeneidad del tamaño de gotas de pulverización.

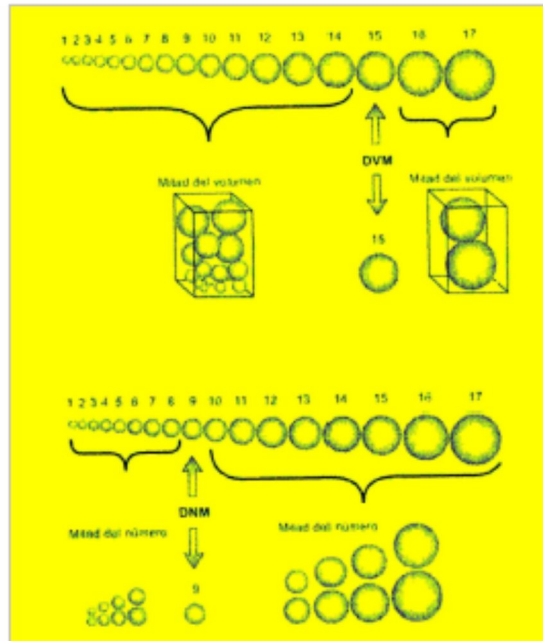


Figura 5. Parámetros para caracterizar el espectro de gotas (Fuente: Leiva 2011).

CH (coeficiente de homogeneidad)

Se define como la relación entre el diámetro de la mediana volumétrica (DMV) y el diámetro de la mediana numérica (DMN) es decir $CH = DMV/DMN$. Cuanto más próximo a 1 estuviere el valor de CH significa que el espectro de gotas pulverizadas será más homogéneo. Un espectro de gotas es considerado “amplio” cuando la diferencia entre las gotas menores y mayores es grande. Cuando esa diferencia es pequeña el espectro es considerado “estrecho o pequeño”. El CH varía con el tipo de sistema de formación de gotas o boquilla. A continuación se dan algunos valores de referencia.

Boquilla de Cono: 1,8 a 5,0

Boquilla de Abanico: 2,0 a 8,0

Boquilla de Espejo: 5,0 a 10

Centrifugo: 1,2 a 1,6

Dv_{0,9}: Diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

Dv_{0,1}: Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen total de líquido pulverizado.

AR (amplitud relativa del espectro)

La amplitud relativa expresa la variación del tamaño de gotas y se determina utilizando la ecuación $AR = Dv_{0,9} - Dv_{0,1} / DMV$.

La Figura 6 ilustra tres pulverizaciones con el mismo DMV pero con diferentes valores de CH y amplitudes relativas (AR). Se puede observar que la aplicación (A) tiene el valor de CH próximo a 1, lo que indica un espectro de gotas más uniforme. En este caso puede afirmarse que la aplicación será más eficiente que la (C), donde se observan gotas muy finas y gotas muy gruesas que pueden interferir sobre la calidad de la aplicación.

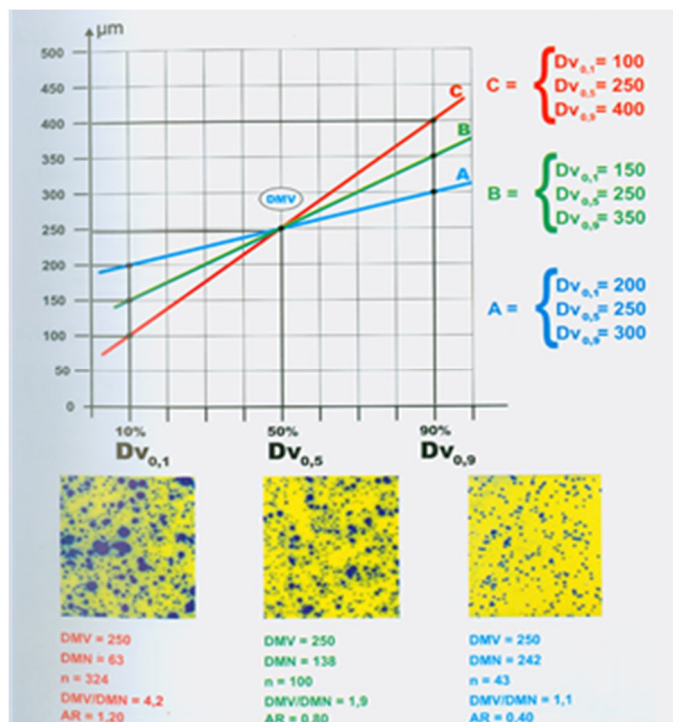


Figura 6. Efecto de la amplitud relativa en la eficiencia de distribución de gotas (Texeira M. 2010)

Nuyttens (2009), utilizando el equipo de medición de partículas Phase Doppler Particle Analyzers (PDPA), realizó el análisis de la boquilla de cono hueco en la combinación pastilla 5 (AD5) y núcleo de rotación 13 (AC13). De acuerdo al manual del fabricante ALBUZ (2009) esta combinación forma un ángulo de cono de 96°. Y de acuerdo al análisis presenta una interesante aptitud de uso. Los ensayos fueron realizados en una gama de presión de 1 a 6 bares, con una altura por debajo de la boquilla: 0,70 m y agua a 20°C como líquido de ensayo.

En esta revisión, solo se presentan los valores obtenidos a 3 bares de presión, para ser coincidentes con las tablas de presentación en el manual del fabricante.

Presión: 3 bar, DMV: 170 µm, DNM: 68.9 µm, $Dv_{0,1}$: 83 µm, $Dv_{0,9}$: 274 µm, AR: 1.14, CH: 2.43.

Gaffney y Goede (2009) describen los estudios de Hoffman et al., (2008) quienes trabajaron con cabezales rotativos y cita valores de AR de 0.59 a 0.79 con 9,45 L. ha⁻¹ y 0.52 a 0.99 con 18,9 L. ha⁻¹. El ligero aumento del AR de 18,9 L. ha⁻¹ puede ser debido a la utilización de agentes controladores de deriva.

4.6 Control de deriva

El tamaño de gota es el factor más importante para optimizar la performance y eliminar resultados indeseables. La deriva potencial está identificada y representada por el número de gotas creadas durante el proceso de asperjado que son menores a un tamaño de 200 µm, estos valores son publicados por Williams, et. al., 1999 redactados por Wolf y Minhiam (2008).

Las gotas por debajo de un diámetro de 100 µm deberían evitarse por su potencial de deriva. Para evitar estos efectos, la caracterización adecuada y el control del tamaño de gotas son de gran importancia. (Southcombe et al., 1997)

Bache y Johnstone (1992) estudiaron gotas de 100 µm con caídas desde 1 m y percibieron una demora 3,9 segundos en desplazarse 8 m con vientos de 7,2 km/h y 18

m con vientos de 16,5 km/h. Para gotas de 200 μm desde 1 m demoran 1,4 segundos y se desplazan 2,8 m con vientos de 7,2 km h^{-1} y 6,5 m con vientos de 16,5 km h^{-1} .

Recientemente se han realizado esfuerzos para cuantificar y controlar la pulverización de las boquillas hidráulicas. Himel (1974) hace una distinción entre exoderiva, movimiento de la pulverización fuera de la zona objetivo y endoderiva, en donde las gotas caen en el área de orientación, pero no alcanza la meta biológica. Endoderiva es volumétricamente más importante, por lo que puede provocar una mayor contaminación ecológica (por ejemplo, donde los pesticidas químicos contaminan las aguas subterráneas) con pérdidas en la eficiencia de asperjado.

Los estudios de deriva en laboratorio se realizan con túnel de viento donde se busca que la corriente de aire sea laminar, este aspecto no siempre representa lo que pasa a nivel campo, por este motivo son preferibles los ensayos en condiciones reales. Las gotas $\leq 100\mu\text{m}$ se describen a menudo como la "fracción derivable" o fracción de gotas sujetas a deriva (Bache y Johnstone 1992).

Pulverizaciones gruesas tienen un gran porcentaje de gotas grandes y son por lo tanto menos propensas a la deriva, pero pueden reducir la cobertura y el control. Es importante minimizar la deriva potencial y maximizar la cobertura del asperjado (SDTF 2001). Burt y Smith (1974) demostraron que es necesario aplicar gotas mayores de 140 μm para obtener un control razonable de la deriva.

Reichard et al., (1992) determinaron que a velocidades de vientos de 14 km h^{-1} y 60% de humedad relativa, gotas de 100 μm derivaron 5.1 m y gotas de 200 μm de diámetro derivaron en 0,28 m, a favor de viento, además en el ensayo con agua destilada agregaron un trazador fluorescente Tinopal CBS-X para rastrear los depósitos del asperjado.

4.7 Comportamiento del espectro de gotas en función del tamaño, agregado de coadyuvantes y condiciones ambientales

Existe una interacción entre los efectos de la formulación sobre la tenacidad de un depósito y la superficie de la hoja a la que se adhiere. Las hojas con mayor cantidad de cera en la superficie y formulaciones con alta tensión superficial dinámica inducen pérdidas por escorrentía. Anthonis et al., (2006) hace referencia a una distribución eficiente de los agentes químicos está altamente correlacionada con la uniformidad de cobertura de la pulverización del canopeo. Los trazadores fluorescentes pueden ser usados para una valoración visual de la deposición del asperjado y puede ser medido cuantitativamente (Giles 1992). El espectro del tamaño de gotas puede cambiar antes de depositarse en el objetivo. La SDTF (2001), condujo estudios en cultivos extensivos en cuanto a evaporación sobre amplios rangos de mezclas en tanques y concluyen que los factores que afectan el tamaño inicial de las gotas por evaporación son, temperatura del aire y humedad relativa. Las pequeñas gotas de agua reducen rápidamente su tamaño, debido a que tienen proporcionalmente una mayor superficie de exposición y cobertura que las grandes gotas. Amseden (1962) estimó diferentes tiempos de supervivencia y distancias recorridas de la gota desde la boquilla en dos condiciones climáticas representativas. Con temperaturas de 16° C y 58% HR, las gotas de 100 μm tienen un tiempo de vida de 28 segundos y una distancia de caída de 4.2 m, con temperaturas de 25° C y 50% HR, las gotas de 200 μm tienen un tiempo de vida de 71 segundos y una distancia de caída de 4.3 m. Con solo aumentar el 26% de su tamaño su peso se duplica y cambian completamente sus condiciones.

La SDTF (2001), asegura que las propiedades físicas (dinámica de la tensión superficial, viscosidad dinámica y viscosidad cinemática), se modifican por coadyuvantes que contienen alcoholes u otros solventes miscibles con el agua que resultan en un asperjado fino, sin embargo la distribución del tamaño de gota es principalmente controlada por el tipo de boquilla (Nuyttens et. al., 2009).

En términos generales, una disolución consiste en una mezcla totalmente homogénea de dos o más sustancias en una sola fase. El componente que determina la fase de la disolución, y que normalmente está presente en la proporción más elevada, se denomina disolvente; los restantes componentes se denominan solutos y se considera que están disueltos en el disolvente (Morris 1975).

El efecto de las partículas de un soluto no volátil sobre la presión de vapor del solvente es provocar un descenso de la misma. Este efecto depende de dos factores: disminución del número de moléculas del solvente en la superficie libre, y fuerzas atractivas que ejercen las partículas del soluto (por cohesión) sobre las moléculas del solvente, dificultando su paso a la fase de vapor, resultado que la presión de vapor de la solución es más baja que el solvente. La temperatura de ebullición de un líquido es aquella a la cual su presión de vapor iguala a la atmosférica. Cualquier disminución en la presión de vapor al añadir soluto no volátil producirá un aumento en la temperatura de ebullición que es consecuencia inmediata del descenso de la tensión de vapor (Vargas Jiménez y Macarulla 1984). Ante condiciones de humedad relativa y temperaturas que provoquen pérdidas de gotas medianas a finas por evaporación, es posible protegerlas incorporando antievaporantes a base de siliconas y aceites de última generación a la mezcla del tanque, como resultado la presión de vapor desciende y el punto de ebullición aumenta, resultando que las gotas emitidas conserven su diámetro, peso y número hasta llegar al objetivo. El objetivo es lograr la supervivencia de gotas sin la necesidad de superar un DMV cercano a 200 μm .

El agregado de un coadyuvante optimiza la penetración de los ingredientes activos, combina una óptima actividad curativa y protectora en la misma formulación.

Se ha demostrado que por modificaciones en las formulaciones, una reducción de gotas finas se puede lograr sin un incremento significativo de la fracción de gotas grandes. Por lo tanto, los ajustes apropiados en las formulaciones son capaces de reducir la deriva sin la necesidad de sacrificar la cobertura de hoja. Una gota de agua de aproximadamente 300 μm , tiene una adhesión parcial en una formulación estándar y una completa adhesión con una formula optimizada (Auweter et al., 2010). El mismo autor al fin de estudiar los impactos de gotas sobre hojas con el agregado de coadyuvantes en formulación de fungicidas, utilizó imágenes de video de alta velocidad y concluyó que la distribución de las gotas sobre las hojas aumentó el área de depósito final hasta un factor de 20 veces, comparado con el tamaño inicial de gotas.

Distintos autores mencionan que se deben considerar las condiciones atmosféricas como factor de riesgo en las aplicaciones de agroquímicos. Los efectos más importantes son el viento que suele causar exoderiva, la temperatura y humedad que causan evaporación del producto y altas tasas de aplicación que causan endoderiva. Las boquillas son muy importantes en este proceso, ya que las gotas muy pequeñas corren el riesgo de perderse por exoderiva y las gotas muy grandes de coalescer sobre las hojas y generar excesiva endoderiva.

4.8 Calidad cualitativa del espectro de gotas

Es frecuente en la bibliografía definir la calidad de una aplicación por medio del número de gotas de líquido que alcanzan cada centímetro cuadrado de superficie vegetal (Márquez 1985). Parkin (1993) citando a Turner y Huntingdon, describe a los papeles hidrosensibles como una herramienta para el muestreo de gotas cuyo principio es el uso del indicador de pH Bromofenol azul. Las gotas de agua que entran en contacto con el papel producen una impronta azul que se diferencia del fondo amarillo. Con esta técnica se podrían captar gotas de hasta 10 μm .

Parkin (1993), Salyani y Fox (1999) reportan que los inconvenientes que se presentan en el manejo de los papeles hidrosensibles son fundamentalmente las impresiones digitales de los manipuladores y la humedad relativa ambiente elevada. Tienen además, inconvenientes para trabajar con tasas elevadas ya que comienzan a cubrirse con improntas que se superponen y las gotas no pueden ser medidas.

Parkin (1993) menciona que el método fue mejorado y adaptado para la producción masiva por CibaGeigy en 1985, que desarrolló comercialmente los papeles para trabajar con alta humedad relativa. El papel hidrosensible ha sido utilizado ampliamente desde su creación básicamente para evaluaciones cualitativas y ocasionalmente como una herramienta para evaluar el tamaño de gota.

Con esta técnica se podrían captar gotas tan pequeñas como 10 μm . Sin embargo, ellos tienen la gran ventaja que la impronta puede ser relacionada al tamaño de gota, sin embargo la relación es no lineal y las gotas menores de 25 μm de diámetro a menudo no producen impronta por su rápida evaporación.

Hill & Inaba (1989) detectan que la eficiencia de captación de los papeles hidrosensibles en aplicaciones aéreas fue del 91%. Confirman que los papeles hidrosensibles permiten la obtención de una excelente imagen para la estimación visual de depósitos de pulverización. Los mismos autores afirman que el número de improntas por cm^2 es un buen indicador de la cantidad de insecticida depositado sobre las hojas y recomiendan el uso de esta herramienta para la evaluación de aplicación aérea.

Du Puy et al., (1985) utilizaron papeles hidrosensibles para evaluar un tratamiento aéreo de bajo y ultra bajo volumen y observaron diámetro aritmético (da), diámetro volumétrico (dv), coeficiente de homogeneidad (DVM/da) y (n/cm^2). Para el análisis de imagen se utilizó el equipo QUANTIMET 900 de Cambridge Inst.

Cross et al., (2001a 2001b 2003) digitalizaron la imagen de papeles hidrosensibles con un escáner y luego lo analizaron usando el programa para análisis de imágenes NIH (NIH – Image, US National Institutes of Health).

Salyani y Fox (1999) utilizan diferentes tasas de aplicación en árboles de naranjos, utilizando papeles hidrosensibles. Concluyeron que los papeles hidrosensibles tienen un uso limitado con elevadas tasas de aplicación y que el parámetro más confiable para evaluar aplicaciones de agroquímicos con esta herramienta es el porcentaje de área cubierta. Cerruto et al., (1998) afirmaron que los papeles hidrosensibles aumentan la superficie cubierta 5 veces. Esto transforma en inutilizables para tratamientos superiores a 400-600 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Gaffney y Goede (2009) utilizaron el programa Stainmaster 1.0.9., que emplea un scanner plano que permite obtener con rapidez y exactitud la medida de la impresión del asperjado de gotas sobre el papel sensible.

4.9 Calidad cuantitativa - Uso de trazadores o marcadores

Un trazador puede ser el ingrediente activo en una mezcla de plaguicidas o un químico seleccionado para imitar el plaguicida (Cooke y Hislop 1993) y no influye en la tensión superficial del agua (Palladini 2000). La importancia de trabajar con trazantes fluorescentes radica en que se aplica directamente sobre blancos naturales, con la desventaja del transporte del material vegetal hasta el laboratorio y su posterior análisis (Cowell et al., 1988).

La fluorescencia ocurre cuando una molécula es excitada por una irradiación de onda corta, como la luz ultravioleta, absorbe un fotón y entonces alcanza un nivel de energía alto e inestable. Al retornar a un nivel de energía estable es acompañada por la emisión de un fotón a diferentes longitudes de onda de la fuente de excitación. Este comportamiento es importante en la evaluación de aplicaciones de agroquímicos ya que pueden ser detectadas cantidades extremadamente pequeñas del trazante (Cooke y Hislop 1993).

El trazador Fluoresceína sódica (FS) posee excelentes características para evaluar aplicaciones de agroquímicos. Diferentes autores lo utilizaron para evaluar la distribución de los depósitos sobre el cultivo (Hislop y Western 1993; May y Stevens 1993; Doruchowski et al., 1996; Holownicki et al., 1998; Holownicki et al., 2000).

Cooke y Hislop (1993) informaron que la fluoresceína sódica es barata, disponible y es relativamente inocua. Se expresa la fluorescencia en ambiente acuoso alcalino o neutro pero no en estado seco. Posee el inconveniente que es altamente removible del blanco en estado seco y es muy fotodegradable.

El mismo autor, citando a Yakes y Akes, menciona las siguientes ventajas del uso de trazantes fluorescentes:

- Alta sensibilidad, mediciones por debajo de 0,01µg.
- Análisis cuantitativos rápidos.
- Solubilidad en mezclas de plaguicidas con una mínima modificación física y bajo efecto sobre la pulverización y evaporación de gotas.
- Propiedades distintivas que permiten diferenciarlas de los fondos o sustancias naturales.
- Concentración estable y predecible relacionada a las condiciones ocurridas durante el ensayo.
- Costo moderado
- No tóxicas.

Planas et al., (1996) reportaron alta foto estabilidad de la Brilliant Sulfoflavina en condiciones de campo. Aseguran que la solubilidad de este compuesto es buena hasta 1,5 g.L⁻¹ y que la dosis adecuada para una correcta sensibilidad en la determinación de deriva es de 500 g.ha⁻¹.

Existe una serie de antecedentes que citan el uso de metales y sales metálicas como trazantes para la evaluación de agroquímicos (Cooke et al., 1993; Travis et al., 1987a; Travis et al., 1987b; Pezzi & Rondelli 2000; Cross et al., 2001a 2001b 2003).

Otros productos utilizados como trazadores son las sales ionizables que luego son extraídas con agua destilada y evaluadas con un conductímetro (Cooke & Hislop 1993).

Magdalena (2004) sostiene, que las hojas son los elementos comúnmente utilizados como blanco de observación en las evaluaciones de aplicación de agroquímicos en árboles frutales. Los motivos de esta elección se basan en que

constituyen el porcentaje vegetal más elevado dentro del blanco de aplicación, en forma comparativa con ramas y frutos, además de ser los órganos vegetales más utilizados por las plagas fitófagas para su alimentación y refugio. Con respecto a las posiciones de muestreo, existen coincidencias en tomar 2 o 3 estaciones de muestreo en altura y dos estaciones de muestreo en profundidad en la planta (externa e interna). Sin embargo, no existe un criterio unificado sobre las alturas exactas de muestreo, ya que este criterio se adopta de acuerdo a de la altura y porte de las plantas.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Caracterización del cultivo mediante área foliar del cultivo (IAF)

El presente trabajo de investigación se realizó en dos campañas, años 2012 y 2013 con medición del IAF del cultivo horas antes de comenzar los ensayos. El índice de área foliar (IAF) fue definido por Watson (1947) como el total de área de hoja presente por unidad de área de cultivo, de este modo el IAF caracteriza una canopia en un agroecosistema, siendo clave en el análisis del crecimiento de los cultivos: la productividad, el uso del agua, el manejo de las malezas, las enfermedades y en el control de plagas y enfermedades.

En el primer año de experimentación la medición del Índice de Área Foliar (IAF) se realizó mediante el uso del LAI-2000 (Figura 7) que mide la atenuación de la radiación solar difusa en cinco ángulos del zenit simultáneamente, utilizándose el sensor óptico LAI-2050 que proyecta la imagen de su vista hemisférica en cinco detectores ubicados en anillos concéntricos. Las lecturas superiores (A) e inferiores (B) se toman con el mismo sensor óptico, siendo este modo recomendado para trabajar en canopias bajas, donde es factible colocar el sensor sobre la canopia. La medición comenzó con una lectura superior (A), cuando la lectura B (lectura inferior) es cargada el LAI-2000 tomará la lectura A más reciente para hacer los cálculos de transmitancia.

Las mediciones de IAF fueron tomadas a la tarde a fin de evitar el ingreso de la luz directamente al sensor utilizándose el anillo de 45° para restringir el área de visión del sensor de acuerdo con el manual de instrucciones para cultivos compactos (Li-Cor, 1992). Para cada medición se realizó una lectura arriba de la canopia y tres por debajo de la misma en diferentes lugares, repitiéndose este procedimiento tres veces por cada sitio según lo reportado por Holshouser y Whittaker (2002).

Para el segundo año, la obtención del IAF se basó en el método del área específica de la hoja (AEH). Para tal fin se determinó el área específica de la hoja (AEH) haciendo el cociente de A_d/W_d , donde:

A_d es el área (cm²)

W_d peso seco de los discos de hojas (g)

En una parcela de 1m de lado (1m² de superficie) se recolectaron todas las hojas presentes y se les determinó peso seco. Paralelamente se cosecharon 100 hojas de la parte media de la planta, de cada una de ellas se extrajo una muestra circular con sacabocados circular de área conocida (11,34 cm², una por hoja) estas muestras fueron llevadas a estufa a 80°C hasta peso constante para determinar peso seco de las áreas conocidas de hoja. Con el área específica de la hoja y el peso seco de las hojas presentes en un metro cuadrado, se calculó el índice de área foliar multiplicado el área específica por el peso seco de la hojas presente en un metro cuadrado (Marani y Levi 1973).



Figura 7 Equipo de medición de IAF LAI 2000.

5.2 Blanco de aplicación

Los ensayos, se realizaron en un campo ubicado sobre ruta prov. N° 13 km 4 en dirección Norte de la ciudad de Bandera, provincia de Santiago del Estero, departamento Belgrano. Posición: latitud sur 28°51'18.21'' - longitud oeste 62°15'04.00'' (Ver anexo: imagen 1, página 136).

Al momento de los ensayos, el cultivo se encontraba en estadio fenológico R5, con promedio de 19 nudos por planta y una altura de 90 cm. Las características del cultivo son:

- Variedad: A8000 RG.
- Grupo de madurez 7.8
- Distancia entre surcos: 52 cm.
- Densidad de siembra: 18 pl.m⁻¹; 346000 pl.ha⁻¹.
- Fechas de siembra: 12/12/2011, 14/12/2012

5.3 Diseño experimental

Los experimentos se llevaron a cabo sobre una parcela de 3 Ha delimitada dentro de un lote de producción de soja destinada al comercio del grano, con 120 (año 2013) y 42 Ha de superficie (año 2012) (Ver Anexo: imagen 1). Se definió un arreglo factorial 5x2, donde un factor es el tipo de pastilla –las pastillas usadas en el equipo de pulverización terrestre son TXV 6, AD5/AN13, AD5/AN23, TXV 12 y PPV 02 en la campaña 2012 y AD5/AN13, PPV 02 más los aspersores rotativos en pulverización aérea en la campaña 2013- que se combinan con el factor coadyuvante –con y sin coadyuvante. La combinación de los factores definen un total de 10 tratamientos para el año 2012 y 8 tratamientos para el año 2013, que fueron asignados realizando las aplicaciones en forma completamente aleatoria con 4 repeticiones. Cada pasada con la máquina pulverizadora define una franja de 100 m de largo por 28 m de ancho de cobertura del botalón (0,28 Ha por tratamiento), pulverizando sobre las hojas del cultivo de soja y tarjetas. Por tal motivo se destinó un área de 3 hectáreas que son las dimensiones que cubren las diez franjas. Todas las variables se evaluaron dentro de cada franja, totalizando 4 repeticiones por franja tratada.

Para las determinaciones físicas, las repeticiones se lograron ubicando cuatro soportes para tarjetas hidrosensibles, armados con tres sujetadores regulables en altura y ángulo, representando las hojas de la canopia en los estratos superior, medio e

inferior. Posterior a cada tratamiento, que se traduce en una pasada o media vuelta de máquina pulverizando sobre el cultivo, se extraen las tarjetas y los soportes que son ubicados para el siguiente tratamiento en la pasada contigua. Por cada estación de muestreo (soporte) se extraen 10 hojas de cada estrato, superior medio e inferior, de cada muestra se determinaron los depósitos del marcador fluorescente expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

5.3.1 Variables

Se analizó el comportamiento de la variación de los parámetros que describen al espectro de gotas más los depósitos de fluoresceína sódica que están sujetos a modificaciones de los factores fijos (tasa o caudal), con o sin el agregado de aditivos más las interacciones estudiado por estratos del cultivo.

- $\text{Imp}\cdot\text{cm}^{-2}$, impactos por centímetro cuadrados contabilizados sobre tarjetas sensibles al agua.
- DMV o $D_{V_{0,50}}$, diámetro de gota que divide a la población en dos mitades de igual volumen.
- $D_{V_{0,90}}$, diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10% restante del volumen pulverizado.
- $D_{V_{0,10}}$, diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% restante del volumen pulverizado.
- CH o FS, coeficiente de homogeneidad o factor de dispersión, valor entre 1 y 10 que indica la igualdad entre gotas del espectro pulverizado.
- $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS, microgramos de fluoresceína sódica (FS) por centímetro cuadrado de hoja.

5.4 Modelos estadísticos

Para conocer el comportamiento de las variables estudiadas se proponen diversos modelos que expliquen en forma sencilla a través de una función matemática la distribución de los resultados, este proceso se conoce como modelado. Di Rienzo et al., (2008) definen al modelo matemático como una representación simplificada de la realidad. Se utilizó el software estadístico InfoStat versión profesional (Di Rienzo et al., 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) para realizar los análisis estadísticos.

5.4.1 Análisis univariado

Se realizó un ANAVA para cada variable teniendo en cuenta su comportamiento en los tres estratos, en función de los cambios de caudales con y sin el agregado de aditivos. Dado que el experimento cambia de una campaña a otra, y que esta condición no contribuye a aumentar la potencia de las pruebas estadísticas, todos los análisis estadísticos fueron conducidos de manera separada. Posterior a cada ANAVA se realizaron las pruebas de comparación de medias pertinentes a través del test LSD Fisher ($p \leq 0,05$) teniendo en cuenta cada factor como principal y sus interacciones. Zhang et al., (2010) utilizaron el ANAVA con la prueba de Tukey con 3 niveles de significancia estadística, $\alpha = 0.1, 0.01$ y 0.05 en un mismo trabajo publicado, evaluando el comportamiento de 3 tipos de aspersores hidráulicos diferentes.

Dada la estructura física del experimento, y la distribución asimétrica de errores se probaron distintos modelos, teniendo en cuenta:

*Modelos homocedásticos, para las variables sin transformar, de efectos fijos y errores independientes.

*Modelos homocedásticos, para las variables transformadas a escala logarítmica, de efectos fijos y errores independientes.

*Modelos homocedásticos, para las variables sin transformar, con efecto aleatorio para el sitio de muestreo y errores independientes.

*Modelos con corrección para heterocedasticidad, para las variables transformadas, con efecto aleatorio para el sitio de muestreo y errores independientes.

*Modelos con corrección para heterocedasticidad, para las variables sin transformar, de efectos fijos y errores independientes.

*Modelos con corrección para heterocedasticidad, para las variables transformadas, de efectos fijos y errores independientes.

En términos generales, el modelo de partida es:

$$Y = \mu + \text{Caudal} + \text{Aditivos } c \text{ y } s + \text{Estratos} + \text{Sitio} + \text{Caudal} * \text{Aditivos } c \text{ y } s + \text{Caudal} * \text{Estratos} + \text{Caudal} * \text{Aditivos} * \text{Estratos} + \text{Estratos} * \text{Aditivos} + \xi$$

Dónde:

Y, variable aleatoria observada o respuesta

μ , es la media general de las observaciones

Caudal, es el efecto de tratamientos (6, 18, 20, 30, 40, 60 y 100 L.ha⁻²)

Aditivo, es el efecto debido a la presencia de aditivos

Estrato, es el efecto debido al estrato de la canopia donde se realiza la medición

Sitio, es el lugar de muestreo dado por la ubicación y forma del soporte para las tarjetas hidrosensibles

ξ , error distintos para los diferentes tratamientos y estratos

Los criterios de selección de modelos involucraron criterios de verosimilitud penalizada (criterio de información Bayesiana -BIC- y de Akaike -AIC-) y el valor sigma de cada modelo. De los modelos probados, se comprobó que en ningún caso el efecto soporte de tarjetas era significativo, los valores de sigma explican el efecto con aproximadamente ¼ de sigma residual total del modelo. Por lo cual, para todas las variables fue suficiente ajustar modelos homocedásticos de efectos fijos con transformación de la variable y errores independientes.

5.4.2 Análisis multivariado

Además se realizó un análisis multivariado para observar a través de un método descriptivo sencillo la relación existente entre las distintas variables (depósitos de FS sobre hojas y distribución de gotas sobre papeles hidrosensibles). Por un lado, el análisis de componentes principales (CP) permite expresar en un número reducido de nuevas variables la información contenida en los datos originales (reducción de la dimensión). La representación de los individuos en el plano de las 2 primeras CP permite interpretar relaciones entre los mismos. El análisis de CP comprende un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas, llamadas CP. El análisis se realiza con las unidades experimentales promedio de repeticiones existentes.

Para cuantificar la relación entre todas las variables se ajustaron modelos de regresión lineal múltiple. La inclusión de la variable estratos y presencia o ausencia de

aditivos se realizó a través de una variable auxiliar (dummy) que resume la información de los seis niveles existentes.

5.5 Consideraciones generales

Los ensayos para las determinaciones físicas y químicas se efectuaron en forma simultánea, pero es conveniente su explicación por separado porque los procedimientos son diferentes. La máquina no debe pasar dos veces por la misma franja o pasada, ya que contaminaría la muestra por superposición de la FS de la pasada anterior. Para evitar este inconveniente el operario se valió del equipo de banderillero satelital instalado en la máquina.

