

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN UN CULTIVO DE ESPINACA

JUAN DAVID SESQUILE PEÑA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
BOGOTÁ D.C
2014

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN UN CULTIVO DE ESPINACA

JUAN DAVID SESQUILE PEÑA

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
MAGISTER EN INGENIERÍA - INGENIERÍA AGRÍCOLA

Director (a):
BERNARDO CASTILLO HERRÁN
Ph. D. Mecanización Agrícola

Línea de Investigación:
ADECUACIÓN DE TIERRAS Y MANEJO SOSTENIBLE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
BOGOTÁ D.C
2014

Nota de Aceptación

Dr. Jesús Hernán Camacho Tamayo

Dr. Laureno Guerrero Jiménez

Dr. Bernardo Castillo Herrán

Bogotá D.C., 1 de Octubre de 2014

A Dios
A mi madre por su cariño y comprensión
A mi padre por sus consejos y ayuda
A mis hermanas Sonia y Margarita por su apoyo

AGRADECIMIENTOS

Al profesor BERNARDO CASTILLO HERRÁN por su orientación y colaboración en la realización de este trabajo.

Al ingeniero JUAN PABLO TENZA PONGUTA por su ayuda y consejos durante la realización de este trabajo.

Al CENTRO AGROPECUARIO MARENGO por poner a mi disposición el lugar, personal y un sin número de recursos para realizar mi investigación.

Al LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA ANTONIO ANGARITA ZERDA de la FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS por el préstamo de su planta física.

Al DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA por el préstamo de su planta física y sus equipos.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ por brindarme sus recursos para realizar este trabajo.

RESUMEN

Se realizaron dos ensayo de campo para evaluar el comportamiento de 3 boquillas de cono hueco (TeeJet TX800050VK, TeeJet TXA8004VK y TX-Royal Condor) y una boquilla de abanico plano (TeeJet XR8004VS), con dos técnicas de aplicación en un cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) establecido en la sabana de Bogotá. En ambos ensayo se realizaron evaluaciones mediante análisis de imagen para determinar la calidad de las aplicaciones considerando como parámetros los tamaños representativos, la amplitud relativa (SPAN), el coeficiente q de la función de Rosin Rammler, la densidad de manchas o gotas por unidad de superficie y el porcentaje de recubrimiento. Para evaluar la calidad de la aplicación de los plaguicidas se utilizaron colectores de papel hidrosensible y el trazador fluorescente Tinopal CBS-X, se uso para evaluar los depósitos secos de mezcla (agua + plaguicida + trazador) sobre las hojas. Entre tanto, para el segundo ensayo la cantidad de trazador depositas sobre las hojas fue determinada mediante espectrofotometría de absorción. Los resultados de esta investigación mostraron que la técnica de aplicación de dos pases con la boquilla TX-Royal Condor, de baja descarga y de gota fina presenta las mejores características para la aplicación de fungicidas e insecticidas de acción de sistémica y de contacto, con una pulverizadora de espalda de accionamiento manual. Además se observó que el método de los colectores de papel hidrosensible es adecuado para evaluara la calidad de aplicación con tasa de aplicación menores a 500 L/ha. Entre tanto, se observo la existencia de una correlación lineal entre el porcentaje de recubrimiento medido en las hojas y el porcentaje de recubrimiento medido en los colectores.

Palabras clave: Calidad de aplicación, Colectores de papel hidrosensible, Trazador Fluorescente, Recubrimiento.