5.6 Determinaciones químicas

La Fluoresceína sódica (FS) fue adquirida en Química Bahía Blanca, de marca Biopack (C.I. 45350) p.a., formulación sólida a una concentración del 97,9% y de formulación líquida diluida al 1,5 ‰. Antes de su implementación, nos aseguramos que la FS no genere cambios en la tensión superficial del agua (72 dinas.cm² a 20 °C, Palladini 2000), en contraposición los tensioactivos utilizados tienen la capacidad de bajar la tensión superficial de 31 a 21 dinas.cm² (Combella et al., 1996).

La FS posee la característica de desactivarse en presencia de luz UV, por tal motivo inmediatamente después de cada pasada de la máquina se recolectaron rápidamente las hojas de los tres estratos y se colocaron en recipientes de vidrio de 750 ml debidamente rotulados y protegidos de la luz solar (Figura 8).



Figura 8. Recolección en recipientes de vidrio de 750 cm³ y posterior rotulado.

5.7 Determinaciones físicas

Se utilizaron tarjetas sensibles al agua con un tamaño de 30 x 50 mm instaladas en los soportes ya descritos, se utilizaron 4 de ellos a 3 alturas diferentes respecto al suelo. Cada posición representa un estrato llamados, superior a 90 cm del suelo y sobre el cultivo, estrato medio a 40 cm del suelo e inferior a 15 cm del suelo (Figura 9 y 10).

Los soportes se ubicaron dos por cada ala del botalón, separados a 5 m entre si cubriendo todo el ancho del botalón y llevados 50 m dentro de cada franja (100 x 28 m) que constituye una superficie de muestreo de 0.28 ha, distancia suficiente para que los parámetros de velocidad, presión y caudal se mantengan constantes a lo largo del trayecto. Posterior a cada tratamiento (pasada de maquina), se retiran las tarjetas con

el debido cuidado de no marcarlas con la humedad de los dedos, se guardan en bolsitas herméticas rotuladas por tratamiento para su posterior análisis, por último se retiran los soportes y se ubican nuevamente para el tratamiento siguiente con un set nuevo de tarjetas. El procedimiento se repitió de igual manera en los dos años.

Las tarjetas recolectadas fueron digitalizadas con un Scanner HP Deskjet F4480 a 1200 ppi de resolución y luego analizadas con el programa de análisis de imágenes StainMaster versión 1.2.4 que arrojó valores para las variables DMV (diámetro de la mediana volumétrica), DMN (diámetro de la mediana numérica), CH (coeficiente de homogeneidad), $Dv_{0.9}$, $Dv_{0.1}$.



Figura 9. Tarjetas en soporte ubicadas en tres estratos, superior, medio e inferior.



Figura 10. Tarjeta en posición superior con marcas de improntas.

5.8 Trabajos en gabinete

Concluida la etapa de trabajo a campo, se procedió a extraer el marcador FS depositado en las hojas. Este proceso se lleva a cabo lavando con 200 cm³ de agua destilada las hojas contenidas en cada frasco y posteriormente agitando al menos 2 minutos, luego se retiran las hojas quedando en los recipientes la solución con la FS capturada (Figura 11). Se extrae una muestra de solución de 60 cm³ para cada tratamiento en pequeños recipientes de color negro hasta completar su capacidad.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio del INTA Alto Valle para su análisis mediante un Fluorímetro marca Kontron SFM 25, el mismo fue programado con una frecuencia de excitación de 390 nm y una frecuencia de emisión de 500 nm. Las hojas

se secaron colocándolas sobre papel absorbente y se identificaron nuevamente con el número de tratamiento, repetición y estrato. A continuación se determinó el área foliar de las muestras recolectadas utilizando el programa de Cálculo del Área Foliar desarrollado por el INTA Las Breñas (Chaco). Con el valor del área de cada muestra se determina el la cantidad de depósitos de FS en hojas expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.



Figura 11. Solución de extracto acuoso de FS.

5.9 Pulverización terrestre.

Para los dos años se utilizó el mismo equipo pulverizador autopropulsado, con una unidad motriz de 6 cilindros y una potencia de 104 kW. Equipada con botalón delantero y que presenta las siguientes características técnicas (Figura 12).

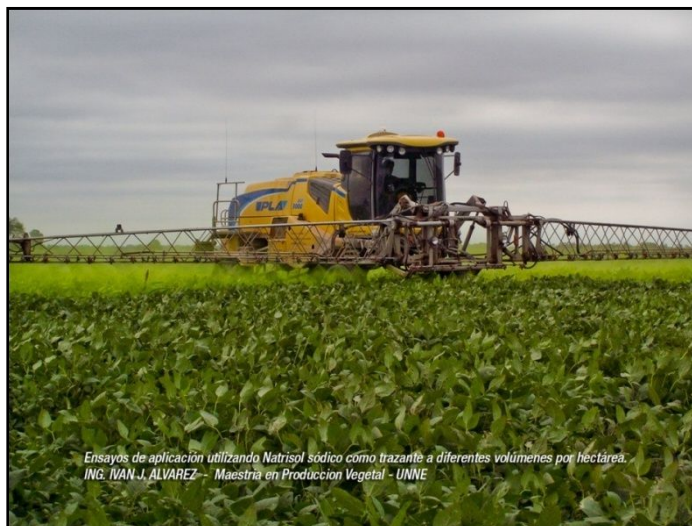


Figura 12. Pulverizador autopropulsado con botalón frontal.

- Ancho de labor: 28 metros.
- Equipado con 71 porta boquillas múltiples para 5 boquillas cada uno.
- Distancia entre boquillas: 35 cm.
- Bomba centrífuga Hypro con un caudal nominal de $500 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ a 1000 kPa de presión.
- Tanque de fibra de vidrio con capacidad de 3000 L.
- Unidad operativa de control electrónico: computadora marca Teejet 854.

- Banderillero satelital: Con función de ajustar el ancho de labor y guiar al operario en cada pasada y evitar superposiciones.

5.9.1 Condiciones operativas

Mediante la unidad de control electrónico o computadora, el operario en forma manual o predeterminada cuenta con la facilidad de poder controlar cada uno de los parámetros de trabajo que se requieran para cada ocasión y los puede visualizar a través de una pantalla digital. La unidad utiliza la fórmula conocida para determinar el caudal o tasa de aplicación (TA) en L.ha⁻¹.

La tasa de aplicación en L.ha⁻¹ surge del siguiente producto:

$$TA \text{ (L.h}^{-1}\text{)} = 600 * q \text{ (L.min}^{-1}\text{)} / V \text{ (Km.h}^{-1}\text{)} * D \text{ (m)}$$

Dónde:

TA = Tasa de aplicación en L.ha⁻¹

600: coeficiente de conversión

q = Caudal de la boquilla en L.min⁻¹

V = Velocidad de avance en Km.h⁻¹

D: distancia de separación entre boquillas (m)

Tabla 2 Caudal de cada boquilla a 3 bares acorde al catálogo de cada fabricante

Boquillas	TXV 6	AD5/AN13	AD5/AN23	TXV 12	PPV 02
Tasa (L.min ⁻¹)	0.390	0.540	0.720	0.800	1

5.9.2 Calibración del equipo pulverizador

Previo a la realización de las aplicaciones se verificó la limpieza de filtros, cañerías, boquillas y control de fugas.

Para corroborar el correcto funcionamiento del equipo se procedió a calibrar con las boquillas escogidas en cada tratamiento. Para ello se utilizó una jarra graduada en cm³, un manómetro para el control de presión ubicado cercano a la boquilla a calibrar y se compararon los resultados con el catálogo del fabricante. Con la máquina estática y el sistema hidráulico en funcionamiento, desde la unidad de control en cabina se buscó la presión deseada para cada boquilla y luego se recolectó el líquido pulverizado durante 1 minuto colocando el recipiente graduado debajo de la boquilla.

Este procedimiento se repitió cinco veces por cada boquilla seleccionada en diferentes picos a lo largo del botalón (Tabla 2). Los valores de caudal obtenidos no excedieron el 5% por encima o debajo desde la media indicada en la tabla incluida en el catálogo.

5.9.3 Boquillas

Las boquillas elegidas son de cono hueco de una sola pieza* (integrales) y de dos piezas** (disco y núcleo de rotación). Para obtener la tasa de aplicación deseada en cada tratamiento, en la Tabla 3 se detallan las condiciones operativas teóricas calculadas a partir de la fórmula detallada en el punto 5.9.1.

Tabla 3 Parámetros para cada boquilla y aspersores hidráulicos utilizados en los tratamientos terrestres y aéreos.

Pulverización terrestre		Pulverización aérea	Parámetros		
Año 2012	Año 2013		Velocidad (Km.ha ⁻¹)	Presión (Bar)	Tasa (L.ha ⁻¹)
HCX 6*			20	5	20
AD5/AC13**	AD5/AC13**		20	6	30-35
AD5/AC23**			20	6	40
PPV 02*	PPV 02*		16	4	100
TXV 12*			20	3.8	60
		URV 4	210	3	6
		URV 5	210	5	18

En el siguiente paso, con la máquina en movimiento es donde intervienen los demás parámetros que faltan para definir el caudal de trabajo de cada boquilla. Desde la unidad de control en cabina se establecen y controlan los valores de las variables para cada boquilla para lograr el caudal deseado.

Este procedimiento se realizó por igual para los dos años previo a los ensayos. Los cambios en los tratamientos en el año 2013 están fundamentados en la página 47 y se respaldan en las condiciones ambientales, cambio de lugar físico de ensayos y en los resultados que surgen de los años 2011/12, en donde el primer año nos sirvió de experiencia para realizar ajustes en los dos siguientes.

5.9.4 Pulverización aérea

Se utilizó un avión de uso específico agrícola marca Ayres Thrush S2R - G6 (Thrush Aircraft, Inc. Albany, Georgia. EE.UU), año de fabricación 1997 equipado con turbina Garrett de 560 kW y capacidad de carga para 2000 litros (Figura 13).

La aeronave de matrícula LV-WSG cuenta con la documentación en regla y el correcto funcionamiento del equipo pulverizador. Verificamos bomba de presión, que gire libremente y que las palas no se encuentren dañadas ya que el tipo de bomba que utiliza es accionada por choque del flujo de aire al avance del avión, limpieza de cañerías, filtros de línea y sistema anti goteo. Está equipado con aspersores rotativos de fabricación Argentina sobre los cuales también verificamos que giren libremente, que las palas no se encuentren dañadas al igual que la malla que provoca la rotura de la vena líquida en gotas se encuentre en buenas condiciones.



Figura 13. Avión agrícola Ayres Thrush S2R-G6 utilizado en los ensayos.



Figura 14. Modelo de aspersor rotativo indicando sus principales componentes.

5.9.5 Calibración del avión agrícola

5.9.5.1 Determinación del caudal o tasa de aplicación teórica

Los datos necesarios para calibrar los caudales requeridos en los tratamientos son:

- a) Velocidad de trabajo: otorgada por el instrumento del avión medido en millas.h⁻¹
- b) Ancho efectivo de faja: determinado bajo el método del cálculo dado por la norma A.S.A.E. 5386 T citado por Etiennot (1997) en prueba de calibración y distribución en aviones agrícolas.
- c) Caudal en L.min⁻¹: la barra está equipada con 8 aspersores rotativos que erogan distintos caudales de acuerdo al manual del usuario. Tabla 4.

Tabla 4 Caudal de aplicación en relación a la unidad de reducción variable (URV) y presión de trabajo.

URV	kPa (PSI)	Q (L.min ⁻¹)
1	20	0,37
	30	0,69
	40	1,00
2	20	1,30
	30	2,27
	40	2,80
3	20	2,72
	30	4,54
	40	6,20
4	20	4,37
	30	7,69
	40	9,75
5	20	6,10
	30	11,23
	40	15,30
	50	17,75
	60	20,30

Con estos valores se procedió a determinar los caudales teóricos en L.ha⁻¹ en función a los tratamientos (tabla 5).

a) Área tratada ha.min⁻¹ = V (mph) * A / 373

b) V = Velocidad en mph

A = ancho efectivo de faja

Área Tratada = 125 mph * 30 m / 373

Resultado: 10 ha.min⁻¹

c) Tasa de aspersión= Q (caudal L.min⁻¹) * N° atomizadores / ha.min⁻¹

Q₁: 7,6 L.min⁻¹

Q₂: 20,3 L.min⁻¹

N° aspersores: 8

Área tratada: 10 Ha.min⁻¹

Resultado 1: 6,2 L.ha⁻¹

Resultado 2: 16,8 L.ha⁻¹

Tabla 5. Valores calculados de acuerdo al manual del usuario.

Vuelo	URV	N° aspersores	Pr. (PSI)	Ancho (m)	V (mph)	Q (l.min ⁻¹)	Q (l.ha ⁻¹)
1	4	8	30	30	125	7,69	6,15
2	5	8	60	30	125	20,3	16,8

5.9.5.2 Determinación del caudal o tasa de aplicación real

Los resultados observados en la Tabla 5 son los teóricos calculados, pero pueden sufrir modificaciones en vuelo real, para ello existen métodos de control de los caudales teóricos mediante pruebas de vuelos.

El método utilizado es por diferencia de lecturas, consiste en colocar en la tolva del avión un volumen conocido de agua valiéndonos de un recipiente graduado en litros al que llamamos V₁, una vez hecho el vuelo se completa con agua hasta el nivel conocido V₁, el volumen de agua asperjado llamamos V₂, la diferencia entre lecturas es el gasto real de agua.

Una vez conocido el volumen se necesita el valor real de área volada, para nuestro caso utilizamos la pista de despegue del hangar que posee un largo de 1300 m entre las dos cabeceras limitadas por alambrados en la cual el piloto realizo 4 pasadas a 30 m de ancho efectivo de franja con un total de 15,6 has.

Hectáreas realizadas = 4 pasadas * 1300 m / 10000 m²

Área: 15,6 ha

Volumen de líquido consumido: 95 L

Volumen por hectárea real: 6,2 L.ha⁻¹

Como no supera el 5% de error de tolerancia (Etiennot 1997) de más o menos al valor calculado de 6,2 L.ha⁻¹ se considera que el equipo funciona correctamente.

El mismo método se utilizó cuando calibramos para la tasa de L.ha⁻¹ arrojando una tasa real de 16,8 L.ha⁻¹ (tabla 6).

Tabla 6. Valores de caudales esperados.

Vuelo N°	Trayecto (m)	Ancho faja (m)	Pasada N°	Área (Ha)	Consumo (L)	Vol. aplic. (L.ha ⁻¹)	Error (%)
1	1300	30	4	15,6	95	6,2	1,93
2	1300	30	4	15,6	200	16,8	3

5.10 Año 2012

Se utilizó como aditivo, un adyuvante formulado con base oleosa y siliconas que tendrían las cualidades de modificar la tensión superficial del agua aumentando el contacto con la superficie foliar y otorgarle protección a las gotas. Las características de las boquillas permiten obtener la configuración deseada, para estos casos el equipo responde a 5 configuraciones diferentes detalladas en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros para cada boquilla utilizadas en los tratamientos.

Boquillas	Presión (Bar)	Caudal (L.Ha ⁻¹)	Dist. entre picos	Velocidad (Km.h ⁻¹)
HCX 6	5	20	70	21
AD5/AC13	5,6	30	70	22
AD5/AC23	6	40	70	22
TXV 12	3.8	60	35	18
PPV 02	4	100	35	16

Este año no se utilizó agua pura, sino siempre en mezcla con FS, esto significa que los procedimientos consistieron en varios pasos donde la maquina se cargaba y descargaba cada dos tratamientos.

Debido a que cada vuelta de máquina fue de 200 x 28 m es decir 0.56 ha, en el caudal más alto evaluado de 100 L.ha⁻¹ de los tratamientos T₅ y T₆ (Tabla 8), se erogaron 112 L para los dos ensayos.

De modo que para cubrir el consumo de agua de 100 y 60 L.ha⁻¹ se utilizaron 400 L de carga inicial ya que se estimó que son necesarios al menos 50 L para llenar el sistema de bomba, filtros y cañerías hasta llegar a las boquillas, sumado a los 100 L de remanente en el fondo del tanque que por cuestiones de fabricación no se los puede utilizar más el consumo de los tratamientos citados anteriormente totalizan 200 L de agua. La decisión de 400 L de carga inicial justamente es para evitar cualquier tipo de contratiempos que obligue a vaciar e iniciar la carga nuevamente.

En cambio, para los caudales 20, 30 y 40 L.ha⁻¹ fueron necesarios 300 L de carga para cubrir el consumo de agua de los tres tratamientos.

5.10.1 Procedimientos

Se armó de un protocolo de trabajo con pasos a seguir,

1. Carga de 300 L y/o 400 L de agua al tanque de la máquina
2. Agregado de 300 y/o 400 cc de Fluoresceína Sódica y realizar un ensayo, ej. T_a
3. Retirar tarjetas T_a, colocar tarjetas, ej. T_b y recolección de hojas T_a.
4. Finalizado el T_a, se agrega el aditivo y ejecución del ensayo siguiente T_b.
5. Retirar tarjetas T_b, colocar tarjetas, ej. T_c y recolección de hojas T_b.
6. al terminar T_a y T_b se descarga el remanente del tanque, se carga agua necesaria para lavar cañerías, bomba, filtros, botellón y boquillas para eliminar posibles errores de lectura por contaminación entre ensayos y se iniciaba nuevamente el ciclo para los siguientes dos tratamientos (tabla 8).

Tabla 8. Procedimientos, tratamientos y muestreos

Trat.	Caldo	Tasa (L.ha ⁻¹)	Boquilla	Muestra	Muestra
Carga de agua y agregado de FS					
1	Agua FS	30	D5/N13	Tarjetas	Hojas
Recolección de tarjetas y hojas, agregado de coadyuvante					
2	Agua FS ad	30	D5/N13	Tarjetas	Hojas
Recolección tarjetas y hojas. Descarga, lavado y carga con FS tratamientos 3 y 4					
3	Agua FS	60	TXV 12	Tarjetas	Hojas
Recolección de tarjetas y hojas, agregado de aditivo					
4	Agua FS ad	60	TXV 12	Tarjetas	Hojas
Recolección de tarjetas y hojas. Descarga, lavado y carga con FS tratamientos 5 y 6					
5	Agua y FS	100	PPV 02	Tarjetas	Hojas
Recolección de tarjetas y hojas. Agregado de coadyuvante					
6	Agua FS ad	100	PPV 02	Tarjetas	Hojas
Recolección de tarjetas y hojas. Descarga, lavado y carga con FS tratamientos 7 y 9					
7	Agua	40	D5/N23	Tarjetas	
Recolección de tarjetas					
9	Agua	20	HCX 6	Tarjetas	
Recolección de tarjetas. Agregado de coadyuvante tratamientos 8 y 10					
8	Agua aditivo	40	D5/N23	Tarjetas	
Recolección de tarjetas					
10	Agua aditivo	20	HCX 6	Tarjetas	
Recolección de tarjetas y finalización de ensayos.					

Las dosis de FS es independiente del caudal, sencillamente se depositará en el cultivo igual cantidad de FS para todos los tratamientos pero con variación en los volúmenes por hectárea (Tabla 9).

Tabla 9. Dosis y cantidades requeridas de Fluoresceína Sódica.

Carga	Tasa (L.ha ⁻¹)	Hectáreas	FS (ml.ha ⁻¹)	total FS (ml)
400 litros	100	4	100	400
400 litros	60	6,6	100	660
300 litros	30	10	100	1000

El aditivo es de tipo surfactante y humectante, la dosis recomendada por el fabricante es de 1 litro cada 1000 litros de agua y antes de agregarlo se hacía una lectura en la escala graduada indicadora del nivel de líquido en el tanque, puesto que el tratamiento anterior generaba un consumo del mismo (Tabla 10).

Tabla 10. Dosis de aditivo en función de cada tratamiento

Carga	Tasa (L.ha ⁻¹)	Hectáreas	Consumo	Remanente	Aditivo 1*1000 ⁻¹ L	Aditivo ml.ha ⁻¹
400 litros	100	0,56	56 litros	344 litros	344 ml	100
400 litros	60	0,56	34 litros	366 litros	366 ml	60
300 litros	40	0,56	22 litros	278 litros	278 ml	40
300 litros	30	0,56	17 litros	283 litros	283 ml	30
300 litros	20	0,56	12 litros	288 litros	288 ml	20

Las hojas luego de recolectadas fueron llevadas a gabinete para procesarlas y extraer la FS, los pasos están detallados en los puntos 5.6 y 5.8. De igual manera se detallan para las tarjetas en los puntos 5.7 y 5.8.

5.11 Año 2013

En los años anteriores 2011/12, los tratamientos fueron sometidos a un esquema de trabajo cuyos resultados nos planteó la necesidad de realizar cambios sumatorios en la organización y confección del proyecto, para llevar a cabo esta idea, era necesario la ejecución de una campaña más de ensayos con la finalidad de otorgarle sencillez y dinamismo a los procedimientos sin alejarnos de las hipótesis y objetivos planteados, pero a su vez generar aportes a las conclusiones.

De los resultados obtenidos, surge la decisión de involucrar solo dos tratamientos y verificar modificaciones en las variables con la incorporación del avión agrícola como herramienta de contraste sobre los resultados de la pulverización terrestre. Por lo tanto, la experiencia en los años anteriores permitió optar por valores de caudales que arrojen resultados con mayor contraste estadístico y estos se sostienen en la contribución del factor estrato en la partición de la suma de cuadrados representada por la población de gotas y sus tamaños que es muy superior para estas variables. La gran variabilidad de los objetivos biológicos en el campo, de las condiciones meteorológicas (Bache and Johnstone 1985) y del proceso de pulverización en sí (Nordbo et al., 1995), pueden hacer indetectable las diferencias causadas por diferentes técnicas de pulverización. Yu et al., (2009) llevan a cabo los experimentos bajo condiciones controladas para evitar interferencias entre las variables por aquellos factores que no pueden ser controlados por las condiciones a campo.

Por último y relevante, se reemplazó el aditivo anterior por el coadyuvante Rizospray Extremo[®] de Rizobacter Argentina S.A., quienes aportaron las especificaciones técnicas del aditivo. Es un blend entre dos siliconas, Silwet 641[®] y AgroSpred 730[®], que son las dos marcas de Momentive compatibles con aceite. Es un coadyuvante humectante, penetrante que otorga protección a las gotas contra la baja humedad ambiente, con una formulación de última generación a base de organosiliconas y aceite vegetal refinado modificado. La dosis recomendada es de 200 cc.ha⁻¹.

5.12 Pulverización aérea

5.12.1 Procedimientos de carga, aplicación, recolección de muestras, descarga y lavado

Participan del ensayo un total de 8 tratamientos (Tabla 12), compuestos por 4 determinaciones físicas y 4 químicas donde se contemplan 2 tasas de aplicación con y sin aditivos. Este cambio nos dio la ventaja de contar con el tiempo necesario de realizar un vuelo por tratamiento, sumado que para la época la aeronave estaba disponible.

Se utilizó Fluoresceína Sódica en polvo soluble con cambios en la dosis por tener mayor concentración comparada con años anteriores, el aditivo cambia como se mencionó anteriormente, pero es contemplado en dosis.ha⁻¹. Las cantidades requeridas están representadas en la Tabla 11.

Tabla 11. Dosis y cantidades del aditivo y FS.

Carga inicial (L)	Caudal (L.ha ⁻¹)	Hectáreas a realizar	FS (g.ha ⁻¹)	Uso total FS	Aditivo mL.ha ⁻¹	Aditivo total
30	6,2	5	40	200 g	200	1 L
90	18	7.5	40	300 g	200	1,5 L

Se tomó la decisión de eliminar las tasas de 8 y 10 L.ha⁻¹, denominadas “intermedias” y solo trabajar con valores de alto y bajo volumen, esta decisión nos brindó la posibilidad de otorgarle a cada tratamiento su respectivo vuelo, descartando una carga general para todo el experimento como en años anteriores. Finalizado cada vuelo, mientras se recolectaban las tarjetas y/o las hojas, se vaciaba la tolva y se enjuagaba con agua todo el sistema de cañerías y aspersores, de esta manera quedaba limpio y listo para el siguiente tratamiento.

En la Tabla 12 se puede apreciar que se destina un vuelo para cada tratamiento. Se consideró trabajar por separado en las determinaciones físicas y químicas para eliminar una posible fuente de variabilidad por la FS en las mezclas como fue realizada en los trabajos anteriores.

Tabla 12. Tratamientos, orden de aplicación y recolección de muestras

Vuelo nº	Trat.	Carga tolva	Tasa L.ha ⁻¹	Equipo utilizado	Muestras
Carga con agua. Determinaciones físicas, vuelo 1					
1	1	agua	6,2	as rotativo	tarjetas
Recolección de tarjetas y reposición, agregado de aditivo, vuelo 2					
2	2	agua ad	6,2	as rotativo	tarjetas
Recolección de tarjetas y reposición. Descarga y carga con agua, cambio tasa de aplicación, vuelo 3					
3	3	agua	18	as rotativo	tarjetas
Recolección de tarjetas y reposición, agregado de aditivo, vuelo 4					
4	4	agua ad	18	as rotativo	tarjetas
Recolección de tarjetas. Descarga y carga con FS. Determinaciones químicas, vuelo 5					
5	5	agua FS	18	as rotativo	hojas
Recolección de hojas, agregado de aditivo, vuelo 6					
6	6	agua FS ad	18	as rotativo	hojas
Recolección de hojas, descarga y carga con FS, cambio tasa de aplicación, vuelo 7					
7	7	agua FS	6,2	as rotativo	hojas
Recolección de hojas, agregado de aditivo, vuelo 8					
8	8	agua FS ad	6,2	as rotativo	hojas
Recolección de hojas y finalización de ensayos					

Las hojas luego de recolectadas son lavadas para extraer la FS, los pasos están detallados en los puntos 5.7 y 5.9.

De igual manera se detallan para las tarjetas en los puntos 5.8 y 5.9.

5.13 Pulverización terrestre

5.13.1 Procedimientos de carga, aplicación, recolección de muestras, descarga y lavado

Al igual que en los ensayos aéreos, se mantiene la modalidad de alto y bajo volumen de asperjado en 35 y 90 L.ha⁻¹ respectivamente, eliminando las llamadas tasas “intermedias” como ser de 40 y 60 L.ha⁻¹. En la Tabla 13 se detallan las características de las boquillas adecuadas para las tasas elegidas.

Tabla 13. Parámetros de boquillas.

Boquillas	Presión (PSI)	Caudal (L.ha ⁻¹)	Dist. entre picos (m)	Velocidad (Km.h ⁻¹)
AD5/AC13	56	35	0,70	22
PPV 02	40	90	0,35	17

El año anterior (2012) los procedimientos consistieron en varios pasos donde se les asignaba una carga para dos tratamientos (tabla 5). Para este año y a diferencia del anterior, cada tratamiento contaba con su propia carga, esto quiere decir cargar, realizar el ensayo, descargar, limpiar y volver a cargar para el siguiente.

Se requerían 200 L de carga para completar cada ensayo, suficientes para pulverizar 0,28 ha que a su vez modificaron las dosis y totales de FS y aditivos (Tabla 14).

Tabla 14. Dosis y totales de FS y aditivo

Carga inicial (L)	Caudal L.ha ⁻¹	Hectáreas a realizar	FS g.ha ⁻¹	FS (g)	Aditivo 200 cc.ha ⁻¹	Aditivo total
200	35	5,7	40	264	0,2	1,14 L
200	90	2,2	40	88	0,2	0,44 L

Al igual que en la aplicación aérea, los ensayos terrestres están conformados por un total de 8 tratamientos armados a partir de dos tasas de aplicación de 35 y 90 L.ha⁻¹ que a su vez se dividen en con y sin aditivos. Se asignaron 4 tratamientos para determinaciones físicas y 4 para determinaciones químicas.

Los procedimientos en la realización de los ensayos son idénticos a los de la pulverización aérea (Tabla 15).

Tabla 15. Tratamientos y muestras.

Trata-Miento	Carga en tanque	Tasa L.ha ⁻¹	Boquilla	Muestras
Carga con agua, determinaciones físicas, tratamiento 9				
9	agua	35	D5/N13	tarjetas
Recolección de tarjetas y reposición, agregado de aditivo, tratamiento 10				
10	agua aditivo	35	D5/N13	tarjetas
Recolección de tarjetas y reposición. Carga con agua, cambio de tasa, tratamiento 11				
11	agua	90	TXV 12	tarjetas
Recolección de tarjetas y reposición. Agrado de aditivo, tratamiento 12				
12	agua aditivo	90	TXV 12	tarjetas
Recolección de tarjetas. Descarga y carga con FS, determinaciones químicas, tratamiento 13				
13	agua FS	90	TXV 12	hojas
Recolección de hojas. Agregado de aditivo, tratamiento 14				
14	agua FS ad	90	TXV 12	hojas
Recolección de hojas. Descarga y carga con FS, cambio de tasa, tratamiento 15				
15	agua + FS	35	D5/N13	hojas
Recolección de tarjetas. Agregado de aditivo, tratamiento 16				
16	agua FS ad	35	D5/N23	hojas
Recolección de hojas y finalización de ensayos.				

Las hojas luego de recolectadas son lavadas para extraer la FS, los pasos están detallados en los puntos 5.7 y 5.9

De igual manera se detallan para las tarjetas en los puntos 5.8 y 5.9.

6 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Año 2012

6.1.1 Regímenes de precipitaciones y temperatura.

En el gráfico 1 se presentan los registros de precipitaciones acumuladas y temperaturas medias mensuales para el año 2012 reportados por la Sociedad Rural del Sudeste Santiaguense (Bandera, S. E.). Se observa que los valores observados no difieren de la media histórica anual (640 mm), pero presenta variaciones en la distribución. El mes de diciembre fue muy escaso en precipitaciones, lo que derivó en un retraso en la fecha de siembra normalizándose en el mes de enero. Por este motivo el período de llenado de granos (R5) se concentra de mediados del mes de marzo en adelante, siendo las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa favorables para los trabajos de pulverización (tabla 16).

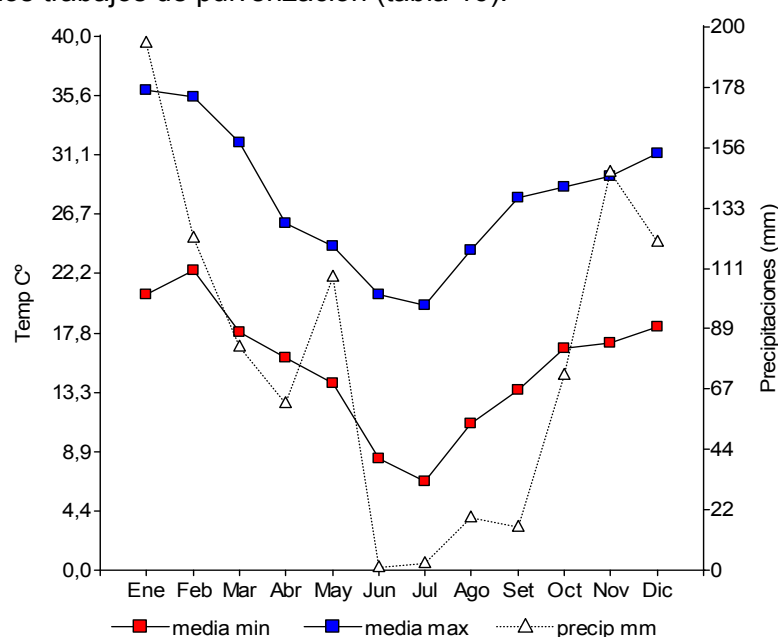


Gráfico 1. Registro de precipitaciones, temperaturas medias máximas y mínimas.

El día 17 de marzo de 2012 se realizó la primera serie de ensayos bajo condiciones ambientales acordes a la fecha y que al momento fueron captadas por la estación meteorológica ubicada en el hangar de la firma Ricardo y Armando Diruscio Fumigaciones Aéreas S.R.L. (ver anexo: imagen 1; Tabla 16). Desde el comienzo al final de los ensayos no se registraron notables cambios en cuanto a temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

Tabla 16. Condiciones ambientales durante los ensayos.

Fecha y hr	Viento km.h ⁻¹		Temperatura del aire (°C)			% HR	Presion (mBar)
	Promedio	Máx.	Promedio	Máx.	Min.		
17/03/2011							
11:00	3	4	27,6	26,8	28,5	44	1008
12:00	2,5	3,2	29,7	28,6	30,2	37,4	1007
13:00	1,7	2,1	30,4	30,1	30,9	35,2	1007
14:00	1,9	2,6	31,2	30,9	31,5	32,9	1005
15:00	1,9	2,8	31,6	31,3	31,9	31,6	1004

6.1.2 Índice de Área Foliar (IAF)

Al momento del ensayo el cultivo se encontraba en estadio fenológico R5 – R6 con una altura de 84 cm, no se observaban presencia de plagas y malezas, si se percató de la presencia de enfermedades foliares. El índice de área foliar (IAF) fue de $3,25 \pm 0,6$. Perotti y Gamundi (2006) sugieren valores de IAF que no deben bajar de 3,5 a 4 para no afectar el potencial de rendimiento.

6.2 Introducción al análisis descriptivo

Debido a que los trabajos de ensayos fueron realizados a cielo abierto bajo la influencia de los factores ambientales, no escapa la posibilidad de obtener datos con elevada dispersión de medias observadas (ver anexo: Tabla 56) (Combella et al., 1996). Para ello se construyeron dos gráficos de distribución empírica desde los cuales se compara a través de la variable imp.cm^{-2} cómo es el comportamiento distribucional de datos observados y observados transformados a escala Ln (gráfico 2), por lo tanto las funciones que mejor describan las variables en estudio fueron realizadas sobre los resultados ajustados por presentar una distribución más simétrica de las observaciones.

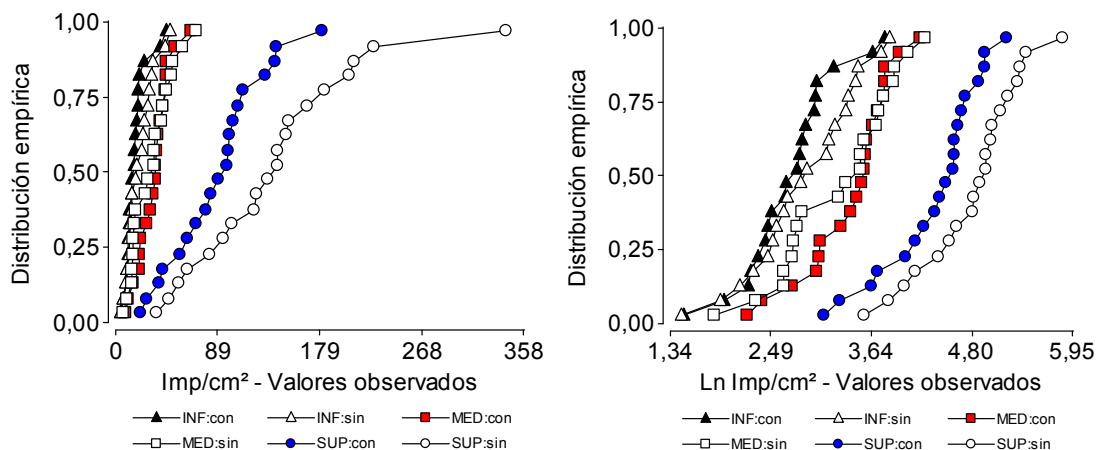


Gráfico 2. Comparación entre gráficos de distribución empírica en donde a la izquierda están graficados los valores observados y a la derecha los valores transformados a escala Ln.

6.3 Análisis de Componentes Principales

Se graficaron dos biplot que describen los ACP, el gráfico 3 contiene solamente los caudales 20 y 40 L.ha^{-1} con sus determinaciones físicas, el gráfico 4 está compuesto por los caudales restantes y se agregan las determinaciones químicas.

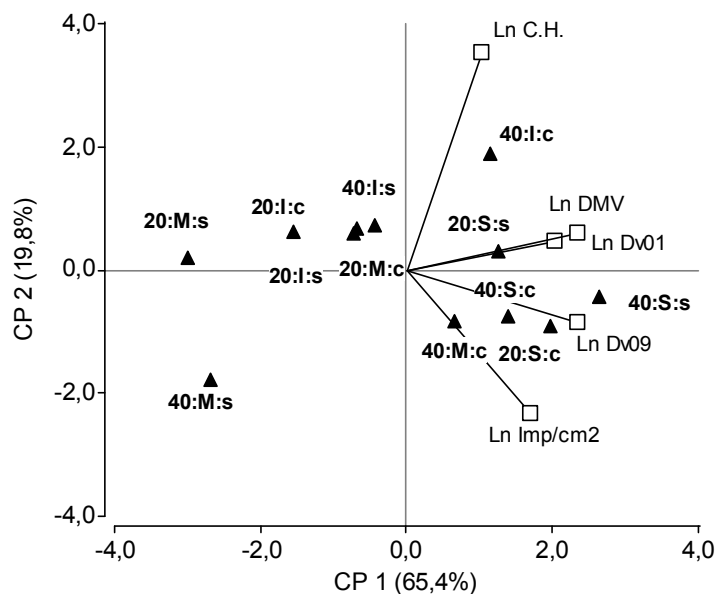


Gráfico 3. Biplot exploratorio de análisis de componentes principales (ACP). Variables físicas. Ref: S=superior, M=medio, I=inferior; s=sin, c=con.

En el gráfico 4 se muestra la salida de un análisis de componentes principales para el resto de las observaciones. La CP 1 explica el 73,1% de la variabilidad, y se conservan los patrones de puntos observados en los ACP anteriores. Un grupo de observaciones está conformado principalmente por el estrato superior que se asocia a tamaños de gotas y caudales mayores. Las variables imp.cm^{-2} y $\mu\text{g.cm}^{-2}$ están muy asociadas entre sí, esto genera un aporte en que los microgramos de fluoresceína sódica depositados en las hojas del estrato superior aumentan o disminuyen sensiblemente con la mayor presencia o ausencia de gotas pero, en los estratos medio e inferior esto no sucede, la variabilidad se estabiliza. El caudal 100 L.ha^{-1} del estrato superior con y sin coadyuvante toman los valores más positivos en la CP1, alejándose de las demás observaciones.

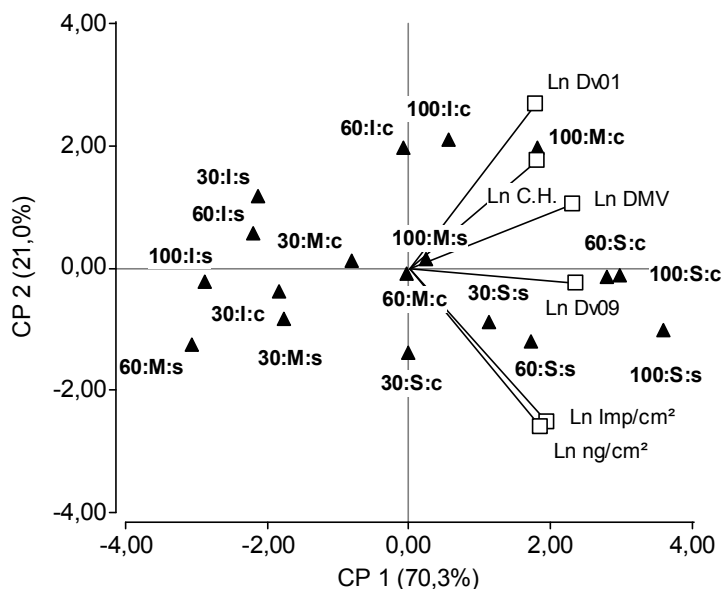


Gráfico 4. Biplot exploratorio de componentes principales. Variables físicas y químicas. Ref: S=superior, M=medio, I=inferior; s=sin, c=con.

La tabla 17 explica la correlación existente entre las diferentes variables. La máxima correlación se observa entre las variables que dividen las diferentes proporciones del espectro ($Dv_{0.10}$, $Dv_{0.50}$ y $Dv_{0.90}$). Sin embargo los impactos tienen una muy pobre correlación con el índice $Dv_{0.10}$, evidentemente los aumentos o disminuciones del tamaño de gotas se ven influenciados mayormente por la mayor o menor presencia de gotas que a su vez son dependientes de los diferentes caudales. El parámetro $Dv_{0.50}$ es el índice tenido en cuenta para caracterizar el tamaño de gotas de un espectro y este caso tiene mayor correlación con el CH explicado en un 74% de su variabilidad. Las deposiciones de FS dependen en un 93% de la mayor cantidad de gotas que impacten en las hojas, esto no quiere decir que se tenga que aumentar considerablemente los caudales de aplicación (mayor número de gotas) sino que manejando adecuadamente el tamaño de gota (mayor número de gotas de tamaño uniforme) se puede obtener muy buena cobertura.

Tabla 17. Valores que conforman la matriz de correlación con los coeficientes de correlación de Pearson para cada variable de clasificación: caudal, estrato, con y sin coadyuvante

	Ln Imp.cm ⁻²	Ln Dv _{0.10}	Ln Dv _{0.50}	Ln Dv _{0.90}	Ln C.H.	Ln ng.cm ⁻²
Ln Imp.cm ⁻²	1,00					
Ln Dv _{0.10}	0,28	1,00				
Ln Dv _{0.50}	0,64	0,86	1,00			
Ln Dv _{0.90}	0,84	0,72	0,94	1,00		
Ln C.H.	0,32	0,66	0,76	0,61	1,00	
Ln ng.cm ⁻²	0,93	0,18	0,58	0,74	0,44	1,00

7 RESULTADOS DEL ANAVA PARA CADA VARIABLE

A continuación se muestran los resultados del ANAVA para aquellas variables e interacciones que resultaron significativas en el modelo, los estadísticos de ajuste correspondientes, y los test de comparación de medias que se consideran relevantes para relacionar las variables.

7.1 DETERMINACIONES FISICAS

7.1.1 Ln Imp.cm⁻². Numero de impactos por centímetro cuadrado

Valores de ajuste del modelo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	CV
Ln Imp.cm ⁻²	120	0,73	0,71	14,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Caudal		9,78	4	2,44	9,31	<0,0001
Estrato		68,17	2	34,08	129,86	<0,0001
Estrato*Aditivos c/s		1,61	2	0,81	3,07	0,0502

La tabla 18 exhibe a los caudales 100, 40 y 60 L.ha⁻¹, presentados en este orden, como los asperjados que ofrecen un mayor número de impactos y estadísticamente iguales, siendo 20 L.ha⁻¹ el único con diferencias significativas que se separa de todos.

Tabla 18. Resultados del ANAVA, efecto caudal para $imp.cm^{-2}$

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,29465

Error: 0,2653 gl: 111

Caudal	Medias	n	E.E.		
20	3,05	24	0,11	A	
30	3,44	24	0,11		B
60	3,67	24	0,11		B C
40	3,81	24	0,11		C
100	3,81	24	0,11		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Por otro lado 30 L.ha⁻¹ se iguala a 60 L.ha⁻¹ con diferencias estadísticamente significativas debido al menor número de impactos logrados ante 40 y 100 L.ha⁻¹ ubicándose con diferencias significativas al medio entre los caudales extremos. Al no existir la interacción caudal*estratos, no se puede analizar en detalle que o cuales boquillas son las causantes de una mayor a menor cantidad de impactos logrados en cada estrato, por entonces independientemente del caudal utilizado, la disminución de impactos desde el ápice a la base de la planta se debe a la obstaculización que ofrecen las hojas del estrato superior provocando un ingreso notablemente menor de gotas al estrato medio y a su vez este mismo obstaculiza la llegada de gotas al estrato inferior con diferencias estadísticamente significativas, a su vez Ruver (2011) también cataloga de obstáculos o barreras físicas a las cantidades crecientes de rastrojo de caña de azúcar en el suelo que ocasiona una gran dificultad en la transposición de los productos herbicidas aplicados antes de la emergencia y encontró que las cantidades de activo encontrados son muy similares entre las boquillas estudiadas. Por otro lado, Zhu et al., (2006) hace mención que las boquillas hidráulicas, debido a su simplicidad, son ampliamente usadas en aplicaciones a campo para control de malezas, insectos y enfermedades, pero la uniformidad de deposición es baja sobre cultivos de elevada densidad foliar.

La interacción estrato*aditivo c/s, deja al descubierto la influencia de los estratos por sobre la funcionalidad del aditivo, ratificando lo analizado anteriormente con el efecto de los caudales (tabla 19).

Tabla 19. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $imp.cm^{-2}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,32104

Error: 0,2625 gl: 111

Estrato	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.	
INF	con	2,77	20	0,10	A
INF	sin	2,78	20	0,10	A
MED	sin	3,18	20	0,10	B
MED	con	3,46	20	0,10	B
SUP	con	4,44	20	0,10	C
SUP	sin	4,72	20	0,10	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Si bien la SDTF (2001) hace hincapié sobre la existencia de coadyuvantes, surfactantes, aceites vegetales y agentes controladores de deriva que pueden afectar significativamente las propiedades físicas de la mezcla en el tanque por la presencia de alcoholes u otros solventes miscibles con el agua que tienden a reducir la dinámica de

la tensión superficial resultando en un asperjado fino (100-175 μm), los efectos de los coadyuvantes varían y dependen de otros componentes en la mezcla siendo que la distribución del tamaño de gota es principalmente controlada por el tipo de boquilla.

Para dar una explicación sencilla e ilustrada de lo analizado en el ANAVA, recurrimos al gráfico 5, en donde se observa que la mayor variabilidad la aporta el estrato superior en donde se distingue un constante y considerable aumento en el número de gotas que impactan en las hojas superiores, pero no se manifiesta el mismo efecto en los tercios medio e inferior, por el contrario, el estrato superior impide aumentos en similares proporciones hacia el interior de la planta. Se deja ver que este crecimiento no se detiene y es totalmente atribuible al aumento de las tasas de aplicación ya que el agregado del coadyuvante disminuyó el número de impactos.

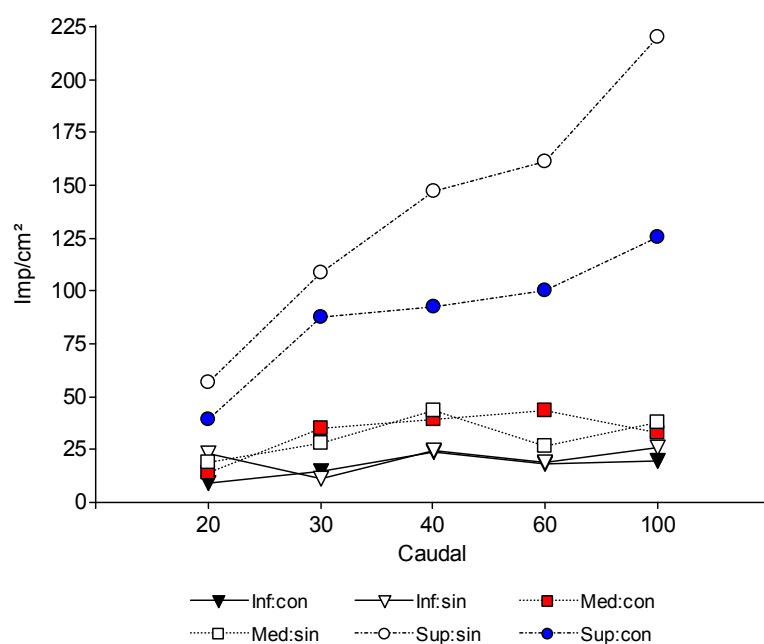


Gráfico 5. Distribución de imp.cm^{-2} a través de estratos a diferentes caudales.

Teniendo en cuenta que entre 40, 60 y 100 L.ha^{-1} no existen diferencias estadísticas significativas, la disminución de la población de gotas de mayor a menor, desde el ápice a la base de la planta, pero separados estadísticamente entre los tres estratos frente al número de impactos, no puede ser explicada por el efecto de alguna boquilla en particular ya que no interactúa con los estratos, es decir que la merma se debe a la densidad y disposición de las hojas en la planta.

De acuerdo a las recomendaciones sugeridas en marbetes en función del producto y tratamiento a pulverizar (Syngenta 2002, FAO 1988, tabla 20 y 21), es importante destacar que los caudales menores producen una población suficiente de gotas con el tamaño adecuado que puede cubrir las necesidades de un cultivo con elevada densidad foliar.

Tabla 20 Densidad de gotas (gotas.cm⁻²) obtenidas en función del diámetro de gotas (μm) y de la tasas de aplicación (L.ha⁻¹). (Fuente: Texeira; M. M. Capítulo 5, Tecnología de aplicación de agroquímicos).

Diámetro Gota (μm)	Tasa de aplicación (L.ha ⁻¹)						
	25	40	60	80	100	150	200
100	480	765	1150	1530	1910	2870	3820
150	140	225	340	450	565	830	1130
200	60	100	150	200	240	360	480
250	30	48	72	96	120	180	240
300	18	28	42	56	71	106	140
400	8	12	18	24	30	45	60
500	4	6	9	12	15	23	30

Sin embargo, para el presente trabajo de investigación, se debe tomar precaución de estas normas propuestas, ya que se evalúa el seguimiento y concentración del marcador FS que pueden estar relacionadas o no con el número de impactos logrados en los diferentes volúmenes ensayados. Huang et al., (2010) hallaron que los depósitos del trazador cloruro de rubidio presentan una alta correlación entre el porcentaje de cobertura por gotas y el número de gotas por unidad de superficie sobre tarjetas hidrosensibles, esto indicó que al existir coherencia entre ambos métodos de cuantificación, la concentración del marcador puede ser más consistente que el porcentaje de cobertura y el número de gotas por unidad de superficie.

Tabla 21. Recomendaciones mínimas de densidades de gotas para diferentes tipos de tratamiento en cultivos bajos. (Fuente: Texeira; M. M. Capítulo 5, Tecnología de aplicación de agroquímicos).

Herbicidas	Impactos.cm ⁻²
Preemergencia	20 - 30
Plántula	30 - 40
Planta (contacto)	50 - 70
Planta (sistémico)	30 - 40
Insecticidas	
Contacto	40 - 50
Sistémico	20 - 30
Fungicidas	
Contacto	50 - 70
Sistémico	30 - 40

7.1.2 DMV o Dv_{0.50} - Diámetro de la mediana volumétrica

Diámetro que divide al espectro de gotas en dos partes de igual volumen.
Valores de ajuste del modelo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	CV
Ln DMV	120	0,41	0,36	5,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Caudal	2,40	4	0,60	6,88	0,0001
Estrato	2,59	2	1,30	14,88	<0,0001
Aditivos c/s	1,11	1	1,11	12,77	0,0005
Estrato*Aditivos c/s	0,62	2	0,31	3,54	0,0323

El gráfico 6, ofrece la posibilidad de indagar y realizar discusiones previas sobre la manera que se comportan los diferentes asperjados en la distribución del tamaño de gotas bajo el amparo de los resultados del ANAVA. El principal comportamiento se observa en los espectros de las boquillas TXV6, D5/N13 y D5/N23 (20, 30 y 40 L.ha⁻¹) por resultar iguales estadísticamente (tabla 22) además de un eminente acortamiento de la brecha entre tamaños mínimos y máximos de impactos, que van desde 260 µm sobre el estrato superior terminando en impactos de 150 µm en el estrato inferior. Lo opuesto, ofrecen las gotas de las boquillas PPV02 y TXV 12 (60 y 100 L.ha⁻¹) cuya brecha de tamaño es mucho más extensa con 400 µm sobre el estrato superior a 150 µm en los últimos impactos observados en las hojas basales pertenecientes al estrato inferior. McMullan (1995) comprobó que la eficacia de los herbicidas setoxidim y fenoxaprop-etil con la mitad de las dosis recomendadas por marbete fue mayor a 400 kPa de presión de pulverización en comparación con 100 kPa utilizando la misma boquilla. La reducción de la presión de pulverización resulta en aumentos en el tamaño de gotas que son útiles para atenuar pérdidas por derivas fuera del objetivo, pero pueden disminuir considerablemente el control de malezas.

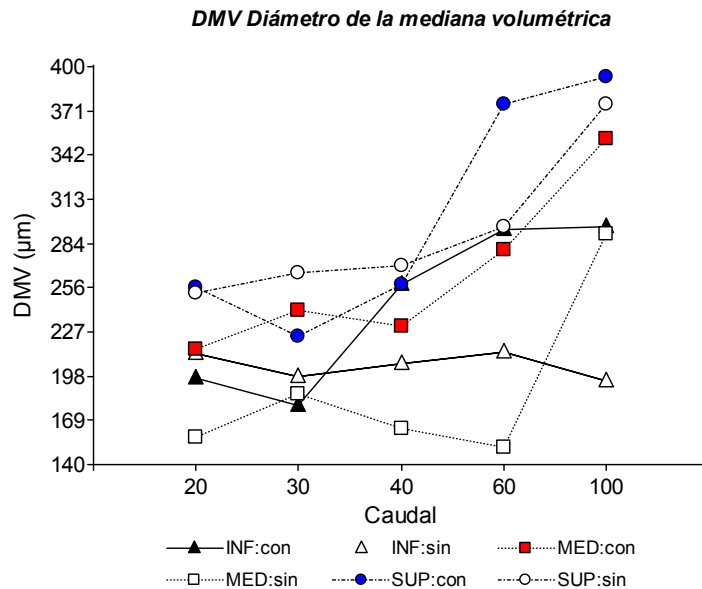


Gráfico 6. Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos interactuando sobre los tres estratos.

Tabla 22. Resultados del ANAVA, caudal para $Dv_{0,50}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,16889

Error: 0,0872 gl: 110

Caudal	Medias	n	E.E.		
20	5,33	24	0,06	A	
30	5,33	24	0,06	A	
40	5,40	24	0,06	A	B
60	5,51	24	0,06		B
100	5,70	24	0,06		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La tabla 23 ofrece resultados del accionar del coadyuvante en interacción con los estratos y se puede observar un comportamiento natural en la distribución de tamaños, que muy poco tiene que ver el efecto aditivo, es el estrato superior el que desempeña el rol de impedir la entrada de un amplio rango de grosores, dejando pasar gotas con un acotado margen de tamaños hacia el interior hasta las hojas basales de la planta.

Tabla 23. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $Dv_{0,50}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,18501

Error: 0,0872 gl: 110

Estrato	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.		
MED	sin	5,15	20	0,07	A	
INF	sin	5,27	20	0,07	A	B
INF	con	5,45	20	0,07		B C
MED	con	5,53	20	0,07		C D
SUP	sin	5,65	20	0,07		D
SUP	con	5,68	20	0,07		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sin embargo pareciera que el adyuvante tiene algo de efecto en los estratos medio e inferior, como ser Teske et al., (2005) encontraron que por sí misma la tasa de aplicación no tuvo un gran efecto en la atomización, mientras que la mezcla en tanque con adyuvante tuvo un gran efecto sobre el tamaño de gota al bajar la dinámica de la tensión superficial que produce los mejores asperjados, en cambio la mezcla en tanque de agua con aditivo que provoca una alta viscosidad extensional, produce asperjados más gruesos y el agua sola es intermedia entre las dos mezclas.

7.1.3 $Dv_{0,90}$ - Diámetro volumétrico 0.90

Diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2_{Aj}	CV
Ln $Dv_{0,90}$	120	0,57	0,53	5,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Estrato	8,56	2	4,28	46,01	<0,0001
Aditivos c/s	0,83	1	0,83	8,96	0,0034
Caudal	3,20	4	0,80	8,61	<0,0001
Estrato*Aditivos c/s	0,85	2	0,43	4,59	0,0122

La fracción de gotas propensas al arrastre interno (endoderiva) puede ser identificada a partir del índice $Dv_{0.90}$, desfavorecen la penetración en cultivos cerrados ya que el peso de las mismas le induce velocidad y trayectoria rectilínea (Pérez s.f., Magdalena 2004, Villalba y Hetz 2010).

El comportamiento de la distribución del tamaño de gotas de las diferentes boquillas consiste en un crecimiento desproporcionado en el número y diámetro de gotas que involucra directamente a las tasas de 60 y 100 $L\cdot ha^{-1}$ por arrojar los valores más altos en el ANAVA de la tabla 24. Por otro lado, se contraponen los tamaños menores, producto de los caudales 20, 30 y 40 $L\cdot ha^{-1}$ que presentan igualdad entre sí pero diferentes estadísticamente del resto.

Tabla 24. Resultados del ANAVA, efecto caudal para $Dv_{0.90}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,17447

Error: 0,0930 gl: 110

Caudal	Medias	n	E.E.			
20	5,53	24	0,06	A		
30	5,57	24	0,06	A		
40	5,70	24	0,06	A	B	
60	5,83	24	0,06		B	C
100	5,97	24	0,06			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los indicadores de tamaño para cada espectro están relacionados unos con otros, esto significa que una modificación en la presión, velocidad de avance o tipo de boquilla, genera una variación en los valores en todos los índices del espectro, pero estas variaciones se magnifican en las tasas mayores y son levemente perceptibles en las tasas menores evaluando las características de cada espectro. En los gráficos 6, 7 y 27 (ver anexo) se puede comprobar la disparidad entre los tamaños que ofrecen los diferentes caudales mediante los máximos valores del DMV, $Dv_{0.90}$ y $Dv_{0.10}$. Estos últimos dos parámetros adicionales, son comúnmente utilizados para describir la distribución de la mediana solamente en la fracciones grande y pequeña del espectro, específicamente son percentiles del volumen de pulverización que contienen gotas del diámetro especificado. El $Dv_{0.10}$ a menudo se utiliza para estimar la parte de los asperjados que son propensas a la deriva (Schick 2006).

Los caudales 20, 30 y 40 $L\cdot ha^{-1}$ mantienen un valor de DMV sobre el estrato superior de $250 \pm 10 \mu m$, mientras que para los valores del $Dv_{0.90}$ solamente los caudales de 20 y 30 $L\cdot ha^{-1}$ logran mantenerlo en $350 \pm 10 \mu m$, resultando en una diferencia de 100 μm entre ambos parámetros. El punto de crecimiento comienza a partir de los 40 $L\cdot ha^{-1}$ con 450 μm y llega hasta 580 y 650 μm pertenecientes a los caudales 60 y 100 $L\cdot ha^{-1}$ respectivamente marcando una diferencia de 250 μm aproximadamente. Lo correcto sería dividir las gotas $>450 \mu m$ a la mitad de su diámetro para favorecer la entrada de un número creciente de gotas al interior del cultivo, pero para lograrlo es necesario reducir la tasa de aplicación y eliminar gotas de excesivo tamaño ($>450 \mu m$) que no son de utilidad en cultivos densos como la soja. En cambio el resto de los caudales están por debajo de 450 μm y mantienen la condición de elevada velocidad inicial de caída favoreciendo la reducción de la distancia de deriva (Ozkan, 1998). Con esto se trata de esclarecer de donde proviene la mayor o menor homogeneidad de los diferentes asperjados agrícolas y comprender como impacta en el cultivo de soja.

La tabla 25 nos traslada al escenario visto en el parámetro anterior (DMV), en donde el aditivo por sí mismo no influye en modificar el diámetro de gotas que facilite la mayor o menor llegada al interior de la planta, sino que lo hace a través del estrato superior interfiriendo con el normal trayecto de las gotas. Por tratarse de la proporción de mayor diámetro, cobra importancia diferenciar los tamaños que aportan cada boquilla en el estrato superior por estar en juego la eficiencia en la cobertura de impactos.

Tabla 25. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $Dv_{0.90}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,19112

Error: 0,0930 gl: 110

Estrato	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.			
MED	sin	5,37	20	0,07	A		
INF	sin	5,43	20	0,07	A	B	
INF	con	5,57	20	0,07		B	C
MED	con	5,76	20	0,07			C
SUP	con	6,09	20	0,07			D
SUP	sin	6,11	20	0,07			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Las boquillas TXV 6 y D5/N13 desprenden gotas que impactan en 340 μm , le sigue la D5/N23 con 400 μm , terminando la PPV02 con 650 μm . McMullan (1994) en cinco de siete ambientes para los experimentos en el control de *A. sativa*, ya sea con setoxidim o fenoxaprop-p-etil, encontró que reduciendo el tamaño de gota llevando la presión de pulverización a 400 kPa aumentando la velocidad de avance, la eficiencia fue mayor en comparación con 100 kPa utilizando boquillas 8002 y 11002, también citando a Knoche (1994), basado en una revisión bibliográfica, informó que la reducción del tamaño de gota aumento el rendimiento del herbicida en más del 70% de los experimentos.

7.1.4 $Dv_{0.10}$ - Diámetro volumétrico 0.10

Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

Medidas de ajuste

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	CV
Ln $Dv_{0.10}$	120	0,38	0,31	5,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Estrato	0,84	2	0,42	5,31	0,0063
Caudal	1,15	4	0,29	3,62	0,0083
Aditivos c/s	1,94	1	1,94	24,44	<0,0001
Estrato*Aditivos c/s	0,50	2	0,25	3,17	0,0460
Caudal*Aditivos c/s	0,78	4	0,20	2,47	0,0493

Como se distingue en la tabla 26 y a diferencia de los anteriores análisis consumados sobre los parámetros DVM y $Dv_{0.90}$, se puede apreciar una desigualdad de diámetros entre los diferentes asperjados que podrían estar bajo los efectos del coadyuvante. Aunque no es una diferencia en donde intervienen todas las boquillas,

solamente los caudales 40, 60 y 100 L.ha⁻¹ generan gotas que mantienen su diámetro de salida por efecto del coadyuvante con diferencias estadísticas significativas frente a las cinco tasas de aplicación sin el coadyuvante. Por último, se podría inferir, que agrupando los tres parámetros analizados el agregado del aditivo utilizado provoca en las gotas provenientes de 20, 30 y 40 L.ha⁻¹ protección contra la evaporación, impidiendo que disminuya el diámetro de las gotas en el trayecto desde la boquilla hasta el objetivo sin sacrificar una buena cobertura de impactos. Basándose en gotas propensas a deriva, Combellack et al., (1996) encontraron en sus resultados que los dispersantes y emulgentes producen gotas más “adecuadas” en comparación con los derivados de alcoholes sintéticos, esto sugiere que los cambios en las formulaciones pueden producir cambios en los espectros de gotas. McMullan (1995) alega que incrementos en las dosis de coadyuvantes no produce mayor eficiencia en los asperjados, pero es necesario incorporar aditivos a la mezcla para mejorar su funcionalidad y equilibrar la nube de gotas sobre todo en caudales menores.

Tabla 26. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para Dv_{0.10}.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,22790

Caudal	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.			
20	sin	4,70	12	0,08	A		
40	sin	4,71	12	0,08	A		
60	sin	4,76	12	0,08	A	B	
30	con	4,83	12	0,08	A	B	
100	sin	4,84	12	0,08	A	B	
30	sin	4,84	12	0,08	A	B	
20	con	4,88	12	0,08	A	B	
40	con	4,97	12	0,08		B	C
60	con	5,15	12	0,08		C	D
100	con	5,28	12	0,08			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La fracción Dv_{0.10}, por ser la de menor diámetro, reportan un patrón de comportamiento diferenciado frente al DVM y Dv_{0.90}, se sostiene en la irregularidad de llegada a los diferentes estratos de la planta. Se indaga en que dicha distribución que rompe con los esquemas de distribución hasta ahora vistos, pueda deberse a que las gotas al ser las más pequeñas, poseen las propiedades de contar con una baja velocidad de sedimentación, por ende, quedan expuestas a merced de las corrientes de aire generadas por el equipo pulverizador y el viento, lo que termina en un mayor tiempo ambulatorio hasta su deposición. Por otro lado, mantienen una diferencia no mayor a 100±10 µm con el parámetro DMV, pero solamente para los asperjados pertenecientes a las boquillas TXV6, D5/N13 y D5/N23 (20, 30 y 40 L.ha⁻¹), mientras que las boquillas TXV 12 y PPV02 ambas de tipo cono hueco, liberan gotas con diferencias de tamaños de 200 a 250 µm para el Dv_{0.90} de los caudales menores y de 400 a 430 µm de diferencia para los caudales mayores.

Diámetro de gota a partir del cual el 10% restante es de menor tamaño

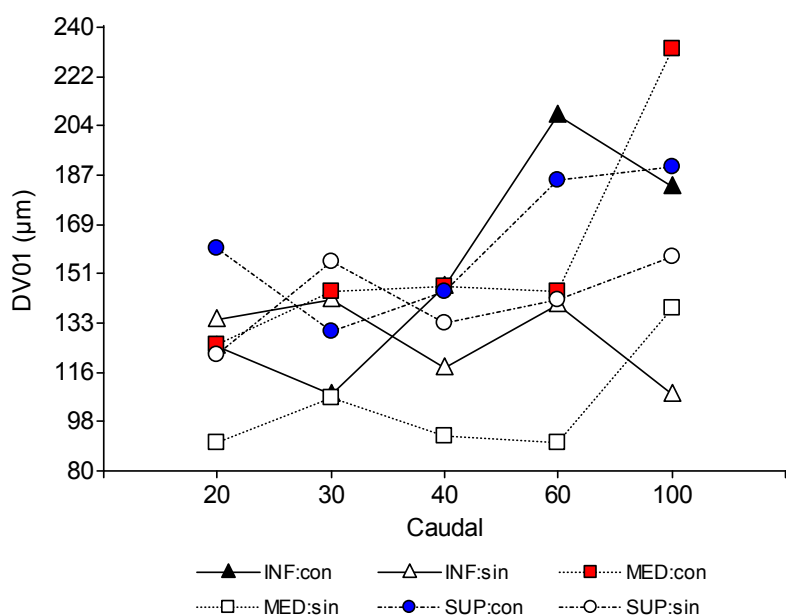


Gráfico 7. Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas del $Dv_{0.10}$ sobre los tres estratos correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos. Se advierte un formato irregular o distinto de distribución.

Tabla 27. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para $Dv_{0.10}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,17653

Error: 0,0793 gl: 106

Estrato	Aditivos c/s	Medias	n	E. E.		
MED	sin	4,58	20	0,06	A	
INF	sin	4,80	20	0,06		B
SUP	sin	4,93	20	0,06		B C
INF	con	4,98	20	0,06		C
MED	con	5,02	20	0,06		C
SUP	con	5,07	20	0,06		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De lo analizado anteriormente en la interacción caudal*aditivos en conjunto con el gráfico 7, también se cumple en la interacción estrato*aditivos del ANAVA de la tabla 27, en donde las gotas por ser las más pequeñas no tienen un destino fijo en la planta como se venían observando en los demás tamaños, sino que lo hace en forma irregular o azarosa. Combellack (1996) para una mejor comprensión de las pulverizaciones con riesgo de deriva, explica la interacción entre el movimiento de las gotas y el aire en el que se liberan, uno por lo tanto, debe tener conocimiento del tamaño de la gota y en lo posible calcular o medir su velocidad de emisión de la boquilla. El mismo autor utilizó el trazador fluorescente fluoresceína sódica al 0,05% para medir gotas de deriva, la recolección se realizó en colectores de algodón estratégicamente instalados en un laboratorio con túnel de viento en complemento con mediciones del espectro (analyzer de fase doppler). Los resultados concluyeron que las gotas entre 115 y 150 μm son las más propensas a ser arrastradas por el viento, sin embargo, las mediciones fueron hechas en boquillas de doble abanico plano y se pudo observar que las gotas generadas tenían inclusión de aire que presentaban dificultad en su lectura ante la emisión de luz

y resultaron tener menos peso, mayor diámetro y ser gotas de deriva. Sin embargo, McMullan (1996) publica datos en donde la reducción de la presión de pulverización de 100 a 150 kPa en comparación con presiones de pulverización estándares de 250-300 kPa, disminuyen la posibilidad de deriva por la reducción de la proporción de gotas menores a 100 µm de diámetro (Spraying Sistemas, datos no publicados).

7.1.5 C.H. - Coeficiente de homogeneidad

Medidas de ajustes del modelo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	CV
Ln CH	120	0,35	0,29	40,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Caudal	3,31	4	0,83	9,75	<0,0001
Estrato*Aditivos c/s	0,59	2	0,30	3,50	0,0337
Caudal*Aditivos c/s	1,14	4	0,29	3,37	0,0122

El agregado de aditivos no proporcionó mejoras en la homogeneidad de los distintos asperjados provenientes de las boquillas estudiadas. La tabla 28 del ANAVA muestra una igualdad estadística de medias en todos los estratos con y sin los efectos del coadyuvante a excepción que en el estrato superior se encuentran la mayor variabilidad en tamaños reducido en un elevado coeficiente de homogeneidad (CH). Ruver (2011) nos dice que no es suficiente asegurarse que el producto que se aplica llegue al blanco, también es esencial y debemos asegurarnos de que el producto alcance el objetivo de manera eficiente, minimizando así las pérdidas. Por lo tanto, es necesario lograr uniformidad de distribución y espectro de gotas apropiado.

Tabla 28. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para CH.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,18264

Error: 0,0849 gl: 109

Estrato	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.	
SUP	con	0,63	20	0,05	A
INF	sin	0,67	20	0,05	A B
MED	sin	0,68	20	0,05	A B
MED	con	0,77	20	0,05	A B
INF	con	0,78	20	0,05	A B
SUP	sin	0,82	20	0,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

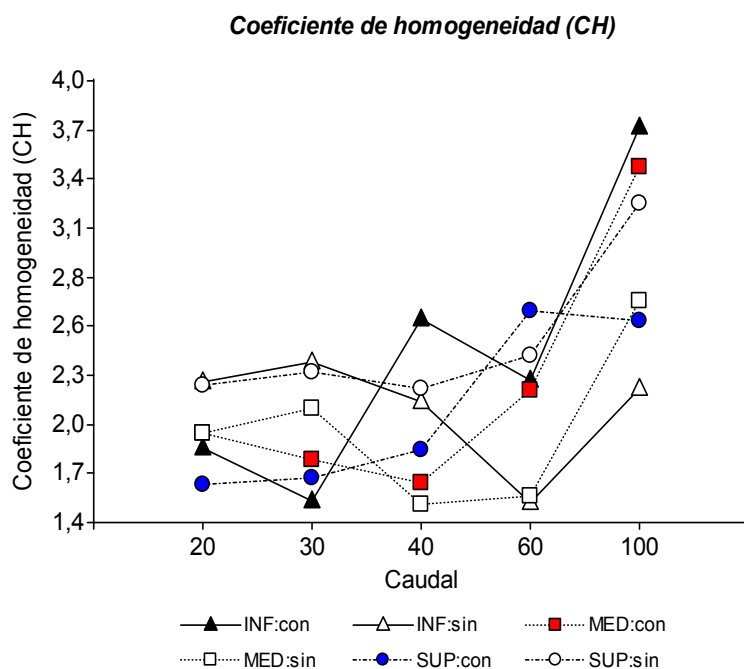


Grafico 8. Representación del comportamiento de los distintos coeficientes de homogeneidad inducido por la variabilidad que ofrecen los estratos con y sin el efecto del aditivo.

Al no encontrar diferencias con connotación estadística, es muy probable que se deba a que todas las boquillas proporcionan asperjados con un índice de homogeneidad adecuado para cultivos densos, pero el apiñamiento de gotas grandes y numerosas de los altos caudales persiste en el estrato superior que provoca no solo pérdidas por endoderiva sino que además retienen una elevada proporción del principio activo.

En el grafico 8, observando las líneas con puntos de colores (con aditivo) y solamente en las tasas de 20, 30 y 40 L.ha⁻¹, vemos que están por debajo de los puntos en color blanco (sin aditivo), es evidente una leve mejoría en la homogeneidad del espectro de los caudales citados, que además se comprueba al existir una menguada diferencia entre los distintos parámetros de no más de 100 a 200 ±10 µm, mientras que en los altos caudales la diferencia son de 400 a 430 µm demostrable con un consumado aumento del CH que comienza en 60 y termina en 100 L.ha⁻¹. Otro valioso aporte, es que aquellos asperjados (bajos caudales) que poseen el CH más bajo (cercano a 1) no hacen distinción entre estratos porque la homogeneidad se manifiesta en los tres estratos por igual.

Combella (1996) cita a Maybank, Yoshida, y Grover (1978) e informan que la reducción de la presión de pulverización para reducir la deriva fuera del objetivo puede disminuir la eficacia de herbicidas debido al aumento de tamaño de las gotas de pulverización o un asperjado desigual resultando un patrón de depósitos heterogéneo.

Tabla 29. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para CH.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,23578

Caudal	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.				
30	con	0,48	12	0,08	A			
20	con	0,54	12	0,08	A	B		
60	sin	0,56	12	0,08	A	B		
40	sin	0,61	12	0,08	A	B	C	
40	con	0,66	12	0,08	A	B	C	
20	sin	0,71	12	0,08	A	B	C	
30	sin	0,76	12	0,08		B	C	D
60	con	0,81	12	0,08			C	D
100	sin	0,98	12	0,08				D E
100	con	1,13	12	0,08				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados de la tabla 29 demuestran por una lado, que el alto caudal elabora espectros heterogéneos o con valores de CH más altos, y por otro lado, que al ir descendiendo las tasas de aplicación, comienzan a mermar también el CH pero por un efecto boquilla y no aditivo. La eficiencia en las pulverizaciones agrícolas para el control de plagas y malezas, se centra en utilizar asperjados homogéneos que son logrados por los caudales menores a 40 L.ha⁻¹. McMullan (1995), demostró que la eficiencia de los herbicidas setoxidim y fenoxaprop-p-etil mejoró cuando el volumen de pulverización se redujo de 100 L.ha⁻¹ a 50 o 25 L.ha⁻¹.

7.2 DETERMINACIONES QUIMICAS

7.2.1 µg cm⁻² FS

Para esta variable no fue necesaria la transformación a escala logarítmica para reducir la heterogeneidad de varianzas, se trabajó con los resultados sin transformar.

Medidas de ajuste del modelo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	CV
FS µg.cm ⁻²	67	0,81	0,77	67,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Caudal	34,76	2	17,38	9,93	0,0002
Estrato	227,81	2	113,91	65,10	<0,0001
Aditivo c/s	18,71	1	18,71	10,69	0,0019
Caudal*Estrato	68,72	4	17,18	9,82	<0,0001
Caudal*Aditivo c/s	22,53	2	11,26	6,44	0,0031
Estrato*Aditivo c/s	12,23	2	6,12	3,50	0,0375

La distribución de los depósitos (FS) responde a cambios en las tasas de aplicación e interactúan con los estratos, sin importar la tasa de aplicación que se utilice, al estrato medio e inferior llegan cantidades que no se diferencian estadísticamente entre sí, pero lo hacen con el superior en todas las tasas (tabla 30).

Tabla 30. Resultados de ANAVA, caudal*estrato para $\mu\text{g.cm}^{-2}$ FS.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,38161

Error: 1,7498 gl: 53

Caudal	Estrato	Medias	n	E.E.	
60	INF	0,17	8	0,47	A
100	INF	0,31	6	0,56	A
30	INF	0,34	8	0,47	A
30	MED	0,98	8	0,47	A
60	MED	1,02	8	0,47	A
100	MED	1,03	7	0,50	A
30	SUP	2,65	8	0,47	B
60	SUP	3,37	7	0,50	B
100	SUP	7,66	7	0,50	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Observando las medias de los depósitos como valores absolutos, estos decrecen constantemente desde al ápice a la base del cultivo, e inmediatamente se deduce que lo mismo ocurre con las concentraciones de los principios activos de los pesticidas. De acuerdo a los resultados de Cunha et al., (2006), aplicaron fungicida en diferentes tasas de aplicación sin encontrar diferencias en el control de roya asiática de la soja, cuando las diferencias encontradas de soluciones eran de hasta un 41% más de activo entre varias boquillas estudiadas. Zhu et al., (2006) aportan que en muchos casos, diversos tipos de aplicaciones son usados para incrementar la cantidad de pesticidas dentro de canopias densas, pero fracasan rotundamente saturando la parte superior de la planta.

La tasa 100 L.ha⁻¹, se distancia estadísticamente de las demás por depositar la mayor cantidad de FS en el estrato superior, seguidas de 60 y 30 L.ha⁻¹, y es evidente que en las hojas del medio se presente el mismo orden por estar más cercanas a las hojas apicales. En el estrato inferior, las tres tasas no presentan diferencias estadísticas; el elevado CV del 68% se transmite en superar una diferencia mínima significativa (DMS) de 1,3816; variabilidad que se conoce puede ser generada por el follaje, disposición de las hojas, influencia de condiciones ambientales como viento, temperatura y humedad ambiente, factores que no se pueden controlar y son además muy influyentes en el comportamiento del espectro, entonces es muy probable que así sea, porque para tamaño (DMV) y número de impactos se observaron igualdad estadística en los estratos medio e inferior y significativo en el superior siendo este el que permite un ingreso acotado en número y tamaño de gotas (160 a 250 μm). Según Herbst (2001), la clasificación de las boquillas por su tamaño de gota y calidad de aplicación se puede basar en todo el espectro o en el diámetro mediano volumétrico (DMV), por esa razón, el uso del DMV es apropiado para la clasificación de pulverizaciones, al menos para las boquillas hidráulicas.

Cuantificar las deposiciones en las hojas apicales carece de importancia por tener exposición directa sin obstáculos al botalón de la máquina, entonces pasan a ser consideradas una barrera física a la transposición de los productos aplicados hacia las hojas internas y basales de la planta. Esto también es observado por Cunha et al., (2006), que después de evaluar deposiciones promovidas por diferentes tipos de boquillas sobre soja, concluyó que la mayoría de la cobertura de las partes internas de difícil acceso, ocurrió cuando se utilizaron boquillas de pulverización que promovían gotas más pequeñas.

Tabla 31. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para ng.cm² FS.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,12870

Error: 1,7498 gl: 53

Caudal	Aditivo c/s	Medias	n	E.E.	
30	con	0,95	12	0,38	A
60	sin	1,41	12	0,38	A
60	con	1,64	11	0,40	A
100	con	1,66	9	0,45	A
30	sin	1,70	12	0,38	A
100	sin	4,35	11	0,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la tabla 31, es en 100 L.ha⁻¹ en donde la falta del coadyuvante favorece una mayor presencia de FS y se debe a que el tamaño de gota no se ve afectado, por entonces la población tampoco manifiesta mermas.

Los resultados en la tabla 32, exponen que en el estrato superior existe diferencia estadística significativa para la deposición de fluoresceína sódica frente a la presencia o no del aditivo. Sin embargo, la presencia de aditivos no mejora la deposición de fluoresceína sódica en el estrato inferior (letra A) ni en el estrato medio (las mejores deposiciones corresponden a ausencia de coadyudante, letra B). Es decir que, como se mencionó anteriormente, el aditivo produjo una notable reducción en la población de gotas que repercute en los depósitos hallados en las hojas apicales pero sin efectos en el interior de la planta, lo que se condicen con el menor número de impactos tengan o no el coadyuvante. Es oportuno recordar que de acuerdo a varios autores, diferencias encontradas en la concentración de fungicidas en soja, no mostraron diferencias en el control de enfermedades y que al interior de la panta llegan las gotas más chicas.

Tabla 32. Resultados del ANAVA, estrato*aditivos c/s para ng.cm² FS.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,12660

Error: 1,7498 gl: 53

Estrato	Aditivo c/s	Medias	n	E.E.	
INF	con	0,14	10	0,43	A
INF	sin	0,41	12	0,38	A B
MED	con	0,67	12	0,38	A B
MED	sin	1,35	11	0,40	B
SUP	con	3,42	10	0,42	C
SUP	sin	5,70	12	0,38	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El grafico 9, ilustra la distribución de FS a través de los estratos del cultivo frente al manejo de los caudales con y sin la presencia del aditivo. Se distingue claramente, como las hojas apicales presentan la mayor cantidad del marcador proveniente del caudal 100 L.ha⁻¹, sin embargo, el aditivo disminuye la posibilidad de elevar los niveles de FS; visto de otra manera, no actúa como protector de gotas contra la evaporación porque aumentan el tamaño de los espectros reduciendo el número de impactos, que a su vez se potencia en los altos caudales, por lo tanto se reduce toda oportunidad de mejoras en las deposiciones.

Concluyendo, en los estratos medio e inferior hay igualdad entre las diferentes tasas a pesar que en valores absolutos los depósitos se inclinan hacia 30 y 100 L.ha⁻¹, por ende los resultados demuestran el funcionamiento de bajos y altos caudales

controlando tamaño de gota con la posibilidad de llegar a las hojas interiores y basales con el principio activo. Villalba Farinha et. al., (2009) revelan una mayor concentración de depósitos en tratamientos con menor homogeneidad, esta observación no es coincidente con los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a que se utilizaron boquillas que generan espectros homogéneos.

Depositos de fluoresceína sódica en hojas - ng/cm² FS

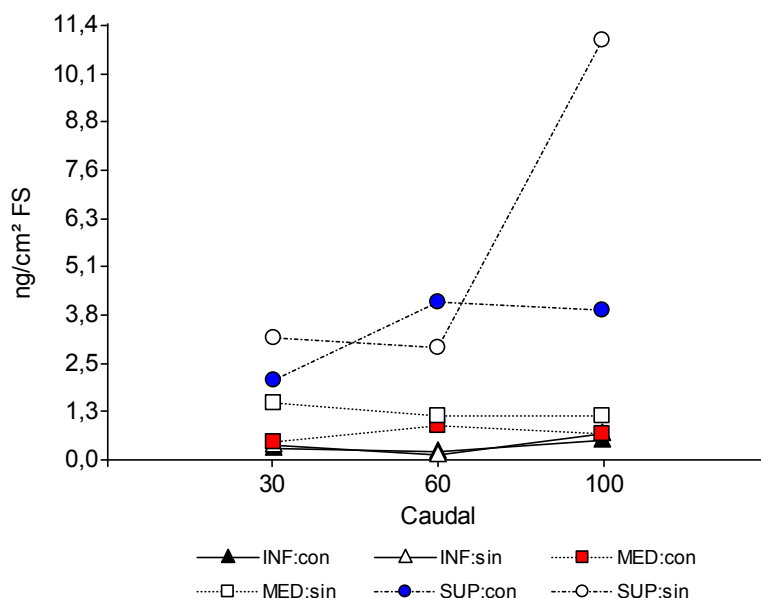


Grafico 9. Distribución de fluoresceína sódica (FS) a través del estrato superior, medio e inferior frente a los efectos producidos por las tasas aplicadas con y sin el uso del aditivo.

Por entonces si estadísticamente al estrato inferior llegan deposiciones iguales, es viable recurrir a la tasa más baja para aprovechar ventajas que presenta, como por ejemplo reducir los costos operativos aumentando la autonomía del equipo en mayor número de hectáreas por hora de trabajo.

7.3 Regresión lineal

Los modelos lineales múltiples que explicaron mejor la relación entre todas las variables con inclusión de variables auxiliares para las combinaciones de estratos y nivel de coadyuvante son:

$$Ln \text{ imp.cm}^{-2} = 10,3 - 1,43 * \ln Dv_{0.10} - 20,41 DMV + 1,65 * (\ln DMV)^2 + 17,76 * \ln Dv_{0.90} - 1,20 (\ln Dv_{0.90})^2 + 0,35 * cas + \xi$$

$$Ln \text{ imp.cm}^{-2} = 10,3 - 1,43 * \ln Dv_{0.10} - 20,41 DMV + 1,65 * (\ln DMV)^2 + 17,76 * \ln Dv_{0.90} - 1,20 (\ln Dv_{0.90})^2 + 0,39 * sas + \xi$$

$$Ln \text{ imp.cm}^{-2} = 10,3 - 1,43 * \ln Dv_{0.10} - 20,41 DMV + 1,65 * (\ln DMV)^2 + 17,76 * \ln Dv_{0.90} - 1,20 (\ln Dv_{0.90})^2 + 0,18 * cam + \xi$$

Donde:

Aditivo: efecto debido a la presencia o no de coadyuvante

Estrato: efecto debido a diferentes estratos de la canopia donde se realiza la medición

Sitio: lugar de muestreo dado por la ubicación y forma del soporte para las tarjetas hidrosensibles

Cas: con aditivo en el estrato superior

Cam: con aditivo en el estrato medio

Sas: sin aditivo en el estrato superior

ξ : error distintos para los diferentes tratamientos y estratos

Tabla 33 coeficientes de regresión y estadísticos asociados.

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	ECMP	AIC	BIC
Ln Imp/cm2	118	0,89	0,88	0,13	82,64	110,35

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
const	10,30	4,94	0,51	20,09	2,08	0,0395
Ln Dv _{0.10}	-1,43	0,20	-1,82	-1,04	-7,24	<0,0001
MED con ad	0,18	0,09	0,01	0,36	2,05	0,0428
SUP con ad	0,35	0,12	0,12	0,58	3,06	0,002
SUP sin ad	0,39	0,13	0,13	0,66	2,97	0,0037
Ln DMV	-20,41	4,58	-29,48	-11,34	-4,46	<0,000
Ln DMV ²	1,65	0,42	0,82	2,48	3,95	0,0001
Ln Dv _{0.90}	17,76	3,67	10,48	25,04	4,83	<0,0001
Ln Dv _{0.90} ²	-1,20	0,32	-1,83	-0,57	-3,79	0,0002

El proceso de selección del mejor modelo a partir de todos los modelos posibles, contempló los criterios penalizados de verosimilitud restringida y el coeficiente de determinación como valores de diagnóstico. Las variables auxiliares que no resultaron significativas están ligadas al estrato inferior con y sin la presencia de aditivos y al estrato medio sin la presencia de aditivos, lo que indica que en estos estratos no se logran explicar mejoras o no en la cobertura de impactos y que el uso de coadyuvantes no tiene influencia sobre las cobertura de impactos en los estratos medio con aditivos e inferior con y sin aditivos. De hecho se trataron de modelar, para cada combinación de estrato con y sin el efecto de aditivos, la regresión múltiple que mejor explicara el movimiento de las gotas dentro de la canopia, representadas en impactos por centímetro cuadrado, logrando obtener ajustes con R²_{Aj} inferiores a 0,20. También se observa la poca relación directa que tiene el caudal con la cobertura de impactos, condicionada principalmente por el tipo de boquilla, presión y velocidad de avance configurados al momento de realizar los ensayos para cada tratamiento.

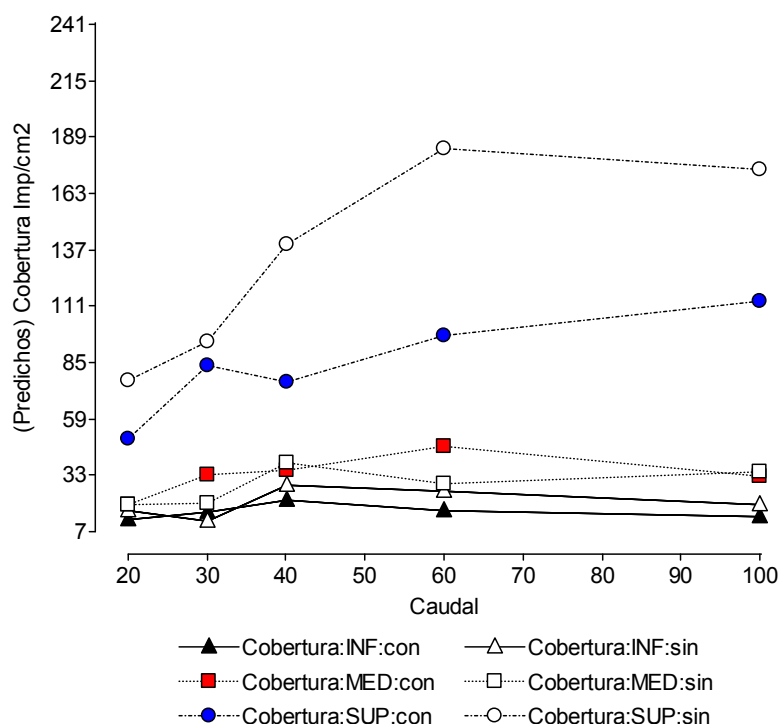


Gráfico 10. Gráficos de puntos para los valores predichos de impactos de gotas en función de los diferentes caudales para cada estrato en combinación con o sin la presencia de coadyuvantes.

En el gráfico 10 se representa la relación entre cobertura (valores predichos en impactos de gotas por centímetros cuadrados) y los diferentes caudales intervinientes para cada estrato y nivel de coadyuvantes. Es evidente el poco incremento de cobertura en los estratos medios e inferior conforme aumentan las tasas de aplicación. Aumentos notorios de cobertura se distinguen solamente en el estrato superior hasta los 60 L ha⁻¹. Recordemos que solo las gotas con un DMV de 200 μm lograr traspasar las hojas apicales y llegar a los estratos medio e inferior. A partir de los 60 L.ha⁻¹ el incremento de volumen de caldo por hectárea solo provoca un desajuste en el espectro de gotas dejando como resultado un aumento de la heterogeneidad y superposición de impactos con pérdidas de líquidos por endoderiva. En consecuencia sería inadecuado aumentar el caudal si no se logra controlar – mediante velocidad de avance y presión - la misma uniformidad vista en los caudales más bajos.

7.4 AÑO 2013

7.5 Pulverizaciones terrestres

7.5.1 Regímenes de precipitaciones y temperatura

El total de 554,5 mm está por debajo de la media anual histórica de 650 mm de acuerdo a datos recolectados por la Sociedad Rural del Sudeste Santiaguense. Esta merma se posicionó en los meses de marzo y abril, período donde el cultivo se encuentra en llenados de granos del cultivo (R5-6) afectando el rendimiento final, por otro lado las temperaturas se mantuvieron dentro de las medias anuales históricas, pero la baja humedad relativa (<50%) provocó condiciones desfavorables para las pulverizaciones concentradas en fines de febrero a mediados de marzo. Cuando se

piensa en la tecnología de aplicación, hay que tener en cuenta factores que no actúan de manera aislada, como la meta a alcanzar, las características del producto usado, la máquina, el momento de aplicación y las condiciones ambientales. La interacción de estos factores es el responsable directo de eficacia de control, cualquiera de estas interacciones desconocidas y erróneamente equiparadas, pueden ser responsables del fracaso de la operación (Ruver 2011).

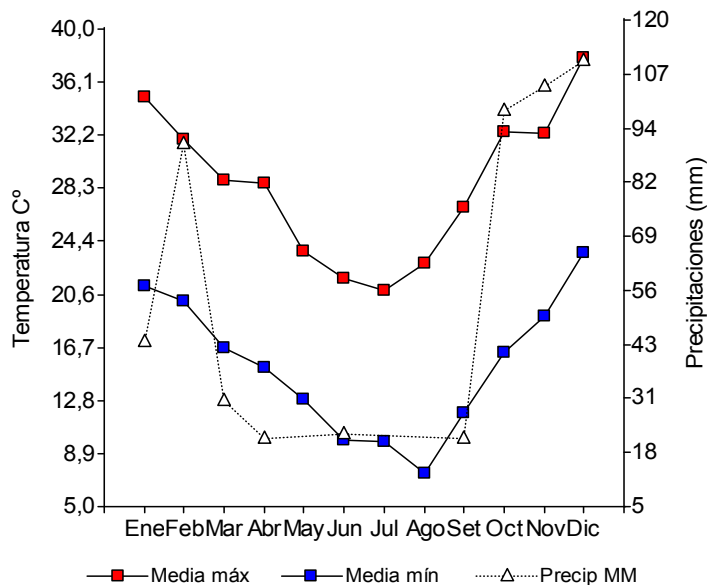


Grafico 11. Registro de precipitaciones mensuales con temperaturas medias máximas y mínimas.

7.5.2 Índice de Área Foliar (IAF)

La falta de agua se concentró en marzo y abril sin afectar el normal crecimiento del cultivo, esto recae en plantas de buen porte con alta densidad de hojas. Por entonces se procedió a medir el índice de área foliar (IAF), al momento el cultivo se encontraba en principios de llenado de grano (R5) con una altura de 91 cm, sin daños por plagas y libre de malezas, se percató de la presencia de enfermedades foliares. El método arrojó un valor de $3,86 \pm 0,9$; y se ubica por encima de los valores reportados por Perotti y Gamundi (2006), que sugieren índices de área foliar que no deben bajar de 3,5 a 4 para no afectar el potencial de rendimiento. La obtención del IAF se basó en el método del área específica de la hoja (AEH) (Marani y Levi, 1973; página 17). Furness et al., (1998) hacen referencia a cobertura como el grado de distribución de una pulverización de plaguicidas sobre un objetivo o destino. La implicación biológica de este concepto es que los aumentos de cobertura incrementan la probabilidad de que una plaga se encuentre con el pesticida, por ello decir aplicación "por hectárea" tiene a menudo muy poca relación con el área de destino a pulverizar en donde índices de área foliar de los cultivos o de malezas pueden variar desde fracciones (malezas pre-emergente en la fase de cotiledones) a > 5 (etapa final de los cultivos de cereales).

El día 17 de febrero de 2013, se realizó la primera de las dos series de ensayos previstas para el año, bajo condiciones ambientales acordes a la fecha y que al momento fueron adquiridas de la estación meteorológica instalada en el hangar de la firma Ricardo y Armando Diruscio Fumigaciones Aéreas S.R.L (tabla 34). Desde el comienzo al final de los ensayos no se registraron notables cambios en cuanto a

temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y presión atmosférica. De todas maneras, Pérez (s.f.) comenta que siempre es adecuado un viento ligero para las aplicaciones con gotas pequeñas, explica que el movimiento del aire hacia la hoja de la planta tiene lugar en su contorno ya que no la puede atravesar, este fenómeno es lo que evita que muchas gotas pequeñas se depositen, por tal razón las gotas pequeñas no son recogidas eficientemente por colectores grandes, especialmente si no hay flujo de aire hacia ellas y las gotas más grandes tienen poca capacidad de penetración e impactan sobre el primer obstáculo que encuentran.

Tabla 34. Condiciones ambientales desde las 13:00 a 17:00 h.

Registros estación meteorológica							
17/02/2013	viento km.h ⁻¹		Temperatura °C			% HR	Presión
Horario	prom	máx	prom	min	max	prom	(mBar)
13:00	7,1	8,6	33,7	30,8	35,8	50	1004
14:00	6,0	11,5	31,8	31,0	32,4	48	1003
15:00	6,7	8,6	32,1	31,2	32,7	46	1002
16:00	6,7	8,2	32,5	32,3	32,9	46	1001
17:00	6,2	9,3	31,9	31,3	32,8	49	1001

7.6 Introducción al análisis descriptivo

En el actual año en estudio (2013) como los anteriores, se continúa ubicando los ensayos en horarios con temperaturas máximas diarias y valores de humedad ambiente críticos, de esta manera se trató en lo posible de que las condiciones ambientales limitantes ejerzan su efecto en el comportamiento y viabilidad del asperjado. Como lo indica el gráfico 11, los registros de temperatura y precipitaciones fueron cambiando entre campañas, pero no lo han hecho sustancialmente entre tratamientos de un mismo año. Ante la posibilidad de encontrar situaciones con elevada variabilidad de varianzas, se recurre a la transformación del conjunto de datos a escala logarítmica (ln) para subsanar los inconvenientes que trae aparejado trabajar con datos no normales. Se construyeron como punto de partida, dos gráficos de distribución empírica que ofrece comparar datos observados y observados transformados mediante la variable cobertura (imp.cm⁻²), como es el comportamiento distribucional a escala logarítmica (gráfico 12).

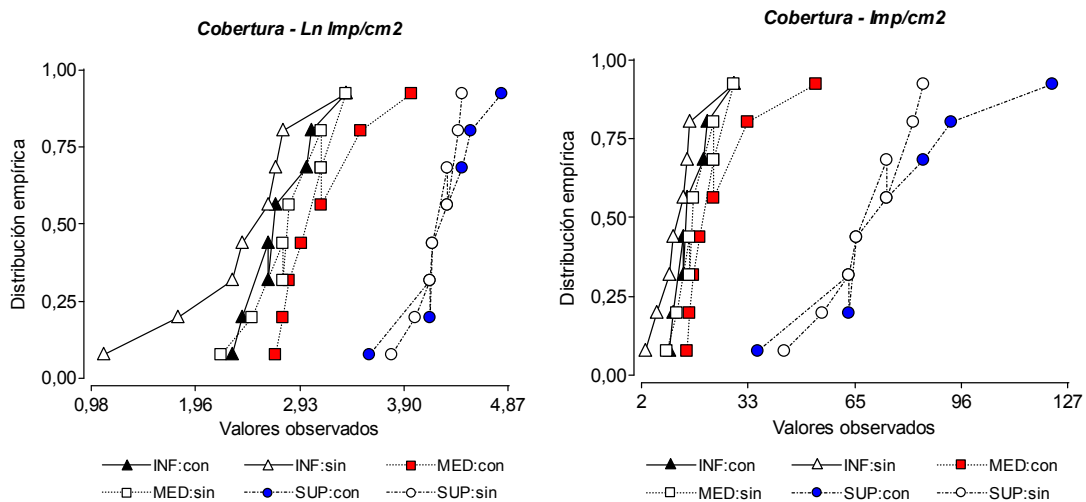


Gráfico 12. Comparación entre datos observados vs transformados a ln.

La variable imp.cm^{-2} es el parámetro del asperjado que los lectores o técnicos en general acuden primero si se quiere dar un diagnóstico rápido del estado del espectro en ese momento, además de que a campo la única herramienta existente hoy en forma inmediata son las tarjetas sensibles y la lupa para contabilizar los impactos. De modo que transformar una variable para su correcto estudio, requiere que las demás también lo hagan si se quiere luego emitir juicios comparativos precisos y estadísticamente significativos.

7.6.1 Análisis de Componentes Principales (ACP)

El gráfico 14 corresponde al biplot que describe el ACP, se observa el mismo patrón de puntos de año a otro: los estratos medio e inferior tienen valores negativos en contraposición al estrato superior, esto explica que el estrato superior se asocia a valores mayores de cobertura (imp.cm^{-2}) y tamaños de gotas ($Dv_{0.50}$, $Dv_{0.10}$ y $Dv_{0.90}$) frente a los estratos medio e inferior, en los que las gotas de un determinado tamaño pasan y quedan en las hojas internas del cultivo. Los depósitos de FS presentan el mismo panorama que las demás variables, están fuertemente asociados al estrato superior independientemente de los caudales con y sin el aditivo, lo que se quiere explicar, es que las hojas apicales al interferir con el normal trayecto del asperjado, quedan impregnadas del activo y se contraponen al comportamiento de los depósitos de FS en los estratos medio e inferior al tomar valores negativos.

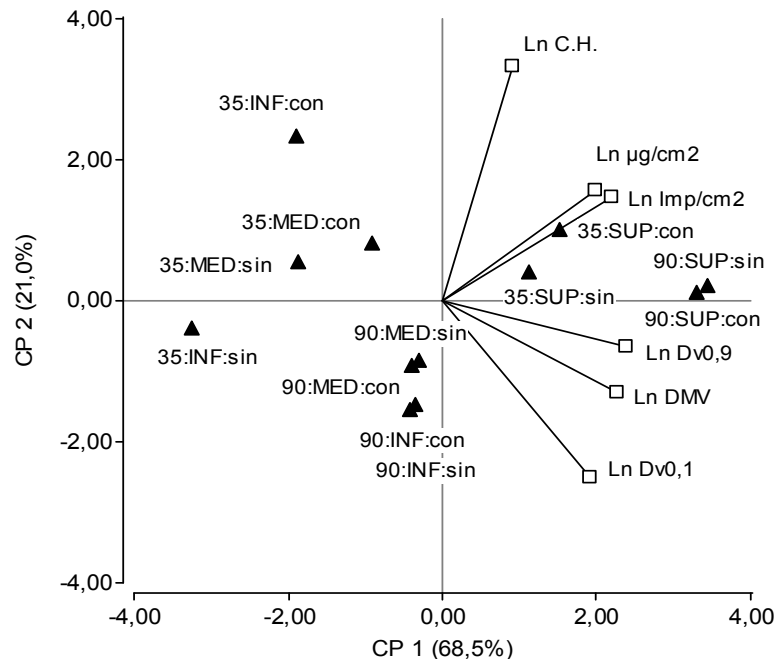


Grafico 13. Biplot correspondiente al ACP que involucra a todas las variables y su influencia en el comportamiento de los diferentes asperjados con y sin el uso del aditivo. Ref: SUP=superior, MED=medio, INF=inferior.

En la tabla 35 la máxima correlación se observa entre los parámetros del espectro ($Dv_{0.10}$, $Dv_{0.50}$ y $Dv_{0.90}$), por otro lado, el número de impactos se aferra al DMV y $Dv_{0.90}$, esto quiere decir que al momento de evaluar una pulverización además de considerar al DMV también se debe tener en cuentas las gotas más grandes. Con respecto a los depósitos de FS, también ofrecen una fuerte afinidad con los parámetros descriptos

anteriormente, reforzado con una fuerte presencia del número de impactos, es evidente que se pueda encontrar la mayor cantidad de activo en las gotas pertenecientes al DMV y $Dv_{0.90}$, con la desventaja que las gotas más grandes provienen de los altos caudales y son las retenidas en las hojas apicales. Algo muy particular sucede con el coeficiente de homogeneidad (CH), en donde se puede apreciar la total falta de afinidad con los parámetros del espectro de gotas, pero se manifiesta en forma positiva con los depósitos de FS.

Tabla 35. Matriz de coeficientes de correlación resultantes que explican el grado de afinidad entre los parámetros del espectro y la FS con las variables de clasificación caudal, aditivos c/s y estratos.

	Imp. cm^{-2}	$Dv_{0.10}$	DMV	$Dv_{0.90}$	CH	$\mu g cm^{-2}$
Imp. cm^{-2}	1,00					
$Dv_{0.10}$	0,47	1,00				
DMV	0,71	0,95	1,00			
$Dv_{0.90}$	0,84	0,87	0,97	1,00		
C.H.	0,48	-0,03	0,22	0,27	1,00	
$\mu g cm^{-2}$	0,94	0,36	0,58	0,74	0,36	1,00

8 RESULTADOS DEL ANAVA PARA CADA VARIABLE

Se probaron los mismos modelos que para el año 2012, considerando finalmente que fue necesario transformar las variables $imp.cm^{-2}$ y $\mu g.cm^{-2}$ a escala logarítmica, permitiendo trabajar sin los inconvenientes que traen aparejados una distribución de errores asimétricos.

8.1 DETERMINACIONES FISICAS

8.1.1 Ln $Imp.cm^{-2}$. Numero de impactos por centímetro cuadrado

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2_{Aj}	CV
Ln $Imp.cm^{-2}$	48	0,78	0,76	12,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Estrato	23,89	2	11,94	71,68	<0,0001
Aditivos c/s	0,72	1	0,72	4,33	0,0435
Caudal*Aditivos c/s	0,72	1	0,72	4,33	0,0435

Respecto a las evaluaciones anteriores realizadas durante el año 2012, la contribución del factor estrato a la partición de la suma de cuadrados -que representa la división del espectro de gotas en número de impactos con sus correspondientes tamaños- resulta muy superior para esta variable. Esto se debe a que el experimento conducido en el año 2013 para pulverización terrestre involucra solo dos tratamientos que ya se habían verificado lograban diferente cobertura de gotas; se considera como bajo caudal ($35 L.ha^{-1}$) y la otra como alto caudal ($90 L.ha^{-1}$).

El cultivo deja filtrar gotas, pero en la medida que avanzan el número de impactos comienza a descender debido a la disposición de las hojas y altura de la planta de soja. Carmona (2005) explica cómo la arquitectura del cultivo de soja es diferente de otros

cultivos, su densidad foliar y disposición ejercen un efecto físico a modo de “paraguas” dificultando la llegada de las gotas al interior del cultivo.

Tabla 36. Resultados del ANAVA, estrato para imp.cm².

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,29105

Error: 0,1666 gl: 43

Estrato	Medias	n	E.E.	
INF	2,57	16	0,10	A
MED	2,98	16	0,10	B
SUP	4,23	16	0,10	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Evidentemente en la etapa anterior al involucrar cinco tasas de aplicación, se las puede categorizar como: bajos caudales a 20 y 30 L.ha⁻¹, a 40 L.ha⁻¹ se lo puede llamar caudal medio y los altos caudales 60 y 100 L.ha⁻¹ con 10, 20 y 40 litros de separación entre uno y otro caudal. Con esto se quiere llegar, a que las comparaciones de medias resultaban contrastantes entre un extremo y otro, o sea entre los bajos y altos caudales, sin embargo entre la tasa media y las extremas existe un solapamiento de espectros, lo cual provoca una transición entre asperjados hasta poder distinguirse perfectamente unos de otros. Por entonces, las comparaciones bien definidas se dan solamente en valores de tasas de aplicación muy distantes una de otra, como se plantea en esta etapa de ensayos. Analizando la tabla 37, el aditivo evita pérdidas por evaporación, resultando en la tasa 35 L.ha⁻¹ un crecimiento en el número de imp.cm² que iguala a 90 L.ha⁻¹ con y sin, pero que supera estadísticamente a 35 L.ha⁻¹ sin aditivo. De esta manera, el aumento en la población de gotas, es explicada por la intervención del aditivo y no por aumentos en la tasa de aplicación.

Tabla 37. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s para imp.cm².

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,33608

Error: 0,1666 gl: 43

Caudal	Aditivos c/s	Medias	n	E.E.		
35	sin	3,02	12	0,10	A	
90	sin	3,26	12	0,10	A	B
90	con	3,26	12	0,10	A	B
35	con	3,51	12	0,10		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el año anterior (2012), las diferencias con significancia estadística entre impactos se manifestaron entre bajo y alto caudal (30 y 100 L.ha⁻¹) con el efecto caudal como causante del aumento de gotas y no por la presencia del aditivo, resultando los demás caudales iguales entre sí, por el contrario, los resultados en la tabla 35 indican claramente que las diferencias estadísticas entre 35 L.ha⁻¹ con y sin aditivo son explicadas por la presencia del coadyuvante y no por un aumento de caudal, siendo que 35 L.ha⁻¹ con es igual estadísticamente a 90 L.ha⁻¹ con y sin aditivo.

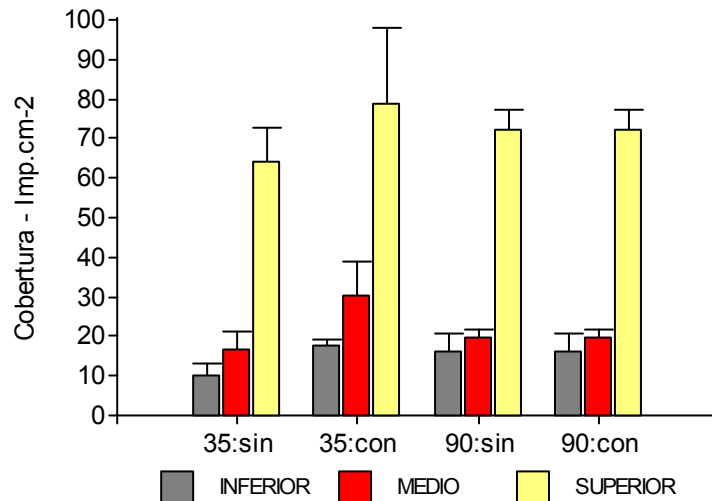


Grafico 14. Posicionamiento de los imp.cm^{-2} en los tres estratos y los efectos provocados por el agregado del aditivo.

El grafico 14, ilustra lo analizado en las salidas del ANAVA anteriores (tablas 36 y 37) en donde se observa claramente como la tasa 35 L.ha^{-1} con aditivo, presenta un pico de crecimiento en número de impactos en los tres estratos frente a los demás caudales, los 90 L.ha^{-1} con y sin permanecen iguales, para finalizar con 35 L.ha^{-1} sin aditivo la menor cantidad de imp.cm^{-2} . No obstante, es prematuro tildar al bajo o alto caudal como más o menos eficiente por un determinado número de impactos, cuando en realidad en este mismo trabajo está en discusión si el hecho de diluir el trazador en 30 y 90 L.ha^{-1} se manifiesta también en el número de impactos, otorgando mayor o menor concentración del activo por unidad de superficie de hoja a menor o igual número de impactos provenientes del bajo caudal.

8.1.2 DMV o $Dv_{0.50}$ - Diámetro de la mediana volumétrica.

Diámetro que divide el volumen de pulverización en dos partes volumétricamente iguales conteniendo gotas más pequeñas o más grandes que este valor.

Medidas de ajustes del modelo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2_{Aj}	CV
DMV	48	0,71	0,67	15,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Caudal	69084,19	1	69084,19	48,63	<0,0001
Estrato	65566,63	2	32783,31	23,08	<0,0001
Caudal*Estrato	9290,63	2	4645,31	3,27	0,0479

Cunha et al., (2012) exponen lecturas de tarjetas hidrosensibles, donde el mayor número de gotas se produjo en la gama de diámetros de clase 200 a $250 \mu\text{m}$ de diámetro y del 41 al 68% de las gotas totales medidas estaban en el rango de 200 a $300 \mu\text{m}$ de diámetro. Con este comportamiento de los DMV generados por los distintos espectros

aquí planteados, se cumple lo escrito por diferentes autores, entre ellos Metcalf (1980) que sostiene que aplicaciones convencionales de alto volumen con rangos de tamaños de gotas que superan los 250 μm depositan entre 25-50% de la pulverización sobre la superficie de la planta y aproximadamente el 1% de esto actualmente alcanza la plaga objetivo debido a pérdidas por escorrentía de la superficie de las hojas. Entonces, los altos volúmenes en aplicación de pesticidas son inviables desde el punto de vista económico y muchos de estos pesticidas aplicados no causan mortalidad de la plaga (Giles 1992).

Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 38, la tasa 35 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ genera gotas que terminan en impactos entre 180 y 250 μm que son los únicos tamaños encontrados en los tres estratos, de mayor a menor y del ápice hasta la base, esto quiere decir que es el rango de tamaños que ofrece la distribución más eficiente que involucran al estrato superior, medio e inferior. Contrariamente, los impactos superiores a 250 μm fueron hallados solamente en los estratos superior y medio que corresponden a la tasa de 90 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ que se diferencia estadísticamente del caudal menor. Villalba; Farinha et al., (2009) citando a Marochi, (1993); Lima y Machado Neto (2001), sostienen que actualmente hay una tendencia a reducir el volumen de pulverización aplicado, lo que resulta en menor cantidad de agua al cultivo, obteniendo por lo tanto la reducción de los costos de aplicación y aumento de la capacidad operativa de la maquinaria detectándose mejoras en la eficiencia de control o se mantenían iguales, pero nunca la eficiencia fue menor a bajas tasas de aplicación.

Chapple et al., (1997) advierte que las boquillas hidráulicas poseen limitaciones y se puede cometer errores en los ajustes que alteran sustancialmente las características del asperjado, por entonces es perfectamente factible aplicar un asperjado muy fino ($<100 \mu\text{m}$) con boquillas de orificio pequeño logrando una alta concentración del ingrediente activo, pero la nube de pulverización resultante es propensa a la deriva (Bache y Johnstone, 1992) con baja penetración dentro del cultivo.

Tabla 38. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para DMV.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=38,03230

Error: 1420,6518 gl: 42

Caudal	Estrato	Medias	n	E.E.		
35	INF	179	8	13,33	A	
35	MED	206	8	13,33	A	B
90	MED	244	8	13,33	B	C
35	SUP	250	8	13,33		C
90	INF	266	8	13,33		C
90	SUP	354	8	13,33		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El coadyuvante actúa de varias maneras, una de ellas es reduciendo la tensión superficial del agua de 72 a 23 ± 2 dinas. cm^{-2} (Combella 1996) logrando que las gotas aumenten la superficie de contacto logrando mayor adherencia en la superficie foliar con un aumento en la tasa de penetración al interior de la hoja, otra característica importante es de proteger el asperjado contra pérdidas por evaporación en condiciones de baja humedad relativa ambiente, entonces sucede que el espectro mantiene su tamaño desde que sale de la boquilla hasta que llega al objetivo, es por ello que las gotas de agua pura pierden el diámetro durante la trayectoria y terminan evaporándose por completo o llegan al objetivo minimizadas en número y tamaño.

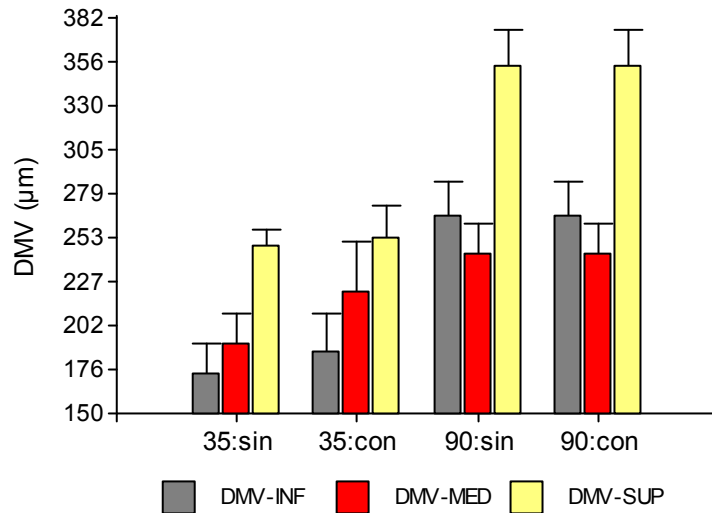


Grafico 15. División del espectro de gotas en diferentes tamaños del DMV resultante de la variabilidad ejercida por el estrato superior, condicionando los estratos medio e inferior.

Auweter et al., (2010) contribuyen aportando que lo correcto es utilizar buenos aditivos para mejorar la distribución e incrementar el área de depósito final hasta un factor de 20 veces comparado con el tamaño inicial de gotas. Para ello nos valemos del grafico 15, donde se puede observar un leve engrosamiento en las gotas dirigidas a las hojas del medio y basales donde se observa claramente que el coadyuvante ejerce su efecto solo en la tasa menor, mientras que el alto volumen permanece inmutable ante el agregado del aditivo.

8.1.3 $Dv_{0.90}$ - Diámetro volumétrico 0.90

Diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado con tamaños mayores que este.

Medidas de ajustes del modelo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2_{Aj}	CV
$Dv_{0.90}$	48	0,81	0,78	16,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Caudal	151088,52	1	151088,52	51,26	<0,0001
Estrato	343921,63	2	171960,81	58,34	<0,0001
Caudal*Estrato	19050,79	2	9525,40	3,23	0,0495

Como se viene afirmando, la distribución del tamaño del espectro agrícola se atribuye casi en su totalidad al tipo de boquilla y a diferencia del DMV, el $Dv_{0.90}$ al tener brechas un poco más amplias entre impactos de cada caudal, se produce una separación con diferencias estadísticas significativas entre ambos espectros de gotas en cada estrato. Dicho de otra manera, en el estrato superior 35 L.ha⁻¹ se diferencia estadísticamente de 90 L.ha⁻¹ por tener impactos de menor diámetro que colaboran con el espectro en la distribución del trazador, lo mismo sucede para el medio e inferior.

Tabla 39. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para $Dv_{0.90}$.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=54,78136

Error: 2947,4613 gl: 42

Caudal	Estrato	Medias	n	E.E.
35	INF	213	8	19,1 A
35	MED	246	8	19,1 A
90	INF	313	8	19,1 B
90	MED	317	8	19,1 B C
35	SUP	368	8	19,1 C
90	SUP	534	8	19,1 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Marcar esta diferencia entre los $Dv_{0.90}$, aporta su valor al momento de elegir una determinada boquilla o espectro que sea capaz de generar gotas por debajo de los 350 μm , de lo contrario gotas muy grandes o $>400 \mu\text{m}$ llevan la mayor cantidad del activo y además son interceptadas en las hojas apicales. Se concuerda con Ruver (2011) explicando que la tendencia de usar grandes gotas con el fin de reducir el riesgo de pérdidas por deriva que comprometen la contaminación ambiental, puede ser perjudicial para la eficiencia del tratamiento, porque las gotas gruesas proporcionan menor deposición en la aplicación de destino en comparación con gotas finas. En algunos casos, el simple aumento de la tasa de aplicación puede no proporcionar un control efectivo debido a la limitante que ofrecen la disposición de las hojas a la deposición del asperjado, además utilizar un sistema que proporcione gotas grandes son más propicios para el efecto paraguas (Cunha y Calles 2006, citado por Ruver 2011).

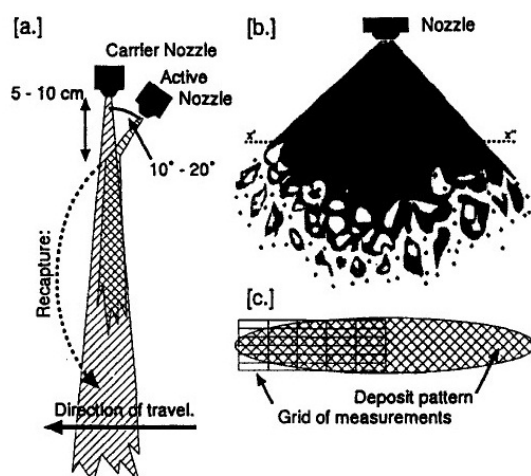


Figure 2. Diagrammatic representation of: (a) arrangement of active and carrier nozzles; (b) axes of measurement through spray cloud; and (c) grid of measurement of drop spectra

Figura 15. Representación esquemática. Índice (c.) Rejilla de medición del espectro de gotas. Fuente: Chapple et al., (1997).

Con el mismo fundamento pero desde otro punto de vista, Chapple et al., (1997) plantean que si las gotas $<150 \mu\text{m}$ son las más propensas a deriva (Bache y Johnstone 1992) y las $>300 \mu\text{m}$ tienen una baja probabilidad de ser retenidas por superficies de las plantas (Auweter et al., 2010), la fracción de gotas menos peligrosas para el medio ambiente son las que están contenidas entre 150 y 300 μm de diámetro de gotas en vuelo. Sin embargo, a partir de bioensayos y otros datos (Adams et al., 1990; Frick, 1970; citados por Chapple et al., 1997), la mayoría de las gotas eficientes son

probablemente $<150 \mu\text{m}$, los mismos autores aportan la figura 15 donde se desprende que, aunque aproximadamente el 79% del número de gotas caen dentro de esta categoría "eficiente" y éstas constituyen sólo el 17% el volumen de pulverización, a la inversa, aproximadamente el 5% del número de gotas que son $>300 \mu\text{m}$ constituyen el 44% del volumen de la pulverización. Estas gotas más grandes son mucho menos probable que sean retenidas por la superficie de las hojas y por lo tanto derrochan ingrediente activo e incluso si es retenido por el objetivo, contienen un gran exceso del ingrediente activo necesario para el control de plagas. Tales gotas serían más útiles si se dispersan como un número más pequeño de unidades igualmente tóxicas (Chapple et al., 1997).

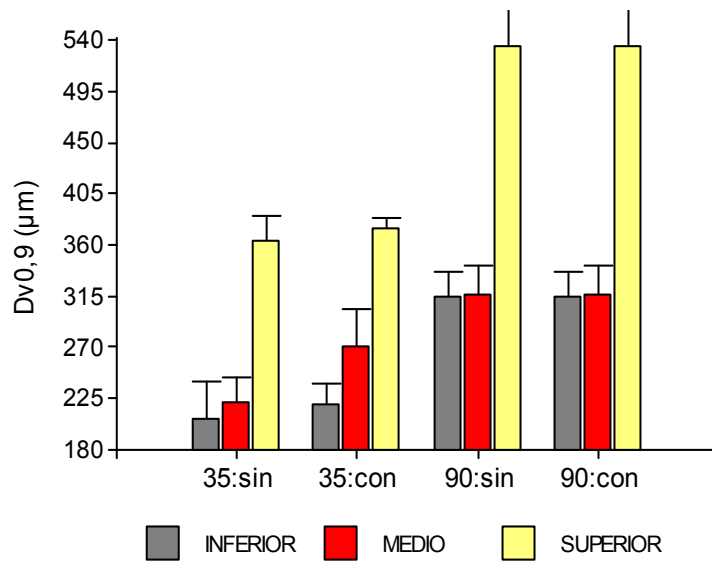


Grafico 16. División del espectro de gotas en diferentes tamaños del $Dv_{0,90}$ resultante de la variabilidad ejercida por el estrato superior, condicionando a los estratos medio e inferior.

8.1.4 $Dv_{0,10}$ - Diámetro volumétrico 0,10

Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

Medidas de ajustes del modelo

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2_{Aj}	CV
$Dv_{0,10}$	48	0,56	0,53	16,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Caudal	28763,02	1	28763,02	43,94	$<0,0001$
Estrato	7948,17	2	3974,08	6,07	0,0047

Debido a la fuerte relación existente entre los parámetros que describen al tamaño de los diferentes espectros de gotas, los corrimientos que se observan en aumentos o disminuciones en los diámetros se centran en el DMV para su observación y/o corrección, sin embargo, no hay que descuidar los extremos del espectro, es decir los parámetros $Dv_{0,10}$ y $Dv_{0,90}$ que ante cambios de boquillas o cambios en la presión de

trabajo para una misma boquilla pueden resultar en tamaños de gotas perjudiciales, por lo tanto es relevante realizar un minucioso análisis de los tamaños que conforman los extremos de cada asperjado, pues de ello depende riesgos o control de deriva, eficiencia en la penetración y sobre todo tratar de evitar grandes deposiciones del activo en las hojas apicales del cultivo. Cunha et al., (2012) en referencia a Balsari y Marucco (2009); Panneton, Theriault, y Lacasse (2001), han estimado que del total del volumen pulverizado, la cantidad de pesticida depositado en el objetivo no es más del 55% y del volumen restante, el 25% se va al suelo por gotas grandes y el otro 20% se pierde en el aire en forma de pequeñas gotitas, por entonces queda recurrir a un ajuste correcto de pulverizadores para mejorar su precisión y eficiencia, resultando en asperjados más específicos y uniformes que ayuden a prevenir un inadecuado control de plagas.

En este caso y en todos los anteriores, las alteraciones de tamaños se deben exclusivamente al tipo de boquilla y queda demostrado que hasta inclusive en la porción más pequeña del espectro de la tasa mayor (90 L.ha⁻¹) se desprenden gotas con tamaños que no logran llegar a hojas internas y basales del cultivo, por ello, examinar los Dv_{0.10} es tan importante como el DVM a la hora de seleccionar tamaños de gota correctos que aporten activo al interior y base del cultivo dejando la menor cantidad posible en las hojas superiores (tabla 40).

Tabla 40. Resultados del ANAVA, efectos caudal y estrato para Dv_{0.10}.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,88507

Error: 654,5975 gl: 44

Caudal	Medias	n	E.E.	
35	130	24	5,22	A
90	179	24	5,22	B

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=18,23041

Error: 654,5975 gl: 44

Estrato	Medias	n	E.E.	
MED	143	16	6,40	A
INF	149	16	6,40	A
SUP	173	16	6,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

El grafico 17 demuestra que el coadyuvante parece no tener efecto sobre la tasa 90 L.ha⁻¹, este comportamiento se puede deber a la gran desproporción existente entre soluto y solvente (200 cc coadyuvante: 90 L agua). Los impactos más grandes de 35 L.ha⁻¹ están en las hojas apicales y permanecen iguales (145 µm) con leves aumentos en los impactos medio e inferiores de 115 a 135 µm por efecto del coadyuvante. Taylor et al., (2004) agregan que el tamaño de gota y velocidad afecta la estructura de los depósitos y la facilidad de deriva de las gotas menores a 100 µm, que en este caso no forman parte del Dv_{0.10}.

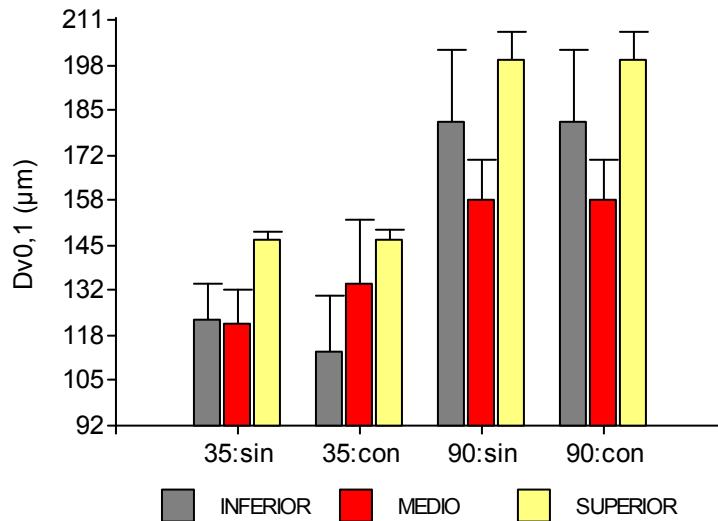


Grafico 17. División del espectro de gotas en diferentes tamaños del $Dv_{0,10}$ resultante de la variabilidad ejercida por el estrato superior, condicionando a los estratos medio e inferior.

Southcombe et al., (1997) coinciden y aseguran que es de gran importancia controlar el tamaño medio de las gotas, porque de ello depende la distribución del asperjado y evitar gotas por debajo de un diámetro de $100\ \mu\text{m}$ por su potencial de deriva, en cambio gotas muy grandes tienen tendencia a rebotar fuera de las hojas en el primer impacto, porque su energía cinética inherente es demasiado grande.

8.1.5 C.H. - Coeficiente de homogeneidad

Se realizó la exploración para hallar el modelo que describa el comportamiento del coeficiente de homogeneidad (CH) mediante el módulo MLGM. Como no se hallaron resultados con significancia estadística para ningún factor e interacción, se concluye que no existen diferencias estadísticas significativas entre las comparaciones de medias para la variable en estudio.

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R2	0
48	93,10	108,3	0,51	0,24	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	643,82	<0,0001
Caudal	1	0,93	0,3409
Estrato	2	0,95	0,3947
Aditivos c/s	1	2,53	0,1194
Caudal*Estrato	2	2,29	0,1145
Caudal*Aditivos c/s	1	2,53	0,1194

El motivo por el cual los resultados del análisis estadístico arrojan valores que son estadísticamente iguales, se debe a que ambas boquillas al ser del tipo cono hueco (D5/N13 y TXV 12), producen asperjados considerados muy homogéneos tratándose de pulverizaciones agrícolas (Marques 1994). Sendos espectros participan en los tres

estratos sin diferencias estadísticas significativas, que además la funcionalidad son las que definen el espectro homogéneo, superando el accionar del aceite como agente homogeneizador de tamaños de gotas.

Por lo tanto, lograr uniformidad en el espectro de gotas es apropiado y necesario. Según Cunha (2006), una aplicación eficiente se traduce en una cobertura adecuada con el tamaño de gota apropiado, las cuales si son muy grandes producen buena cobertura sobre la superficie pero al presentar baja adherencia se pierden por arrastre hacia el suelo, gotas demasiado pequeñas por lo general se obtiene una muy buena cobertura y la distribución de pulverización es uniforme, sin embargo, al ser muy pequeñas pueden evaporarse en condiciones de baja humedad relativa o ser transportadas por la corriente de aire. Estudios de evaluación visual y automática que proporcionaron tarjetas hidrosensibles analizadas por Cunha et al., (2012), mostraron claras diferencias entre la distribución de varios patrones de tamaños de gotas, quedando la pulverización fina como responsable de proporcionar distribuciones uniformes de depósitos que las gotas más grandes. Anthonis et al., (2006) haciendo mención a Ghlich (1985) en que elevar las tasas de aplicación desencadena un crecimiento en la heterogeneidad del espectro de gotas perjudicando la uniformidad en la deposición de agentes pesticidas.

8.2 DETERMINACIONES QUIMICAS

8.2.1 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS - Utilización de fluoresceína sódica (FS) como marcador

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R ² 0	R ² 1
48	297,68	334,28	28,05	0,79	0,79

AIC y BIC menores implica mejor

Sigma residual 0,04

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	36	245,14	<0,0001
Caudal	1	36	7,38	0,0101
Estrato	2	36	100,07	<0,0001
Caudal*Estrato	2	36	4,53	0,0175
Estrato*Aditivos c/s	3	36	5,44	0,0034

Analizando la tabla 41, solo al estrato superior se le acreditan diferencias estadísticas entre 35 y 90 L.ha⁻¹ por las cantidades depositadas de fluoresceína sódica, siendo el efecto caudal el causante de la variabilidad manifestada y en este caso 35 L.ha⁻¹ logra llevar y retener la mayor cantidad del trazador, a su vez también los tres estratos se separan significativamente entre sí, situación que se buscaba y no se presentó en el año 2012, el motivo pudo haber sido las condiciones ambientales del momento que desfavorecieron el ingreso de mayores deposiciones de FS, como ser una velocidad leve del viento que no movió las hojas del cultivo lo suficiente para facilitar la entrada de un mayor número de gotas y agravada aún más por la baja humedad ambiente (tabla 16). En cambio en el presente año, la sumatoria del cambio a un aditivo con diferente performance, incrementos en la velocidad del viento y humedad ambiente

del 50%, favorecieron notablemente la penetración de gotas al interior del cultivo. Por otro lado, este comportamiento no se debe a una mayor cobertura de impactos logrados, ya que estos presentaron igualdad estadística (tabla 35), sino por una mayor concentración del trazador en el espectro de gotas con un DMV más chico (tabla 38).

Tabla 41. Resultados del ANAVA, caudal*estrato y estrato*aditivos c/s para $\mu\text{g.cm}^{-2}$ FS.

$\mu\text{g.cm}^{-2}$ - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Estrato

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Estrato	Medias	E.E.			
35	SUP	54,39	4,98	A		
90	SUP	36,67	3,35		B	
35	MED	9,66	2,23			C
90	MED	7,84	2,80			C D
90	INF	4,08	0,89			D
35	INF	3,55	0,62			D

$\mu\text{g.cm}^{-2}$ - Medias ajustadas y errores estándares para Estrato*Aditivo c/s

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Estrato	Aditivo c/s	Medias	E.E.			
SUP	sin	52,67	5,11	A		
SUP	con	41,96	3,40	A		
MED	sin	9,31	2,00		B	
MED	con	8,47	2,74		B	C
INF	con	4,55	0,77			C
INF	sin	2,34	0,61			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Continuando con la interacción estrato*aditivo c/s de la misma tabla, se contempla las deposiciones de FS también separadas significativamente por estrato aunque no en su totalidad, en el estrato inferior el agregado del aditivo logró llevar mayor cantidad de FS resultando en diferencias significativas entre con y sin. Las propiedades del aditivo colaboraron con el ingreso de un 50% más de FS al estrato inferior, sin el incremento en número de impactos y con un DMV de $\pm 170 \mu\text{m}$ que se repite constantemente en el estrato inferior en todas las situaciones. Este constante comportamiento deja testimonio que la variabilidad de las deposiciones de FS, mayores arriba, menores al medio y abajo, es avalada justamente por la disposición de las hojas de la planta de soja o a su arquitectura como la describe Carmona (2005).

Palladini (2000) afirma que la combinación de trazadores y adyuvantes tiene ventajas para el análisis visual en la deposición y determinación de los depósitos, porque los compuestos prácticamente no alteran las propiedades físicas y químicas del caldo que limiten la absorción y la degradación. Existen otros escenarios en donde llegar al blanco se ve dificultado por diversos obstáculos, como lo es el trabajo de Ruver (2011) donde evaluó el rendimiento de boquillas de pulverización de tipo doble abanico plano, doble abanico plano con inyección de aire, abanico plano deflectora y los modelos de cono lleno y hueco con inyección de aire en la transposición de herbicidas a través de cantidades crecientes de rastrojos de caña de azúcar utilizando el tinte trazador Azul Brillante con caudales que van de 150 a 208 L.ha⁻¹. La misma autora encontró que las boquillas de tipo cono hueco y de cono hueco con inducción de aire en comparación con las demás, tenían el depósito más alto en toda las cantidades de cobertura analizados,

incluyendo en la de mayor cantidad como en 10 t ha^{-1} . Nordbo et al., (1995) encuentran que los mejores resultados de deposición de pulverización en plantas de avena sativa y mostaza blanca provienen de una boquilla hidráulica convencional con calidad de asperjado fino, los resultados fueron los depósitos promedio más altos y con la variabilidad más baja, por otro lado aplicaciones en avena con boquilla de baja deriva, produjeron una deposición media a pobre y una alta variabilidad con la mayoría de los ajustes de presión y velocidad.

La combinación ideal de boquilla y presión deberá maximizar la eficiencia de pulverización logrando incrementos en la deposición y transferencia de dosis letal al blanco (Smith et al., 2000).

Con el uso de agentes tensioactivos, Baur (2006) citado por Yu et al., (2009) encontraron que gotas más pequeñas habían mejorado la retención y difusión de manera más eficiente en las hojas que gotas más grandes, mejorando la eficacia biológica. Coincidiendo con la SDTF (2001) existen otros factores además de los aditivos que provocan modificaciones en los asperjados, esto nos dice que no es necesario aumentar considerablemente la tasa de aplicación para alcanzar el interior del cultivo, ya que las altas tasas de aplicación producen una saturación o superposición de gotas en el estrato superior, a la inversa, bajar la tasa desmedidamente disminuye considerablemente el tamaño de gotas y se aumenta el riesgo de pérdidas por arrastre o por evaporación.

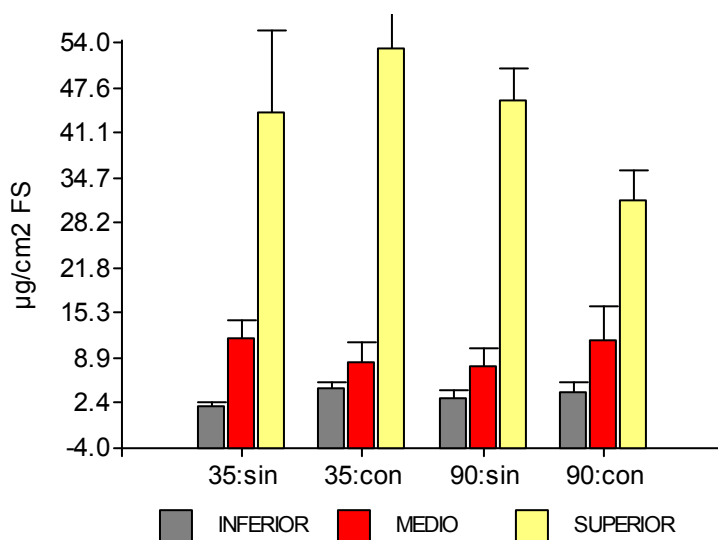


Grafico 18. Distribución de fluoresceína sódica (FS) cuantificada en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ a través de los diferentes estratos del cultivo por los caudales con y sin el aditivo.

El gráfico 18 muestra que las hojas del estrato superior en comparación con las hojas internas, están totalmente expuestas a las condiciones ambientales reinantes del momento, es aquí donde se pone a prueba las propiedades del coadyuvante, por entonces, en el grafico 18, se observa que $35 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ con aditivo lleva y retiene la mayor cantidad del activo, se fundamentaría en una mayor cantidad de gotas, levemente engrosadas y a su vez protegidas por el aditivo.

8.3 Pulverización aérea

8.3.1 Introducción al análisis descriptivo

El día 18 de febrero de 2013, se realizó la tercera y última serie de ensayos durante condiciones ambientales que se pueden observar en la tabla 42.

Los registros de datos ambientales fueron captados por la estación meteorológica instalada en el hangar de la firma. Desde el comienzo al final de los ensayos y por lo que se puede ver se registraron notables cambios en cuanto a humedad relativa y velocidad del viento en comparación con el año anterior. Estos cambios, pueden favorecer la viabilidad y movilidad del asperjado reflejándose en mayor número de gotas y deposiciones en los estratos internos del cultivo.

Tabla 42. Condiciones ambientales desde las 13:00 a 17:00 h.

Registros estación meteorológica							
18/02/2013	Viento km.h ⁻¹		Temperaturas Cº			% HR	Presión
horario	prom	max	prom	Min	Max	prom	(mBar)
13:00	9	11,5	34,5	34,0	35,1	56	998
14:00	10,4	12,6	35,0	34,7	35,4	52	997
15:00	11,5	13,3	35,4	34,	35,8	50	996
16:00	12,6	14	35,4	35,3	35,5	50	995
17:00	10,8	12,9	35,3	35,0	35,8	50	995

En el actual año en estudio (2013) como los anteriores, se continúa ubicando los ensayos en horarios con temperaturas máximas y valores de humedad ambiente críticos, de esta manera se trató en lo posible de que las condiciones ambientales ejerzan su efecto limitante en el comportamiento y viabilidad del asperjado. Ante la posibilidad de encontrar situaciones con elevada variabilidad de varianzas y evitar los inconvenientes que trae aparejado trabajar con datos no normales, se recurre a la transformación de datos a escala logarítmica (Ln) en la variable que lo requiera.

Se construyeron dos gráficos de distribución empírica que permiten comparar datos observados y transformados mediante la variable imp.cm^{-2} y por lo que se puede observar será necesario transformar valores si la variable lo requiera (gráfico 19).

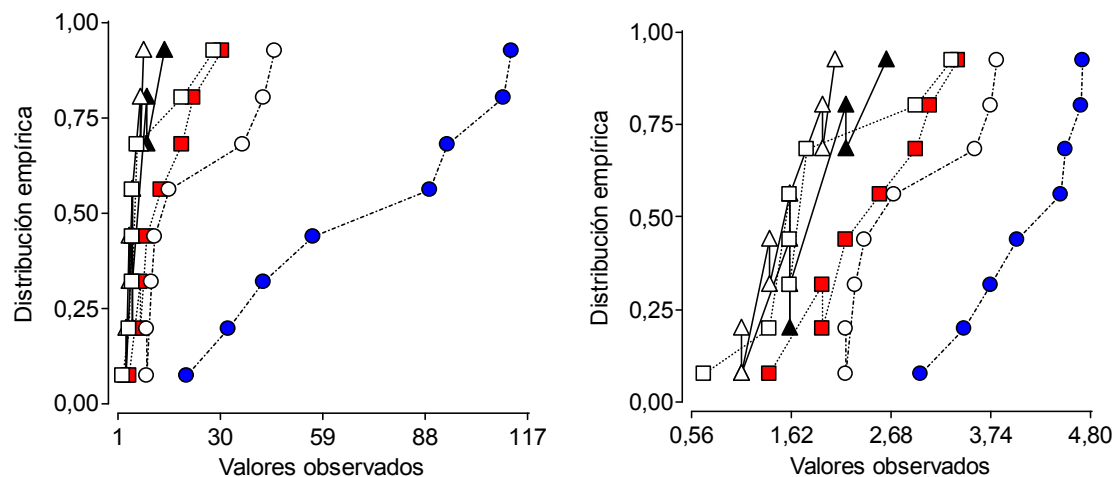


Grafico 19. Comparaciones entre valores sin transformar (izq.) y transformados a escala logarítmica (der.), por estrato con y sin el aditivo.

8.3.2 Análisis de componentes principales (ACP)

El gráfico 20 corresponde al biplot que describe el ACP, donde se observa el mismo patrón de puntos de un año a otro y de terrestre a aéreo, los estratos medio e inferior presentan una relación más estrecha con la tasa menor y al tomar valores negativos, se contraponen al estrato superior, esto explica que el estrato superior se asocia a valores mayores de cobertura (imp.cm^{-2}) y tamaños de gotas ($Dv_{0,50}$, $Dv_{0,10}$ y $Dv_{0,90}$) provenientes de la tasa más alta frente a los estratos medio e inferior, en los que las gotas de un determinado tamaño pasan y quedan en las hojas internas del cultivo.

Los depósitos de FS presentan el mismo panorama que las demás variables, están fuertemente asociados al estrato superior independientemente de los caudales con y sin el aditivo, lo que se quiere explicar, es que las hojas apicales al interferir con el normal trayecto del asperjado, quedan impregnadas del activo regulando el paso de FS a los estratos medio e inferior.

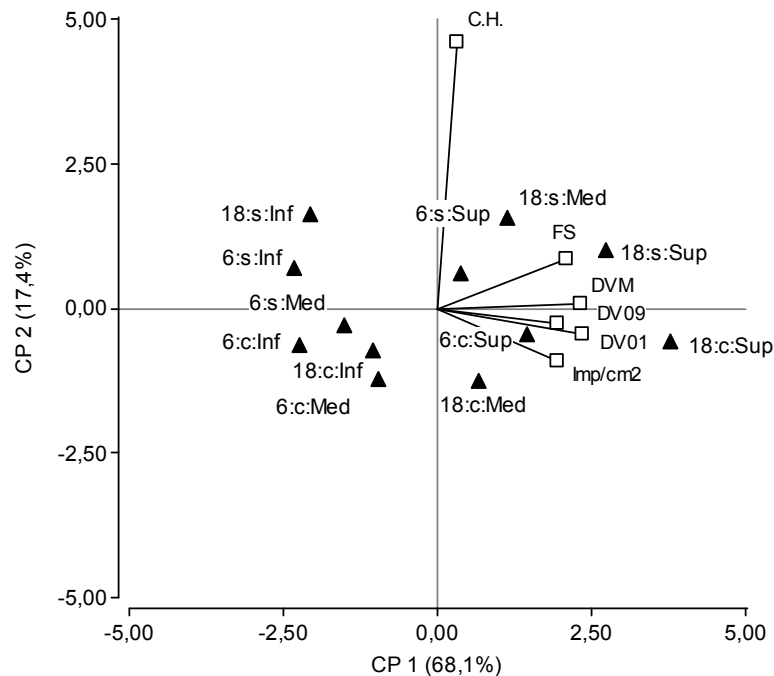


Gráfico 20. Biplot del ACP que ubica en un plano exploratorio, al grupo de efectos fijos y su afinidad con las variables respuesta. Ref.: s=sin aditivo; c=con aditivo; Sup=estrato superior; Med=estrato medio; Inf=estrato medio.

El siguiente cuadro corresponde a la matriz de correlación que está conformado por los coeficientes que miden el grado de afinidad existente entre los parámetros del pulverizado y los depósitos de FS, teniendo en cuenta a caudal, aditivos c/s y estratos como variables de clasificación (tabla 43). Para ofrecer una mayor comprensión del grado de correlación entre dos o más variables, el número de imp.cm^{-2} presentan mayor afinidad con los parámetros $Dv_{0,90}$ y DVM, esto explica cuán dependiente es el número de gotas ante variaciones en el tamaño del espectro. Por otro lado, los $\mu\text{g.cm}^{-2}$ FS guardan una estrecha relación con los mismos parámetros ($Dv_{0,90}$ y DVM) y en menor medida con el número de impactos. Finalmente, se puede afirmar que tanto los impactos como los depósitos de FS dependen casi en su totalidad al tamaño de las gotas, el fundamento sencillo y ampliamente conocido se basa en que gotas grandes a muy

grandes limitan su número y si se dividen por ejemplo a la mitad de su diámetro multiplican su cantidad por ocho, elevando considerablemente la cobertura, los depósitos de FS y penetración al interior del cultivo manteniendo como premisa el tamaño de impactos entre 180 a 250 μ m.

Teske et al., (2005) demostraron resultados que demuestran una fuerte correlación entre los parámetros que se consideran importantes en el proceso de atomización, uno de ellos es el DVM que está fuertemente relacionado con el tamaño del espectro de gotas.

Tabla 43. Matriz de coeficientes de correlación.

	Imp. cm ⁻²	Dv _{0.10}	DVM	Dv _{0.90}	CH	μ gcm ⁻² FS
Imp. cm ⁻²	1,00					
Dv _{0.10}	0,49	1,00				
DVM	0,70	0,87	1,00			
Dv _{0.90}	0,87	0,78	0,96	1,00		
C.H.	-0,03	0,06	0,13	0,04	1,00	
μ g. cm ⁻² FS	0,66	0,55	0,87	0,85	0,24	1,00

8.4 DETERMINACIONES FISICAS

Los resultados de ANAVA siguientes para las variables en estudio DMV, Dv_{0.90} y Dv_{0.10}, arrojaron bajos valores de CV que permitieron trabajar sin la interferencia de varianzas con distribuciones asimétricas, a excepción de la variable imp.cm⁻².

8.4.1 Ln Imp.cm⁻² - Número de impactos por centímetro cuadrado

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R ²	0	R ²
48	110,87	148,53	0,07	0,75		0,78

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	35	774,01	<0,0001
Caudal	1	35	13,80	0,0007
Estrato	2	35	83,40	<0,0001
Caudal*Estrato	2	35	3,89	0,0297
Caudal*Aditivo c/s	2	35	9,75	0,0004
Estrato*Aditivo c/s	2	35	5,07	0,0116

La pulverización aérea, comparte con la terrestre la misma finalidad y técnica pero con herramientas completamente diferentes, por entonces se evalúa la performance de aspersores rotativos montados en la barra del fuselaje bajo iguales condiciones ambientales con caudales 3 a 6 veces más bajos que la pulverización terrestre. Teske et al., (2005) evaluaron bajo condiciones controladas con túnel de viento el comportamiento de aspersores rotativos, variando mezclas de tanque, velocidad del aire y velocidad de los aspersores a diferentes ángulos de las aletas, los resultados fueron correlacionados por regresión múltiple (media R²= 0,995) con la finalidad de sustituir datos obsoletos medidos en la década del 80's por el Servicio Forestal del

USDA, el éxito del trabajo llenó una brecha de 10 años de datos faltantes medidos en la década del 90's por la SDTF. Huang et al., (2010) utilizaron tarjetas hidrosensibles para evaluar daños en algodón por derivas de glifosato en aplicaciones aéreas a 43 L.ha⁻¹, y encontraron que reducciones en % cobertura y número de gotas repercute directamente atenuando el nivel de daño. Se puede estar de acuerdo si se evalúa un caudal, pero en nuestro caso al enfrentar dos tasas se pone en juego un mayor número de impactos pero con menor concentración del trazador fluorescente.

Tabla 44. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para imp.cm².

Ln Imp.cm⁻² - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Estrato

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Estrato	Medias	E.E.		
18	SUP	3,95	0,24	A	
6	SUP	3,00	0,24		B
18	MED	2,36	0,24		C
6	MED	1,94	0,24		C D
18	INF	1,81	0,24		D
6	INF	1,58	0,24		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados en la tabla 44, indican que solamente sobre el estrato superior se observan diferencias estadísticas significativas entre números de impactos, siendo 18 L.ha⁻¹ la tasa que aporta la mayor diferencia. A diferencia de lo que sucede arriba, en las hojas medias y basales de la planta, el número de impactos de ambas tasas permanecen iguales estadísticamente, en cambio entre los tres estratos la situación es diferente al existir diferencia estadística entre el número de impactos separándolos uno del otro. Es lógico pensar que a mayor número de impactos mayor es la concentración de principio activo sobre la hoja, pero el comportamiento es inverso y amerita su discusión con la variable µg.cm⁻² de FS enfrentando altos y bajos volúmenes de aplicación por hectárea. EL grafico 20 y la tabla 43 demuestran, que tamaño de gota está altamente relacionado con las concentraciones de FS ante una muy pobre relación con el número de impactos.

Tabla 45. Resultados del ANAVA, caudal*aditivo c/s para imp.cm².

Ln Imp.cm⁻² Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Aditivo c/s

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Aditivo c/s	Medias	E.E.		
18	con	3,01	0,22	A	
6	con	2,55	0,22		B
18	sin	2,40	0,22		B
6	sin	1,80	0,22		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los efectos del coadyuvante son efectivos (tabla 45), es evidente la supervivencia de un mayor número de gotas y además existe igualdad estadística entre el número de impactos de 6 L.ha⁻¹ con coadyuvante y 18 L.ha⁻¹ sin coadyuvante. La superioridad numérica en gotas de la tasa mayor ante la tasa menor es amplia y comprobada, sin embargo, sin protección los valores caen hasta igualarse con el volumen de gotas protegidas de 6 L.ha⁻¹ (grafico 21).

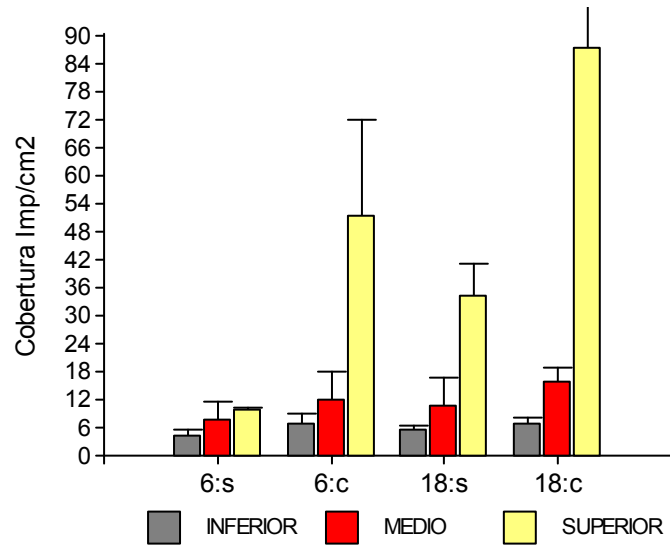


Grafico 21. Distribución de la cobertura de impactos en los distintos estratos de cultivo provenientes de los caudales 6 y 18 L.ha⁻¹ con los efectos del aditivo.

Tabla 46. Resultados del ANAVA, estrato*aditivo c/s para imp.cm².

Ln Imp.cm² Medias ajustadas y errores estándares para Estrato*Aditivo c/s

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Estrato	Aditivo c/s	Medias	E.E.			
SUP	con	4,03	0,18	A		
SUP	sin	2,83	0,12		B	
MED	con	2,48	0,22		B	C
MED	sin	1,86	0,30			C D
INF	con	1,83	0,17			D
INF	sin	1,56	0,12			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la tabla 46 se observa que mientras en las hojas superiores se continúa repitiendo el mismo resultado que la tabla 44, es en las hojas medias donde se aprecia una leve mejoría en el número de impactos que responden al agregado del coadyuvante que también se observa en el grafico 21, la protección contra la evaporación se extiende hasta las gotas que impactaron en las hojas del estrato medio que provienen de la tasa 6 L.ha⁻¹.

8.4.2 DMV o Dv_{0.50} - Diámetro de la mediana volumétrica

Diámetro de gota que divide al asperjado en dos partes volumétricamente iguales con gotas más grandes y más chicas que este.

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R ²	0 R ²	1
48	459,44	473,34	40,92	0,56		0,56

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	39	1079,84	<0,0001
Caudal	1	39	12,74	0,0010
Caudal*Estrato	4	39	10,34	<0,0001

Este parámetro es ampliamente utilizado para caracterizar tamaños espectrales, como ser Huang et al., (2010) estudian daños por deriva de glifosato en cultivos de algodón integrando imágenes digitales multiespectrales con deposiciones de marcadores e incorporan la tarjeta sensible al agua para evaluar los resultados y haciendo referencia a Levebre (1989), describen la distribución de gotas con valores de la mediana del número de gotas (NMD) o el diámetro volumétrico medio (DMV).

Los resultados promedios de diámetros de impactos obtenidos por cada tasa de aplicación en interacción con los tres estratos, logran marcar diferencias estadísticas de tamaños de gotas entre tasa mayor y tasa menor solo en el estrato superior y medio, mientras que en las hojas inferiores para ambas tasas más los tamaños de 6 L.ha⁻¹ del estrato medio, no se diferencian estadísticamente y se vuelve a reiterar la dependencia que toma el tamaño de gota con esta parte de la planta independientemente del caudal que se utilice (tabla 47, gráfico 22).

Tabla 47. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para DVM.

DVM - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Estrato

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Estrato	Medias	E.E.		
18	SUP	262	14,47	A	
18	MED	227	14,47	A	B
6	SUP	212	14,47		B
6	MED	168	14,47		C
18	INF	156	14,47		C
6	INF	138	14,47		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Como existen resultados que respaldan y advierten que altas tasas de aplicación se traduce en elevadas e innecesarias proporciones de activo depositado en hojas superiores, se deben realizar aportes para enriquecer el conocimiento de lograr impactos que no superen un DMV de $240 \pm 10 \mu\text{m}$ en las hojas superiores y medias para que lleguen gotas a las hojas inferiores que no descendan de $140 \mu\text{m}$ y de esta manera redistribuir cantidades de activo hacia el estrato inferior. Se ha demostrado que la eficiencia en insecticidas es inversamente proporcional al tamaño de gota (es decir, pequeñas gotas funcionan mejor con la misma cantidad del ingrediente activo). Para pulverizaciones acuosas, el efecto es más notable con diámetros de gota cercanos a $100 \mu\text{m}$, pero las investigaciones publicadas no se ocupan de tamaños de gotas más pequeños, sin embargo, cuando se aplica ese conocimiento a campo utilizando pulverizadores diseñados para producir un muy estrecho y pequeño espectro de tamaño de gota, se requiere la misma cantidad de ingrediente activo por hectárea para obtener el mismo control con el pulverizador de boquillas hidráulicas (Chapple et al., 1997).

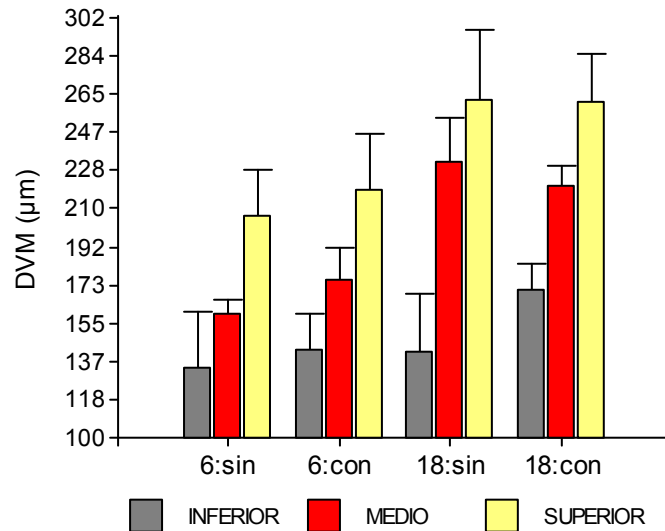


Grafico 22. Distribución de los diferentes DMV por cada estrato, provenientes de los caudales 6 y 18 $L \cdot ha^{-1}$ con y sin el agregado del coadyuvante.

Para maximizar la eficiencia de la aplicación de plaguicidas, Butler Ellis et al., (1997) demostraron que se requiere un buen control de tamaño de gota con una correcta distribución de velocidades. Coincidiendo con Boukhalifa et al., (2014) en investigaciones realizadas con agua de grifo y agua con un adyuvante organosiliconado a igual volumen de aplicación, estudiaron el comportamiento de gotas al impactar sobre una superficie foliar y los resultados demostraron que la mezcla con agua más el adyuvante contenía el mayor número de gotas con un DMV de 272 μm y la proporción de gotas más adheridas a la superficie foliar se encontraba entre los 100 y 220 μm , mientras que el agua de grifo demostró un DMV de 317 μm , menor número de gotas con menos adherencia que a su vez se separaban en gotas que rebotaban y gotas que entre los 320 y 600 μm se fragmentaban y perdían en su gran mayoría. Stevens (1993) citado por Boukhalifa et al., (2014) estudió los efectos de adhesión primaria y demuestra que la velocidad y tamaño de gota mantienen un alto grado de correlación con la adhesión. Nuyttens et al., (2009) hacen mención a que las gotas más grandes corresponden con las más altas velocidades, y las gotas más pequeñas a más bajas velocidades, existen importantes diferencias dependiendo del tipo de boquilla y tamaño, ambos afectan la velocidad de eyección.

Por sí misma, la tasa de aplicación no tuvo un gran efecto en la atomización, mientras que la mezcla en tanque con adyuvante tuvo un gran efecto sobre el tamaño de gota al bajar la dinámica de la tensión superficial que produce los mejores asperjados, en cambio la mezcla en tanque de agua con aditivo que provoca una alta viscosidad extensional, produce asperjados más gruesos y el agua sola es intermedia entre las dos mezclas (Teske et al., 2005). Investigaciones realizadas por Zhang et al., (2010) valiéndose de mediciones en la variación de reflectancia espectral y tamaño de gota, evaluaron la eficiencia del herbicida glifosato utilizando pulverización aérea, los resultados demostraron que con boquillas de abanico plano CP-11TT y aspersores rotativos (ambos con un DMV= 350 μm) los controles en la población de malezas fueron más eficaces que boquillas electrostáticas (DMV= 200 μm)

8.4.3 $Dv_{0.90}$ - Diámetro volumétrico 0.90

Diámetro de gota por encima del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R ² 0	R ² 1
48	471,04	487,93	54,91	0,70	0,72

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37	611,95	<0,0001
Caudal	1	37	17,82	0,0002
Caudal*Aditivo c/s	2	37	3,18	0,0532
Caudal*Estrato	4	37	18,17	<0,0001

Al indagar en la fracción de impactos más grandes del espectro (tabla 48), se esperaban valores de tamaños desmesurados como los observados en el $Dv_{0.90}$ del equipo terrestre (tabla 37, gráfico 16). La explicación recae en los atomizadores rotativos instalados en la aeronave como los responsables de este tipo de pulverizaciones agrícolas homogéneas, en donde el tamaño de las gotas depende de la velocidad del aspersor controlada por el ángulo de las aletas (figura 14), mientras que el caudal es calibrado mediante un selector llamado unidad de reducción variable (URV - tabla 10 y figura 14), por otro lado Chapple et al., (1997) explican que la nube de pulverización producida por una boquilla hidráulica es compleja y heterogénea, en vuelo, los tamaños de gota pueden variar desde aproximadamente 5 μm a $> 1 \text{ mm}$, dependiendo principalmente del tamaño del orificio y la presión hidráulica.

Tabla 48. Resultados del ANAVA, interacción caudal*estrato para $Dv_{0.90}$.

$Dv_{0.90}$ - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Estrato

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Estrato	Medias	E.E.	
18	SUP	367	20,05	A
6	SUP	265	20,05	B
18	MED	261	20,05	B
6	MED	184	20,05	C
18	INF	167	20,05	C
6	INF	145	20,05	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La velocidad de los aspersores se mantuvo igual para sendos caudales, con el propósito de corroborar y dar sustento a que el crecimiento en los tamaños de gotas no se acredita directamente al aumento del caudal como ocurre en las aplicaciones terrestres ante un eventual cambio de boquillas, sino a la saturación por acumulación de líquido que sufre la malla o jaula por un aumento de flujo del líquido ante el cambio por un URV mayor que dificulta al aspersor mantener las revoluciones programadas. No obstante, si se desea bajar el tamaño de gotas, se puede corregir fácilmente elevando el ángulo de las aletas para aumentar velocidad, o disminuir el ángulo en caso que se

encuentren un número considerable de gotas chicas como sucede en la tasa 6 L.ha⁻¹ con posterior control mediante tarjetas hidrosensibles. La SDTF (2001) condujeron diversos ensayos y encontraron que con ajustes apropiados en las formulaciones y una correcta elección de boquillas es posible reducir la deriva sin necesidad de sacrificar la cobertura de hojas. Nuyttens et al., (2009) haciendo referencia a Miller y Smith (1997) hallaron que un nuevo aumento en la presión no resulta en un nuevo incremento en la deriva, incluso, con el mismo diseño de boquillas, resulta en una disminución en la deriva debido a la dominancia del efecto de velocidad de la gota.

Los resultados de las pruebas de Teske et al., (2005) en túnel de viento, confirman que el principal factor que afecta el tamaño de gota es la velocidad del aspersor y afirma que durante las aplicaciones reales la velocidad varía con la velocidad del viento, del avión y posición en el fuselaje, además a mayores caudales la velocidad de rotación era más lenta y los asperjados eran por lo tanto más gruesos.

Regresando a los resultados de la tabla 48, el análisis por estrato demuestra que solamente en el superior y medio, los tamaños de cada caudal se pueden identificar y separar estadísticamente, además descartando el Dv_{0.90} de 18 L.ha⁻¹ de las hojas apicales, los demás tamaños son los adecuados para pulverizar sobre el cultivo de soja. Con respecto a los tamaños de impactos del estrato inferior, estos son estadísticamente iguales entre bajo y alto caudal, pero como se postuló en el presente trabajo, los espectros se pueden separar perfectamente uno de otro cuando los caudales se separan ampliamente entre sí como sucede en las hojas apicales e interiores pero es en esta última etapa que se puede observar dicho comportamiento.

Tabla 49. Resultados del ANAVA, caudal*aditivos c/s Dv_{0.90}.

Dv_{0.90} - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Aditivo c/s

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Aditivo c/s	Medias	E.E.			
18	con	283	16,63	A		
18	sin	247	16,63	A	B	
6	con	220	16,63		B	C
6	sin	177	16,63			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La incorporación del coadyuvante al agua obtuvo sus efectos, como se observa en los resultados de la tabla 49, estadísticamente no hay diferencias entre con y sin el agregado del aditivo para un mismo caudal, pero es muy obvio que el aditivo fomenta un crecimiento muy sutil de tamaño de gotas, en realidad lo que sucede es que el tamaño se mantiene desde que sale del aspersor hasta que llega al blanco, con la dosis exacta para no comprometer la cobertura y lo suficiente para protegerlas contra pérdidas por evaporación. La SDTF (2001) condujo estudios referidos a la evaporación de las gotas y concluyeron que incorporando aditivos a base de siliconas, aceites vegetales o minerales a la mezcla del caldo de pulverización se logra disminuir la evaporación, buscando que las gotas emitidas por la pastilla conserven su diámetro hasta llegar al objetivo, al conservar su tamaño también conserva su peso y el resultado conlleva a disminuir el volumen y número de gotas pequeñas susceptibles a ser arrastradas por vientos que superen los 16,5 km/h.

Desde otro punto de vista, la comparación entre 6 L.ha⁻¹ con y 18 L.ha⁻¹ sin aditivo mantienen igualdad estadística pero para el resto de las interacciones hay

diferencia estadística significativa. Finalmente se concluye que el agregado del coadyuvante proporciona protección a las gotas elevando su viabilidad mediante un tenue aumento en tamaños. El grafico 23 expone dicho crecimiento ascendente y sin detenerse desde el bajo caudal sin aditivo hasta el alto caudal con aditivo solo para los estratos superior y medio, en cambio, en las hojas basales el crecimiento no es continuo y no presenta grandes diferencias entre un tratamiento y el siguiente, es debido con mucha certeza, que mientras existan tamaños de gotas muy cercanos unos a otros, mayor entrada tendrán hasta las hojas basales.

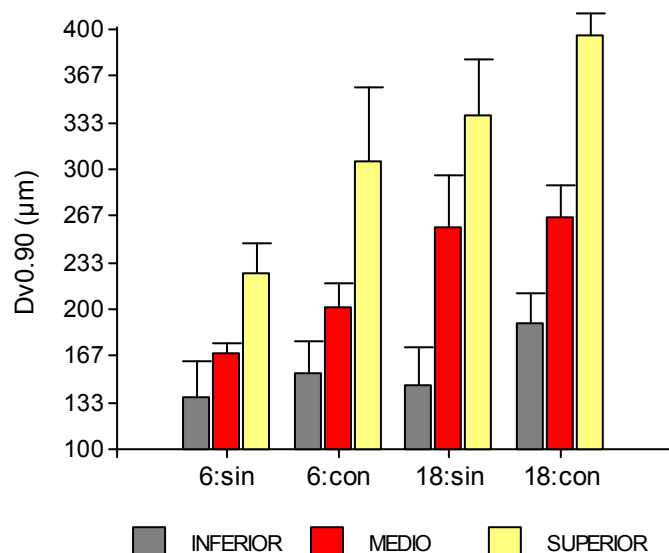


Grafico 23. Distribución de los distintos $Dv_{0.90}$ en los tres estratos provenientes de las tasas 6 y 18 $L \cdot ha^{-1}$ con y sin el agregado del coadyuvante.

8.4.4 $Dv_{0.10}$ - Diámetro volumétrico 0.10

Diámetro de gota por debajo del cual se encuentra el 10% del volumen total del líquido pulverizado.

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R^2_0	R^2_1
48	424,63	438,53	27,04	0,37	0,37

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	39	982,48	<0,0001
Caudal	1	39	10,36	0,0026
Caudal*Estrato	4	39	3,62	0,0132

El hecho de hallar impactos provenientes de un mismo caudal (18 o 6 $L \cdot ha^{-1}$) observados en el estrato superior y medio que compartan el mismo $Dv_{0.10}$ (tabla 50), significa que el asperjado no presenta una elevada disparidad de tamaños en comparación con los diámetros encontrados en la primera etapa de investigación, en donde existen una gran variabilidad de tamaños entre los diferentes estratos, lo cual se traduce en asperjados menos homogéneos.

Como lo prueba la tabla 50, tanto en la tasa de 6 como la de 18 $L \cdot ha^{-1}$ los tamaños son iguales entre sí en los dos primeros estratos, pero son diferentes estadísticamente

entre sendas tasas y es en el inferior en donde los impactos son iguales para ambas tasas.

Tabla 50. Resultados del ANAVA, efecto caudal, caudal*estrato para $Dv_{0.10}$.

$Dv_{0.10}$ - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Medias	E.E.
18	128	5,85 A
6	106	5,85 B

$Dv_{0.10}$ -Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Estrato

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Estrato	Medias	E.E.
18	MED	151	9,56 A
18	SUP	143	9,56 A B
6	SUP	120	9,56 B C
6	MED	114	9,56 C
18	INF	109	9,56 C
6	INF	94	9,56 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Constantemente en los tres parámetros estudiados del espectro, los tamaños comienzan a descender una vez que traspasan la barrera de hojas superiores, pero sin dejar de destacar que los tamaños que ingresan son siempre los mismos. Como se analiza un grupo de gotas con tendencia a derivar, es pertinente recordar las distancias recorridas por los diferentes tamaños de gotas (Bache y Johnston, 1992), asumiendo que no hay evaporación, gotas de 100 μm pueden desplazarse entre 8 y 18 m con un viento laminar aceptable. Estudios a campo dirigidos por Huang et al., (2010) miden daños en algodón por deriva de glifosato en pulverizaciones aéreas empleando tarjetas hidrosensibles, índice de vegetación normalizada obtenida de imágenes digitales multiespectrales (infrarrojo, rojo, verde y azul) y el marcador cloruro de rubidio, los resultados demostraron que con un viento cruzado de 12 km.h^{-1} , 72% HR y gotas con un DMV de 300 μm , el 50% del daño se registró entre los 11 y 13 metros de la pasada del avión y prácticamente sin daño a los 45 m con posterior recuperación del cultivo, estos resultados son avalados con un alto nivel de correlación entre cobertura de gotas, número de gotas, concentración del marcador e índice de daño obtenidas de las imágenes digitales.

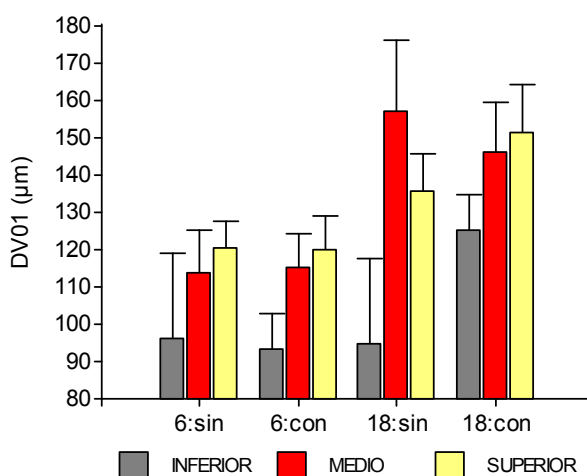


Grafico 24. Distribución sobre los tres estratos de los distintos tamaños del $Dv_{0.10}$ provenientes de los caudales con y sin el agregado del coadyuvante.

El modelo no incorpora como factor fijo a aditivos c/s y las interacciones con los demás factores por falta de relevancia estadística, es evidente que el agregado del aditivo no causó el efecto suficiente que pueda ser medido en esta porción de la población.

Este grupo de gotas por su tamaño, entran en la clasificación muy finas a finas dejándolas expuestas a evaporarse, Cunningham et al., (1962) afirman que frente a una combinación de alta temperatura (>30 °C) y baja humedad relativa (<40%) puede tener una fuerte influencia directa sobre la evaporación de las gotas pulverizadas, en especial cuando estas son finas e involucran a gotas de tamaño inferiores a 50 µm como principal característica relacionada a las pérdidas por deriva que aún en condiciones ambientales favorables se evaporarán antes de llegar al blanco, mientras que gotas mayores de 200 µm aún en condiciones desfavorables llegarán en mayor número a destino. El aceite utilizado tiene la función justamente de prolongar su vida útil pero intensifica el riesgo de daños por deriva al permanecer la gota activa más tiempo en el aire. Vemos que las gotas provenientes de 18 L.ha⁻¹ son significativamente más grandes, esta separación es la diferencia entre la eficiencia por llegar al cultivo que perderse por deriva, y todo recae en el peso de la gota, sin embargo lo observado es de riesgo y es preferible evitarlas.

El gráfico 24 expone dirección y posición en diferentes lugares del cultivo acorde al tamaño que toman al salir del aspersor. Las hojas inferiores al encontrarse dentro de los primeros 30 cm del suelo, a menudo están presentes en menor cantidad y tamaño, afectadas por enfermedades debido al sombreado del resto de las hojas ubicadas por encima que las superan en cantidad, tamaño y sanidad. A este lugar específico del cultivo solo se hicieron presente gotas de asperjado fino sin poder determinar si existieron o no pérdidas por evaporación y deriva, que por cierto la combinación de temperatura y humedad ambiente (tabla 32) al momento de los ensayos eran favorables para provocar pérdidas en gotas <50 µm, sin embargo Cunha et al., (2012) en evaluaciones visuales de las tarjetas hidrosensibles utilizadas como blancos artificiales, mostraron claras diferencias entre la distribución de patrones de varios tamaños de gotas, la pulverización fina generó más distribuciones uniforme de depósitos que las gotas más grandes. Por este motivo, las gotas más pequeñas que corresponden al estrato inferior se separan estadísticamente del medio y superior, los cuales comparten el mismo rango de tamaños y estas si tienen condiciones para no perderse.

8.4.5 C.H. - Coeficiente de homogeneidad (CH)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² _{Aj}	CV
C.H.	48	0,20	0,18	24,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Aditivo c/s	2,45	1	2,45	11,52	0,0014

El agregado del aditivo provoca un suave aumento en los diferentes diámetros de cada espectro sin diferencias estadísticas, quedando por sentado que es la manera del coadyuvante de proteger las gotas, es decir, crece el número de impactos por una mayor viabilidad en las gotas y aparentemente no por modificaciones en la tensión

superficial, también se vienen dando situaciones de tamaños muy acotados entre estratos para un mismo caudal, con diferencias que no superan los $45 \pm 10 \mu\text{m}$ en el $DV_{0,90}$ al agregar el aceite, es decir sin presentar un crecimiento desmesurado en los diámetros.

Tabla 51. Resultados del ANAVA, efecto aditivos c/s para CH.

Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,26806

Error: 0,2128 gl: 46

Aditivo c/s	Medias	n	E.E.
Con	1,68	24	0,09 A
Sin	2,13	24	0,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Todas estas conclusiones parciales daban indicios de un asperjado homogéneo, por tal motivo la tabla 51 demuestra los resultados del CH que se obtienen con y sin el agregado del aceite, arrojando diferencias estadísticamente significativas a favor del aditivo, favoreciendo la formación de una pulverización agrícola con índices de CH cercanos a 1 indicando elevada homogeneidad en tamaño de gotas (Marques 1994, tabla 52).

Tabla 52. Coeficientes de homogeneidad para distintas boquillas (Fuente: Marques, 1994)

Boquillas	de cono	de abanico	de espejo	centrifugo
C.H.	1,8 a 5	2 a 8	5 a 10	1,2 a 1,6

Los aspersores rotativos se caracterizan por generar espectros homogéneos a tasas de aplicación tan bajas como el ultra bajo volumen ($<5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$), por el contrario aumentos de caudal a $18 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ favorecen la acumulación de líquido sobre la malla o jaula que conforma el aspersor produciendo gotas de mayor tamaño que terminan formando un espectro de menor homogeneidad.

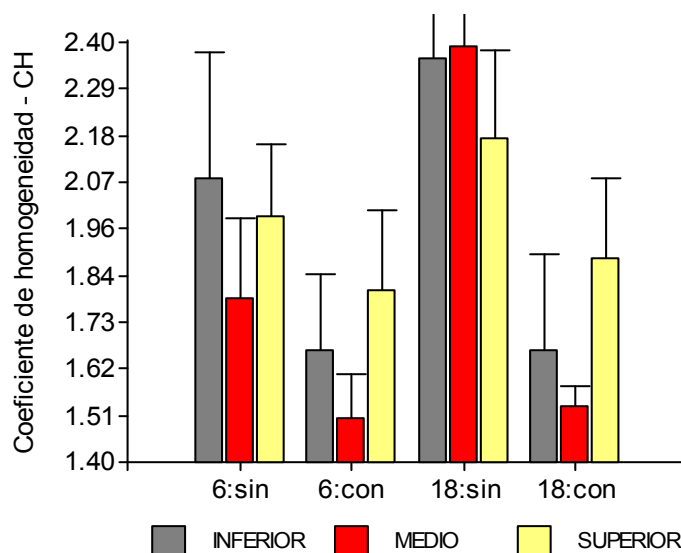


Gráfico 25. Valores de CH en bajo y alto caudal con y sin aditivo.

La distribución del tamaño de gotas en pulverizaciones agrícolas no es homogénea y depende de la correcta elección de boquilla, presión de trabajo, caracterización del espectro de gotas y tipo de cultivo a tratar (Butler Ellis et al., 1997).

El grafico 25 representa de manera sencilla lo razonado anteriormente. Para el asperjado con agua pura, observando solamente los valores del CH se puede distinguir a través del gráfico cuál es el espectro que pertenece al bajo y cual al alto caudal. En cambio si observamos los valores del CH de los asperjados con aceite vemos que no se distingue cual es de 6 y cual es de 18 L.ha⁻¹. El agregado del aditivo además de igualar y disminuir el CH para ambas tasas de aplicación, también favoreció la producción de gotas con el aumento simultáneo del DMV lo suficiente para prolongar su vida útil sin provocar desbalances en la homogeneidad del espectro (gráficos 23 y 24).

8.5 DETERMINACIONES QUIMICAS

8.5.1 $\mu\text{g.cm}^{-2}$ FS - Utilización de fluoresceína sódica (FS) como marcador

Se transformaron los valores de la variable a escala logarítmica con la misma finalidad de disminuir heterogeneidad de varianzas.

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	Sigma	R ² 0	R ² 1
48	93,37	127,64	0,03	0,82	0,84

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	38	292,84	<0,0001
Caudal	1	38	33,39	<0,0001
Aditivo c/s	1	38	101,53	<0,0001
Estrato	2	38	234,78	<0,0001
Caudal*Estrato	2	38	5,20	0,0101

Las cantidades de FS depositadas en cada estrato descienden en forma gradual desde las primeras hasta las últimas hojas, otorgándoles una diferencia estadística definida entre estratos acompañados con los caudales dispuestos en el orden presentado por la tabla 53. Las concentraciones de FS no siguen el mismo comportamiento observado en las deposiciones de ambos asperjados terrestres, en donde el menor caudal y un DMV más chico concentran más trazador sobre las hojas, pero en el caso de 6 L.ha⁻¹, hay menos gotas y el DMV desciende al punto de verse afectado por las corrientes de aire del momento (tabla 43) y derivar fuera del área de muestreo.

Tabla 53. Resultados del ANAVA, caudal*estrato para $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS.

Ln $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS - Medias ajustadas y errores estándares para Caudal*Estrato

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Caudal	Estrato	Medias	E.E.			
18	SUP	5,06	0,21	A		
6	SUP	4,75	0,19		B	
18	MED	3,88	0,28			C
18	INF	2,76	0,24			D
6	MED	2,75	0,30			D
6	INF	1,87	0,28			E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sin embargo, recobra importancia cuando los pocos impactos recolectados de la tasa aérea menor logran depositar mayor concentración de FS que los caudales terrestres.

Estudios como los de Villalba Farinhar et al., (2009) otorgan sustento y credibilidad que indagar en los depósitos de trazadores en las hojas superiores son pocos relevantes y no ofrecen resultados que aporten soluciones a los inconvenientes que se plantean ante una exacerbada deposición de activos en las hojas superiores en detrimento de concentraciones diezmaradas que logran llegar a las hojas basales. En dichos estudios se evaluaron boquillas abanico plano, abanico plano con inducción de aire y de doble abanico plano (150, 200 Y 250 L.ha⁻¹) en aplicaciones en soja con mochila y hallaron que la deposición de la solución de pulverización fue de manera similar en la parte superior de las plantas independientemente de la boquilla utilizada. Los resultados de deposiciones de FS corren a favor de 18 L.ha⁻¹ debidos a una falta de corrección en la velocidad de los aspersores rotativos, pero queda por dilucidar si el incremento en costos que requiere elevar el caudal, se traduce en aumentos del rendimiento por un eventual mayor control de la plaga. Sin embargo Cunha et al., (2006) no hallaron diferencias en el control de la roya asiática de la soja por el tipo de boquillas empleadas, en el que el fungicida fue igual de eficaz en todos los tratamientos probados con una diferencia del testigo sin aplicar de 41% en la productividad.

Tabla 54. Resultados del ANAVA, efecto fijo aditivo c/s.

Ln $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ FS - Medias ajustadas y errores estándares para Aditivo c/s

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Aditivo c/s	Medias	E.E.	
Sin	3,59	0,21	A
Con	3,43	0,21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Con respecto al agregado del aditivo (tabla 54), al no existir interacción con estrato o caudal y con diferencias muy acotadas generalizadas entre con y sin, el fundamento que se puede generar para sostener este comportamiento es el mismo observado en los estudios de deposición en la aplicación terrestre, que a su vez le otorga sustento por compartir resultados entre una y otra herramienta de pulverización. Por un lado, no es prudente afirmar que todas las gotas de la población permanecieron viables por el aditivo, pero si se puede alegar que la nube de gotas creció por estar protegidas

contra pérdidas por evaporación y se debe a que el diámetro de las gotas fue constante desde la salida del aspersor hasta la llegada al objetivo. Por otra parte, la tecnología del aditivo es llamado de nueva generación por estar posicionado en el mercado con características que favorecerían el ingreso con mayor facilidad a la hoja por alteración de la pared vegetal gracias a la metilación del aceite y por otro lado las penetraciones por vía estomática es consecuencia del doble efecto que provoca la silicona de bajar la tensión superficial a 21 dinas.cm⁻² (Schönherr y Bukovac 1971) que separa las capas de cera de la hoja y genera un alojamiento -"penetración" - sub superficial del caldo asperjado que impacta el blanco (Zhang et al., 2006; Burkhardt et al., 2012).

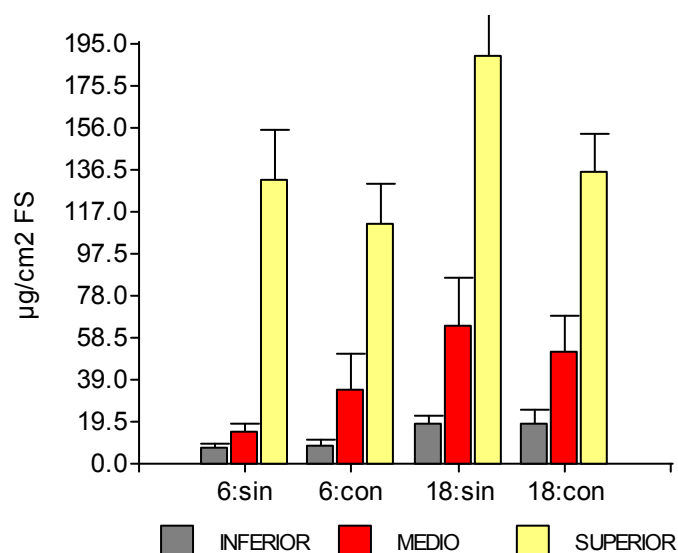


Grafico 26. Distribución de FS por estratos a dos caudales con y sin aceite.

Cantidades menores depositadas por la tasa 6 L.ha⁻¹, pueden ser a causa de un asperjado muy fino, que por la protección que brinda el aceite resultan ser de mayor viabilidad y se pierden fácilmente por deriva, siendo este factor de pérdida una posible consecuencia de las bajas deposiciones encontradas en 6 L.ha⁻¹, o también cabe la posibilidad que la FS haya ingresado a una velocidad mayor al interior de la hoja debido a una concentración mayor de los componentes del coadyuvante ante una menor presencia de agua en comparación con el mismo aditivo disuelto tres veces más en 18 L.ha⁻¹. Por lo tanto, una posible solución para evitar asperjados finos que resultan en pérdidas por deriva, consistiría en disminuir las revoluciones de los aspersores rotativos modificando el ángulo de las aletas para generar asperjados medios, corroborando luego con tarjetas sensibles al agua. Se han realizado muchos estudios para evaluar la rendimiento de las tecnologías de pulverización aéreas, en su mayor parte estos estudios han indicado que la tasa de pulverización óptima es aquella que combina tamaño de gota, con productos pesticidas, plagas, y cultivo específico (Kirk et al., 2004).

9 COMPARACIÓN ENTRE PULVERIZACIÓN TERRESTRE Y AÉREA

9.1 DMV, imp.cm^{-2} y $\mu\text{g.cm}^{-2}$ FS

Se elaboró una tabla de resumen (tabla 55) en donde cada columna identifica a las variables o parámetros más representativos de los asperjados, los resultados pertenecen a los ANAVA extraídos de las tablas 36, 38, 41, 44 y 53 que además se suman columnas con valores absolutos y transformados a Ln respectivamente.

Tabla 55. Comparación entre medias de las variables $\mu\text{g.cm}^{-2}$ FS, imp.cm^{-2} y DMV ordenados por tipo de aplicación aérea y terrestre, tasas de aplicación y el estrato superior, medio e inferior para el año 2013 con los análisis posteriores de Fisher en letras minúsculas para aéreo y mayúsculas para terrestre.

Equipo aplicador	Tasa L.ha^{-1}	Estratos	FS $\mu\text{g.cm}^{-2}$	FS Ln $\mu\text{g.cm}^{-2}$	Tamaño DVM μm	Gotas imp.cm^{-2}	Gotas Ln imp.cm^{-2}
Terrestre	90	Superior	36.67 B	3.61	354 D	71	4.23 A
	35	Superior	54.39 A	3.80	250 C	71	4.23 A
Aéreo	18	Superior	149.95	5.06 a	262 a	60	3.95 a
	6	Superior	113.84	4.75 b	212 b	30	3.00 b
Terrestre	90	Medio	7.84 CD	1.95	244 BC	19	2.98 B
	35	Medio	9.66 C	1.99	206 AB	23	2.98 B
Aéreo	18	Medio	39.07	3.88 c	227 ab	13	2.36 c
	6	Medio	16.10	2.75 d	168 c	9	1.94 cd
Terrestre	90	Inferior	4.08 D	1.12	266 C	16	2.57 C
	35	Inferior	3.55 D	1.05	179 A	13	2.57 C
Aéreo	18	Inferior	16.10	2.76 d	156 c	6	1.81 d
	6	Inferior	5.87	1.87 e	138 c	5	1.58 d

El objetivo es tratar de enfrentar y comparar el desempeño de las pulverizaciones terrestres y aéreas con sus respectivos caudales, con las características de cada espectro que generen pautas para un manejo eficiente del tamaño, caudal y número de impactos que logren distribuir y concentrar la mayor cantidad de FS en los tres estratos del cultivo de soja.

Comenzando por las aplicaciones terrestres, el bajo caudal revela una mayor eficiencia ante el alto caudal al mantener iguales concentraciones de FS, dicha eficiencia se logró disminuyendo el DMV y protegiendo las gotas con el aditivo que resultó con mejor performance que el anterior (2012) además de que el número de impactos se mantiene prácticamente igual entre ambas tasas, se entiende que para imp.cm^{-2} en terrestre no hubo diferencias significativas entre caudales dentro de un mismo estrato, por lo tanto un solo valor representa a ambas tasas para facilitar su interpretación, no obstante se agrega la columna de impactos con los valores absolutos referidos al gráfico 14.

Continuando con las aplicaciones aéreas, el alto caudal deposita mayor concentración de FS, en donde sobre el estrato superior las diferencias entre cantidades

son leves, con un DMV más chico y la mitad de los impactos; sobre el estrato medio las diferencias no superan en más de 1/3 veces, tanto en concentraciones de FS como en impactos y el DMV continua bajando, finalmente en el estrato inferior la brecha entre ambas tasas se mantiene en 1/3 veces con muy leves diferencias entre DMV e impactos.

La tasa menor del asperjado aéreo, depositó menores concentraciones de FS por estar a merced del arrastre del viento debido a un DMV de $150 \pm 20 \mu\text{m}$ en los estratos medio e inferior, estos resultados sugieren que de controlar y corregir el DMV elevándolo a $200 \pm 10 \mu\text{m}$ sobre los estratos mencionados, se podría lograr al menos iguales concentraciones de FS que el caudal $18 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$. Investigaciones realizadas por Bayer S.A. a cargo de Meoni y Orsini (datos no publicados, 2013), determinaron mediante cromatografía (laboratorios Microquim S.A.) deposiciones de betacyflutrina (insecticida Solomon) en hoja de soja en aplicaciones de alto y bajo volumen. Los análisis provenientes de $31 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ dieron 2,169 ppm del activo en $24 \text{ imp}\cdot\text{cm}^{-2}$ con un DMV de $224 \mu\text{m}$ en el estrato medio, en cambio para $142 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ los resultados arrojaron 1,001 ppm del activo en $73 \text{ imp}\cdot\text{cm}^{-2}$ con un DMV de $337 \mu\text{m}$ en el mismo estrato. Por otra parte, Huang et al., (2010) hallaron que los depósitos del trazador cloruro de rubidio presentan una alta correlación entre el porcentaje de cobertura por gotas y el número de gotas por unidad de superficie sobre tarjetas hidrosensibles, esto indicó que al existir coherencia entre ambos métodos de cuantificación, la concentración del marcador puede ser más consistente que el porcentaje de cobertura y el número de gotas por unidad de superficie.

De lo analizado anteriormente, se crean interrogantes entre las recomendaciones propuestas (Syngenta 2002; FAO 1988), en donde sugieren un determinado número de impactos de acuerdo al tipo de formulación y tratamiento, mientras que las cantidades de depósitos de FS se encuentran más ligadas al tamaño de gota que terminan definiendo el caudal a configurar.

Con respecto al tamaño de los impactos a excepción de la tasa $90 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ que se desvirtúa con $350 \mu\text{m}$, estos se encuentran entre 212 y $260 \mu\text{m}$ ubicados en el estrato superior, continuando con 144 a $244 \mu\text{m}$ sobre el estrato medio, culminando con 138 a $179 \mu\text{m}$ en el inferior siempre involucrando a sendos tipos de aplicaciones que si se observa por separado en terrestre y aéreo, el rango de tamaños es menor (tabla 56). Por otro lado se hace una mención particular a $90 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ en las hojas inferiores observándose un DMV de $266 \mu\text{m}$, con 19 impactos y la deposición de FS más baja entre todas las demás cantidades que también es igual a su par $35 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$. El comportamiento de diferentes espectros y su funcionalidad basados en el tamaño de gotas, está bajo constante estudio por numerosos autores (Amsden 1962; Auweter et al., 2010; Miller y Buttler 2000; Metcalf 1980; Porrás Piedra y Porrás Soriano 2006; Bache y Johnstone 1992) en donde brindan el respaldo suficiente para aportar a la técnica de pulverización la correcta elección del tamaño de gotas que logren mantener la eficiencia de aplicación en el control de plagas y reducir los costos operativos.

10 CONCLUSIONES

La concentración de FS hallada sobre las hojas de los estratos de cada tratamiento, no guarda relación con el número de imp.cm^{-2} cuando se estudian y comparan dos tasas de aplicación como es nuestro caso, en donde la mayor o menor presencia del vehículo o solvente (agua) es determinante en la concentración final de FS por unidad de superficie de hojas, siendo muy evidente el efecto dilución que provocan los altos caudales. En cambio, cuando se dispone de un solo caudal la concentración final del ingrediente activo guarda relación directa con el número de imp.cm^{-2} .

Las hojas superiores en este tipo de aplicaciones, actúan como un obstáculo y filtran el ingreso al interior de la planta a gotas que superan un DMV de $\pm 240 \mu\text{m}$ de impacto, por entonces no amerita importancia en su estudio ya que están en exposición directa con la nube de gotas.

Las tasas de 30 y 40 L.ha^{-1} representan la población de gotas con mayor uniformidad y distribución debido a que su DMV se encuentran entre 200 y 240 μm , a partir de los 60 L.ha^{-1} el número y tamaño de gotas crece pero en las hojas medias y basales permanecen sin cambios significativos.

La pulverización aérea supera a la terrestre en la concentración de FS analizada en las hojas de los tres estratos, concluyendo que en la medida que se aumenta el caudal los depósitos de FS decrecen en una misma herramienta de aplicación y entre ellas.

La tasa 6 L.ha^{-1} presento igual concentración del marcador en el estrato medio que 18 L.ha^{-1} y menos en el estrato inferior, pero mayor que 35 y 90 L.ha^{-1} en todos los estratos. La escasa deposición en las hojas basales puede deberse a un espectro fino que conllevó a pérdidas de la FS que no llegaron al objetivo o el ingreso al interior de la hoja a una velocidad mayor debido a la fuerte presencia de los componentes del adyuvante.

Analizando los costos de producción actuales y la elevada eficiencia que manifiesta un correcto manejo del tamaño del espectro de gotas (bajo volumen), el ahorro se centra en la mayor capacidad operativa de los equipos aéreos y terrestres por la menor cantidad de líquido a utilizar.

Los resultados son concluyentes en determinar que la máxima atención se debe centrar en las hojas del estrato medio e inferior y controlar que el DMV no descienda lo suficiente para perderse por deriva pero con el tamaño adecuado para traspasar el dosel del cultivo, porque las hojas superiores al tener exposición directa a la llegada del trazador retienen cantidades que superan de dos a tres veces en comparación a las cantidades recolectadas sobre las hojas de los estratos medio e inferior para bajo y alto volumen de aplicación respectivamente, además de ser ambiente propicio para el establecimiento, proliferación y refugio de las plagas y enfermedades más importantes del cultivo de soja.

Para lograr el número y tamaño correcto, en primer medida se debe calibrar el equipo hasta dar con la configuración deseada que mejor comportamiento ofrezca para lograr las más altas concentraciones al medio y abajo, respetar las condiciones ambientales que pongan en riesgo la viabilidad de las gotas, sean arrastradas por viento fuera del blanco por ser pequeñas o evaporarse por temperatura y humedad ambiente no acordes al momento de aplicación.

11 ANEXO

Tabla 56. Medidas de resumen.

Caudal	Variable	Media	D.E.	CV	Mín	Máx	Mediana
20	Imp.cm ⁻²	26,95	20,62	76,52	7,01	82,15	17,68
20	Dv _{0.10}	126,07	37,27	29,56	60,71	197	130
20	DMV	215,22	58,39	27,13	103,57	310,71	228,72
20	Dv _{0.90}	266,45	88,53	33,22	119,29	417,86	258,57
20	C.H.	1,96	0,61	31,27	1,11	3,23	1,81
30	Imp.cm ⁻²	47,6	41,3	86,76	4,29	133,39	34,07
30	Dv _{0.10}	130,94	38,37	29,3	70,71	230,71	126,43
30	DMV	215,31	61,2	28,43	97,86	355	212,32
30	Dv _{0.90}	279,15	89,06	31,9	116,43	430,71	276,43
30	C.H.	1,94	0,62	32,05	1,22	3,54	1,71
30	FS µg.m ⁻²	1,32	1,25	94,64	0,02	4,18	0,61
40	Imp.cm ⁻²	61,73	51,08	82,74	10,16	204,38	44,16
40	Dv _{0.10}	130,18	29,33	22,53	69,29	186,43	132,86
40	DMV	230,95	64,04	27,73	95	352,14	235
40	Dv _{0.90}	319,23	113,33	35,5	120,71	610,71	315
40	C.H.	1,98	0,61	30,86	0,86	3,66	2,02
60	Imp.cm ⁻²	61,44	55,56	90,44	6,3	183,49	37,09
60	Dv _{0.10}	151,52	52,39	34,58	60,83	235	164,29
60	DMV	268,16	102,48	38,22	85,83	433,57	263,57
60	Dv _{0.90}	380,96	172,37	45,25	94,17	727,86	397,14
60	C.H.	2,08	0,67	32,1	1,18	3,34	1,98
60	FS ng/cm ²	1,46	1,56	106,69	0,09	4,81	0,53
100	Imp.cm ⁻²	76,95	86,21	112,03	4,44	342,21	39,65
100	Dv _{0.10}	167,95	58,73	34,97	65	342,14	172,5
100	DMV	317,08	98,81	31,16	146,43	466,43	322,86
100	Dv _{0.90}	431,2	178,66	41,43	167,86	683,57	410,72
100	C.H.	3	0,93	31,03	1,54	5,83	3
100	FS ng/cm ²	3,27	4,33	132,32	0,22	14,13	0,92

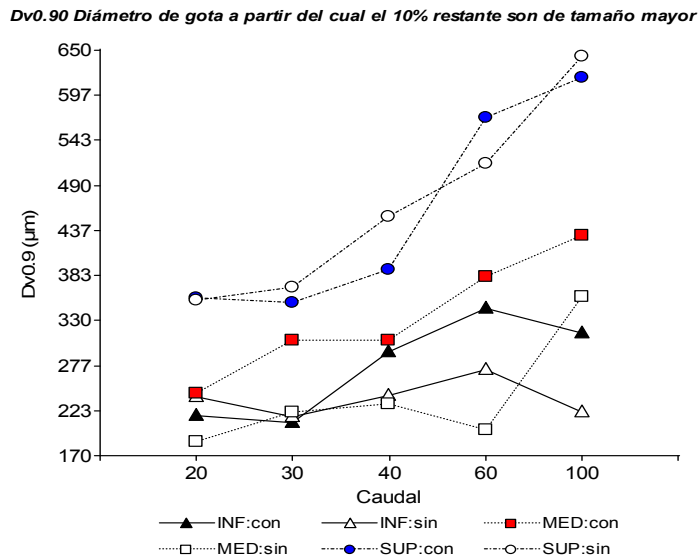
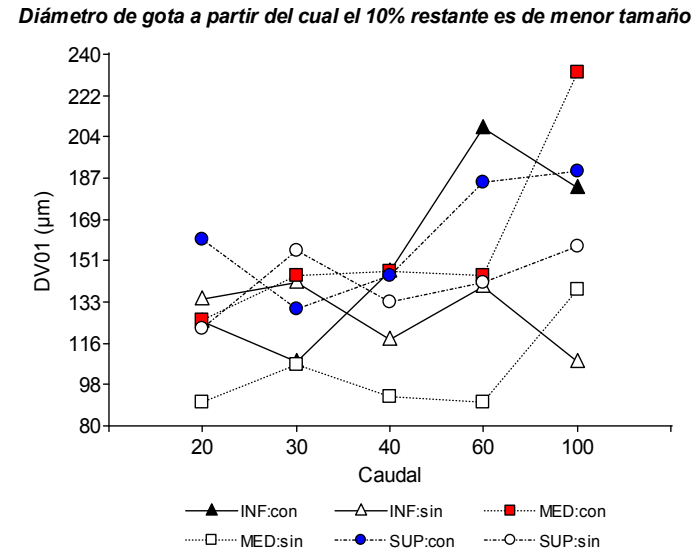
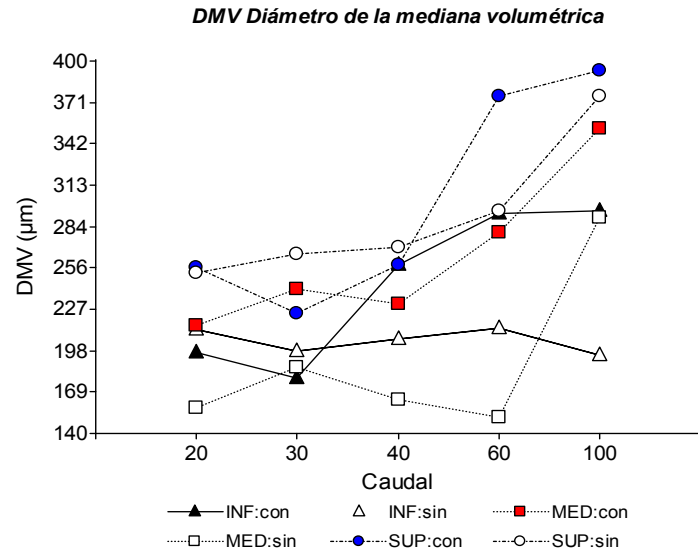


Gráfico 27, 6 y 7. Comportamiento de la distribución del tamaño de gotas del $Dv_{0.90}$ sobre los tres estratos correspondientes a los diferentes espectros de cada boquilla, con y sin el efecto de aditivos. Comparación entre los máximos valores del DMV, $Dv_{0.90}$ y $Dv_{0.10}$ en el estrato superior.

Imagen 1. Ubicación geográfica del lugar de los ensayos durante las dos etapas de duración.



12 BIBLIOGRAFÍA

- ALBUZ CATALOGUE. 2009. Saint-Gobain Solcera Zone Industrielle N°1 Rue De L'industrie 27025 Evreux Cedex France. Conception Et Réalisation: Hb Impressions • 02 32 40 00 91 E [Www.Albuz.Saint-Gobain.Com](http://www.Albuz.Saint-Gobain.Com).
- AMSDEN, R.C. (1962). Reducing the evaporation of sprays. *Agricultural Aviation* 4: 88-93.
- ANTHONIS, J.; DE BAERDEMAEKER, J. AND RAMON, H. 2006. Application Techniques for Crop Protection, Precision Agriculture. ASABE. Chapter 5 pp. 289-294.
- ARAGON, J. 2004. Guía de reconocimiento y plagas tempranas relacionadas a la siembra directa. EEA INTA Marcos Juárez. Agroediciones. 2ª Edición. 60 p.
- ARAGÓN, J. Y FLORES, F. 2006. Control integrado de plagas en soja en el sudeste de Córdoba. En Sección Entomología. Área Suelos y Producción Vegetal. www.inta.gob.ar/documentos.
- AUWETER, H.; BERGHAUS, R.; LEVY, T.; NOLTE, M. 2010. New approaches to optimize spray efficacy and foliar uptake. *International Advances in Pesticide Application. Aspects of Applied Biology* 99:117-122.
- BACHE, D. H. AND D. R. JOHNSTONE. 1992. Microclimate and spray dispersion. Ellis Horwood, New York, 239 pp.
- BAIGORRI, H. E. J. 2002. Manejo del cultivo de la soja en Argentina. Actualizaciones. INTA Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juarez. Desarrollo y crecimiento de cultivares de GM II al IX en seis FS de octubre a enero en Reconquista, Santa Fe. Campaña 2000/1. pp 28-32.
- BAYER CROPSCIENCE S.A. 2013. Testeo de alto volumen vs bajo volumen aplicación de Solomon o-teq y posterior determinación de Betacyflutrina en hoja mediante cromatografía. Laboratorio Microquim S.A., datos no publicados.
- BOUKHALFA, H. H.; MASSINON, M.; BELHAMRA, M.; LEBEAU, F. 2014. Contribution of spray droplet pinning fragmentation to canopy Retention. *Crop Protection* 56 (2014) 91- 97.
- BURT, E. and D. SMITH. 1974. Effect of droplet sizes on deposition of ULV spray. *J. of Econ. Ent.* 67 (67) : 751-754.
- BURKHARDT, J.; BASI, S.; PARIYAR, S.; HUNSCHE, M. 2012. Stomatal penetration by aqueous solutions – an update involving leaf surface particles .Institute of Crop Science and Resource Conservation, Plant Nutrition Group, *New Phytologist* (2012) 196: 774–787

- BUTLER ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. 1997. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat-fan nozzles. *Crop Prot.* 16(1): 41-50.
- CARMONA, M. 2005. Aplicar eficientemente los agroquímicos: Capítulo: Roya asiática de la soja. Monitoreo, Fungicidas y su relación con la calidad de aplicación y éxito de control. Una visión desde la Fitopatología. Ed.: INTA, Mario Bogliani y Jorge Hilbert editores. pp 31-42.
- CARMONA, M.; GALLY, M.; SAUTUA, F. 2009. Identificación y manejo de las enfermedades. Capítulo 5: 99-127 *in* GARCÍA et al., 2009. Manual del cultivo de soja. 1ª ed. Buenos Aires: International Plant Nutrition Institute. 180 pp.
- CASTILLO, B. 2010. Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas. Capítulo 4: 55 - 64 *in*: Magdalena et al., 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED, Red "PULSO". Área de comunicaciones del INTA Alto Valle. 199 p.
- CERRUTO, E., D'AMICO, R., FAILLA, S., SCHILLACI, G. 1998. Effects of axial fan and ground speed on spray coverage and impacts number in citrus groves. *Oslo, Ag Eng*, 88-a-020.
- CHAPPLE, A. C.; WOLF, T. M.; DOWNER, R. A.; TAYLOR, R. A. J.; HALL, F. R. 1997. Use of nozzle-induced air-entrainment to reduce active ingredient requirements for pest control. *Crop Protection Vol.* 16 n° 4 pp. 323 - 330.
- COOKE, B.K.; HISLOP, E.C. 1993. Spray Tracing Techniques. Application Technology for Crop Protection. U.K, CAB International. Cap 2: 85-100.
- COMBELLACK, J. H.; WESTERN, N. M.; RICHARDSON, R. G. 1996. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. *Crop Proteccion.* Vol. 15 No 2. pp 147-152.
- CUNNINGHAM, R.T.; BRANN, J.L.; FLEMING, G.A. 1962. Factors Affecting the Evaporation of Water from Droplets in Airblast Spraying. *J. of Econ. Ent.* 55 (2): 192-199.
- COWELL, C; LAVERS, A; TAYLOR, W. 1988. A preliminary evaluation of a surface deposit fluorimeter for assessing spray deposition in the field. *Annales International Symposium on pesticide application.* París, ANPP. Session 1: 19-29.
- CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY R.A.; RICHARDSON G.M. 2001a. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axialfan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. *Crop Protection* 20: 13 – 30.

- CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY R.A.; RICHARDSON G.M. 2001b. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. *Crop Protection* 20: 333 – 343
- CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY R.A.; RICHARDSON G.M. 2003. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate. *Crop Protection* 22: 381 – 394.
- CUNHA, J.P.A.R.; REIS, E. F.; SANTOS, R. O. 2006. Controle químico da ferrugem asiática da soja em função de ponta de pulverização e de volume de calda. *Ciência Rural*, v.36, n.5, p.1360-1366.
- CUNHA, M.; CARVALHO, C.; ANDRE R.S. MARCAL, A. R. S. 2012. Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. *Byosystems engineering* vol. 111 11 - 23.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., GONZALES, L.A., TABLADA, E.M., DIAZ, M., ROBLEDO, C.W., BARZARINI, M.G. 2008. *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. Séptima edición. 331 pp.
- DORUCHOWSKI, G.; SVENSSON, S.A.; NORDMARK, L. 1996. Spray deposit within apple trees of differing sizes and geometry at low, medium and high spray volumes. *International Conference on IFP*. 289-294.
- DU PUY, J.; MARCHAND, M.; PELOSSIER, R. 1985. Approche methodologique de l'evaluation biologique d'un fongicide colza en traitement aeriew UBV et BV. *Annales International Symposium on pesticide application*. París, ANPP, 5: 275-280.
- EBERT, T.A.; TAYLOR, R.A.J.; DOWNER, R.A.; HALL, F.R. 1999. Deposit structure and efficacy of pesticide application. 2: trichoplusia ni control on cabbage with fipronil. *Pesticide Science*. 55: 793-798.
- ETIENNOT, A. E. 1997. Técnica de aplicación de fitoterápicos. En Ficha Nro. 5. *Sistemas de aplicación. Terapéutica Vegetal*. UBA. 39 p.
- FAO. 1988. *Aplicación de plaguicidas. Mecanización Agrícola*. Roma, Italia.
- FURNESS, G.O.; MAGAREY, P.A.; MILLER, P.H.; DREW, H.J. 1998. Fruit tree and vine sprayer calibration based on canopy size and length of row: unit canopy row (UCR) method. *Crop Protection*. 17: 639-644.

- GAFFNEY, J. F. AND GOEDE A. 2009. Aerial Application Optimization. ASABE/NAAA Technical Session. 43rd Annual National Agricultural Aviation Association Convention. An ASABE Section Meeting Presentation. Paper number: AA09-09.
- GARCÍA, F. O.; CIAMPITTI, I. A.; BAIGORRI, H. J. 2009. Manual del cultivo de soja. 1^a ed. Buenos Aires: International Plant Nutrition Institute. 180 pp.
- GASSEN, D. N. 2011. Informe Técnico VMV Siembras – HELM. N° 15. Revista Plantio Direto, n.61, 2011. P.24.1.
- GILES, D. K. 1992. An Analysis of Spray Application Methodology for the Greenhouse: Air-Carrier, Electrostatic Sprayers. University of California Davis.
- HANNA, M. H.; ROBERTSON, A.; CARLTON, M. W.; WOLF, R. E. 2009. Effects of nozzle type and carrier application on the control of leaf spot diseases of soybean. Transaction of the ASABE. Appl Eng Agric 25: 5–13.
- HERBST, A. 2001. Droplet sizing on agricultural sprays – A comparison of measuring systems using a Standard droplet size classification scheme. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Division for Application Techniques.
- HERZOG, D. C. 1980. Sampling soybean looper on soybean. In Sampling methods in soybean entomology. Kogan, M & D.C. Herzog (Eds). Chapter 7. pp 141-168.
- HEWITT, J. A.; VALCORE, D. L.; TESKE, M. E.; SCHIK, R. J. 1997. Drop Size Classifications for Agricultural Spray. Spraying Systems Co. Wheaton, USA.
- HILL, B.; INABA, J. 1989 Use of water-sensitive paper to monitor the deposition of aerially applied insecticides. J. Econ. Entomol. 82 (3):974-980
- HIMEL, C.M. (1974) Analytical methodology in ULV. In: "Pesticide application by ULV methods" *British Crop Protection Council Monograph No. 11*, 112-119
- HISLOP, E.; WESTERN, N. 1993. Air assisted spraying of cereal plants under controlled conditions. Strasbourg, Annales International Symposium on pesticides application. BCPC. 3: 289-296.
- HOLOWNICKI, R.; DORUCHOWSKI, G.; GODYN, A.; SWIECHOWSKI, W. 1998. Spray deposit within apple tree canopy as affected by the air-jet direction. Oslo, AgEng. 98-a-021.
- HOLOWNICKI, R.; DORUCHOWSKI, G.; GODYN, A.; SWIECHOWSKI, W. 2000. Variation of spray deposit and loss with the air-jet direction applied in orchards. J.agric. Engng. Res. 77(2): 129 -136.

- HOLSHOUSER, D.L.; J.P.WHITTAKER. 2002. Plant population and row spacing effects on early soybean production systems in the Mid Atlantic USA. *Agron.J.* 94:603-611.
- HUANG, Y.; THOMSON, S. J.; ORTIZ, B. V.; REDDY, K. N.; DING, W.; ZABLOTOWICZ, R. M.; BRIGHT, J.R. 2010. Airborne remote sensing assessment of the damage to cotton caused by spray drift from aerially applied glyphosate through spray deposition measurements. *Biosystems engineering* 107 (2010) 212 - 220.
- IRGAZABAL, D.; FICHETTI, P.; GALVEZ, M. C.; LAGUZZI, M. A.; LABAQUE M.; WEISSBEIN, A. 2009. Reconocimiento y manejo de plagas. Capítulo 6: 129-150 *in: García et al., 2009. Manual de manejo del cultivo de soja. IPNI. 190 p.*
- KATHRYN, B. A. 2000. Velvetbean Caterpillar, *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). University of Florida. IFAS Extension. EENY – 151.
- KIRK, I. W., B. K. FRITZ, and W. C. HOFFMAN. 2004. Aerial Methods for increasing spray deposits on wheat heads. Paper number 041029, 2004 ASAE annual Meeting.
- LEIVA, P. D. 2011. Pastillas para pulverización agrícola, su correcta selección y uso para una óptima calidad de aplicación. INTA. EEA Pergamino. pp. 22.
- MACIA, G.; CID, R. 2010. Las boquillas de pulverización. Capítulo 6, p 76 - 87 *in: Magdalena et al., 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO". Area de comunicación de INTA Alto Valle.*
- McMULLAN, P. M. 1995. Effect of spray volume, spray pressure and adjuvant volume on efficacy of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl. *Agriculture and Agri-Food Canada. Crop Protection Vol. 14, No. 7, pp. 549-554.*
- MAGDALENA, J. C. 2004. Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus doméstica*, Borkh). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 124 pp.
- MARANI, A., LEVI, D. 1973. Effect of soil moisture during early stages of development on growth and yield of cotton plants. *Agronomy Journal* 65: 637-641.
- MARQUEZ, L. 1994. Aplicaciones en cultivos bajos hortícolas: problemática y soluciones: Curso de Aplicación Ecompatible de Productos Fitosanitarios. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, ES. 28 p.
- MARQUEZ, L. 1985. Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de fitosanitarios. Libro. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 124 p.

- MAY, M.; STEVENS, D. 1993. Disease control and placement of spray in winter wheat using sleeve boom and twin fluid nozzle spayers. Strasbourg, Annales International Symposium on pesticides application. BCPC.
- METCALF, R. L. 1980. Changing role of insecticides in crop protection. *Ann. Rev. Entom.*, 25:219-256.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA DE LA NACION. 2014. Anuario estadístico. Productos primarios. Cereales y oleaginosas. Datos de la producción argentina *in*: Bolsa de Comercio de Rosario. <http://www.bcr.com.ar>.
- MILLER, P. C. H., AND BUTTLER ELLIS, M. C. 2000. Effects of formulation on spray generation, delivery to the target, and how adjuvants influence the process. *Plant Prot.* 19(8-10): 609-615.
- MOLTONI, A.; MOLTONI, L.; VENTURELLI, L.; FUICA, A.; MASIA, G. 2006. Site-Specific Weed Control: Desempeño de un detector de maleza diseñado y construido en el Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar. Presentado en XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Joao Pessoa – PS. Publicaciones del INTA, Buenos Aires.
- MORRIS, J. G. 1975. Fisicoquímica para biólogos. Conceptos básicos para las facultades de medicina, farmacia y biología. Edición en español. Editorial Reverté, SA. PP. 59 – 69.
- NAVARRO, F. R.; SAINI, E. D.; LEIVA P. D. 2009. Clave pictórica de polillas de interés agrícola, agrupadas por relación de semejanza. Primera Edición. INTA EEA Pergamino.
- NORDBO, E.; STEERMEN, J. K.; KITKNELT, E. 1995. Deposition and efficiency of herbicide sprays in Sugar beet with twin-fluid, low-drift and conventional hydraulic nozzles. *Crop Protection* Vol. 14, No. 3, pp. 237-240.
- NUYTTENS, D., SCHAMPHELEIRE, P., VERBOVEN, P., BRUSSELMAN, E., DEKEYSER, D. 2009. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. *Transactions of the ASABE*. Vol. 52(5): 1471 – 1480.
- NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. 2007. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering* 97: 333-345.
- LI-COR, 1992. LAI-2000 plant canopy analyzer. Operating manual. Li-Cor.
- OZKAN, H. E. 1998. Effects of major variables on drift distances of spray droplets. Fact Sheet AEX. Columbus, Ohio. Ohio State University Extension. 525-98.
- PALLADINI, L. 2000. Metodologias para avaliação da deposição em pulverizações. Tese (doutorado) Universidade Estadual Paulista, Botucatu 111p.

- PAPA, J. C.; CIAMPITTI, I. A. 2009. Identificación y manejo de malezas. Capítulo 4: 77-98 in GARCÍA, F. O. et al., 2009. Manual del cultivo de soja. 1ª ed. Buenos Aires: International Plant Nutrition Institute. 180 pp.
- PARKIN, C. 1993. Methods for measuring spray droplet sizes. En: Application technology for crop protection. U.K., CAB International. Cap 2: 57-84.
- PÉREZ H. (s.f.). Manual de Técnicas de Aplicación. Principios y Fundamentos. Syngenta. Colombia. pp. 162.
- PEROTTI, E. Y GAMUNDI, J. C. 2009. La importancia de saber proteger oportunamente las hojas del cultivo de soja. Para mejorar la producción 42 – EEA INTA Oliveros 113 – 117 pp.
- PEZZI, F.; RONDELLI, V. 2000. The performance of an Air-assisted Sprayer operating in Vines. J. Agric. Engng Res. (76): 331 – 340
- PLANAS, S.; SOLANELLES, F.; FILLAT, A.; PIFARRÉ, C. 1996. A proposal of methodology for air-assited sprayer assessment in apple orchards. International conference on agricultural engineering. vol 1. AgEng 96-a-149.
- PORRAS PIEDRA, A.; PORRAS SORIANO, A. 2006. Tecnología de la pulverización de productos fitosanitarios sobre las plantas cultivadas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes.
- REICHARD, D. L., H. ZHU, R. D. FOX, R. D. BRAZEE. 1992. Computer Simulation of Variables that Influence Spray Drift. Transactions of the ASAE, 35, N° 5, 1401-1407.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. 2006. How development a soybean plant. Especial report N° 53. Cooperative Services of Extension of the Sciences and Technologies University of Iowa States, Ames, Iowa, USA. 20 p.
- RUVER, A. 2011. Caldo para la aplicación de fumigación de paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) Utilizando diferentes boquillas de pulverización. Tesis presentada a la Universidad Estatal de Maringá, en el marco de requisitos del Programa de Post- Licenciatura en Agronomía obteniendo el título de Maestro, Brasil 04-2011.
- SALYANI, M.; FOX, R. 1999. Evaluation of spray quality by oil-and water-sensitive papers. Transactions of the ASAE. 42 (1): 37-43.
- SCHICK, R. J. 2006. Spray Technology Reference Guide: Understanding Drop Size. Spray Analysis and Research Services. Bulletin N° 459B. Page 5.
- SCHONHERR, J and BUKOVAC, M. J. 1971. Penetration of Stomata by Liquids. Dependence on surface tension, wettability, and stomatal morphology'. Plant Physiol. (1972) 49, 813-819.

- SMITH, D. B., S. D. ASKEW, W. H. MORRIS, AND M. BOYETTE. 2000. Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. *Trans. ASAE* 43(2): 255-259.
- SIRIGNANO, W. A. 1999. *Fluid dynamics and transport of droplets and sprays*. Cambridge University Press. UK. 311p.
- SOUTHCOTCOMBE, E. S. E.; MILLER, P. C. H.; GANZELMEYER, H., VAN DE 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 – Weeds 5A-1. 371-380.
- SPRAY DRIFT TASK FORCE. 2001. (SDTF) A summary of Tank Mix and Nozzle Effects on Droplet Size.
- SYNGENTA. (2002). *Water-sensitive paper for monitoring spray distributions*. Basel: Syngenta Crop Protection AG.
- TAYLOR, W. A.; WOMAC, A. R.; MILLER, P. C. H.; TAYLOR, B.; (2004). An attempt to relate drop size to drift risk. *Proceedings of the International Conference on Pesticide Application for Drift Management*, pp 210-223.
- TEEJET. 2009. *Catálogo 50A-E. Spraying Systems Co. Wheaton, Illinois*. EE.UU. 192 p.
- TESKE, M. E.; THISTLE, H. W.; HEWITT, A. J.; KIRK, I. W.; DEXTER, R. W.; GHENT, J. H. 2005. Rotary atomizer drop size distribution database. *Transactions of the ASAE*. Vol. 48(3): 17-921.
- TEXEIRA, M. M. 2010. Estudio de la población de gotas de pulverización. Capítulo 5: 67 - 76 *in*: Magdalena et al., 2010. *Tecnología de aplicación de agroquímicos*. CYTED. Red "PULSO". Área de comunicaciones del INTA Alto Valle. 199 p.
- TIAN, L. 2002. Development of a sensor – based precision herbicide application system. *Computer and Electronics in Agriculture*. Vol. 36, issues 2-3. Pages 133-149.
- TRAVIS, J.; SKROCH, W.; SUTTON, T. 1987a. Effect of travel speed, application volume, and nozzle arrangement on deposition and distribution of pesticides in apple trees. *Plant disease*. 71 (7): 606-612.
- TRAVIS, J.; SKROCH, W.; SUTTON, T. 1987b. Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. *Plant disease*. 71 (7): 613-615.
- URRETABIZKAYA, N.; VASICEK, A.; SAINI, E. 2010. *Insectos Perjudiciales de Importancia Agronómica. Lepidopteros*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); Universidad Nacional de Lomas de Zamora; Universidad

Nacional de La Plata. Página/s: 77. ISBN 978-987-1623-56-3. Hospedero: Soja - Referencia: 410.

VARGAS JIMENEZ, J., MACARULLA, J. M. 1984. Físicoquímica Fisiológica. Sexta Edición. Editorial Interamericana. PP 122 – 129.

VILLALBA FARINHA, J.; MARTINS, D.; VILANOVA COSTA, N.; DAVID DOMINGOS, V. 2009. Deposição da calda de pulverização em cultivares de soja no estádio R1. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.6, p.1738-1744 ISSN 0103-8478.

VILLALBA, J. y HETZ, E. 2010. Deriva de productos agroquímicos - Efecto de las condiciones ambientales. Capítulo 3: 45 - 54 *in* Magdalena et al., 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos. CYTED. Red "PULSO". Área de comunicaciones del INTA Alto Valle.

WATSON, D.J. 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crop. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11:41-76.

WOLF, R. E. AND MINIHAN, C. L. 2008. Comparison of Drift Potential for Venturi, Extended Range, And Turbo Flat-fan Nozzles.

YU, Y.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. 2009. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. *Power and Machinery. Biosystems engineering* 104 (2009) 32 4–334.

ZHANG, X; HENRIQUES, R; LIN, S; NIU, Q; CHUA, N. 2006. Agrobacterium-mediated transformation of *Arabidopsis thaliana* using the floral dip method. *Nature Protocols* 1, 641 – 646.

ZHANG, H.; LAN, Y.; LACEY, R.; HOFFMANN, W. C.; MARTIN, D. E.; FRITZ, B.; LOPEZ, J. Jr. 2010. Ground-based spectral reflectance measurements for evaluating the efficacy of aerially- applied glyphosate treatments. *Biosystems Engineering* 107 (2010) 10 - 5.

ZHU, H.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, CHARLES R.; OZKAN, E. H.; BRAZEE, R. D.; FOX, R. D. 2006. Dynamic Air Velocity and Spray Deposition Inside Dense Nursery Crops with a Multi-Jet Air-Assist Sprayer. ASABE. Written for presentation at the 2006 ASABE Annual International Meeting. Portland, Oregon. Paper N°: 061125.