ABSTRACT

We realised 2 field tests to evaluate the behaviour of 3 hollow cone nozzles (TeeJet TX800050VK, TeeJet TXA8004VK and TX-Royal Condor) and 1 flat fan nozzle (TeeJet XR8004VS), with 2 application techniques in a spinach crop (*Spinacea oleracea* l) in Bogota's savannah. Both tests were evaluated with image analysis to determinate the quality of the application considering parameters like representative sizes, relative width (SPAN), the Rosin Rammler coefficient, the density by spots or drops per unit area and covering percentage. To evaluate the quality of the application of pesticides were used water sensitive paper and the fluorescent tracer Tinopal CBS-X, to evaluate dry mixed deposits (Water+pesticide+tracer) over the leaves. In the meanwhile, for the second test the tracer quantity over the leaves was determined absorption spectrophotometry. The results of this investigation showed that the 2 steps application with the nozzle TX-Royal Condor, of low discharge and fine drops shows the bests characteristics for fungicides and insecticides application of the type systemic and contact action, with manually operated backpack sprayer. Also was observed that the water sensitive paper collector method is suitable to evaluate the application quality with an application rate under 500 L/ha. Meanwhile, it was observed that there was a lineal relation between the measured coating on leaves and the coating percentage measured in the collectors.

Keywords: Quality of the application, Water sensitive paper, Fluorescent tracer, Coating.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 INFORMACIÓN GENERAL LA ESPINACA	4
1.1.1 Descripción Agronómica	4
1.1.2 Principales plagas y enfermedades de la espinaca en la sabana de Bogotá.....	5
1.2 PRACTICAS CONVENCIONALES DE CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	7
1.3 TÉCNICAS Y EQUIPOS DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS	8
1.3.1 Equipos de accionamiento manual para pulverizaciones hidráulicas.....	9
1.3.2 Tipos de boquillas.....	10
1.3.3 Clasificación de las boquillas	15
1.4 PRODUCCIÓN DE GOTAS.....	15
1.4.1 Parámetros de evaluación de aplicación	16
1.4.2 Tamaños de gota	18
1.4.3 Distribución de tamaños de gota	20
1.5 APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN ESPINACA Y OTROS CULTIVOS HORTÍCOLAS.....	22
1.6 USO DE COLECTORES DE PAPEL HIDROSENSIBLE PARA EVALUACIÓN DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS.....	23
1.6.1 Factor de expansión de las gotas	24
1.6.2 Análisis de imagen.....	25
1.6.3 Uso de WSP como colectores de artificiales para evaluar la aplicación de plaguicidas: trabajos previos.....	26
1.6.4 Estudios complementarios de colectores artificiales.....	30
1.7 USO DE TRAZADORES FLUORESCENTES PARA EVALUACIÓN DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS.....	30
1.7.1 Método Cualitativo	31

1.7.2	Uso de trazadores fluorescentes para evaluar cualitativamente la aplicación de plaguicidas: trabajos previos.....	32
1.7.3	Método cuantitativo	35
1.7.4	Cuantificación de los depósitos.....	35
1.7.5	Fotodegradación	39
1.7.6	Depósitos: trabajos previos.....	40
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.1	LOCALIZACIÓN.....	42
2.2	ELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	43
2.3	ELECCIÓN DEL EQUIPO DE PULVERIZACIÓN	43
2.4	ELECCIÓN DE BOQUILLAS.....	43
2.5	ELECCIÓN DEL TRAZADOR.....	44
2.6	ENSAYO 1	45
2.6.1	Establecimiento del cultivo	45
2.6.2	Diseño Experimental	47
2.6.3	Procedimientos de campo para la recolección de muestras	49
2.6.4	Diagnóstico y control	50
2.6.5	Calibración de la pulverizadora de espalda	50
2.6.6	Montajes fotográficos	51
2.6.7	Procedimiento de análisis de imagen	52
2.6.8	Determinación de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación	55
2.7	ENSAYO 2	56
2.7.1	Establecimiento del cultivo	56
2.7.2	Diseño experimental	57
2.7.3	Procedimientos de campo para la recolección de muestras	59
2.7.4	Diagnostico y control	59
2.7.5	Calibración de la pulverizadora de espalda	60
2.7.6	Determinación de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación	60
2.7.7	Metodología de recolección de muestras para determinar los depósitos	60
2.8	ANÁLISIS DE LABORATORIO	61
2.8.1	Características químicas del tinopal CBS-X	61
2.8.2	Método de cuantificación.....	62

2.8.3	Soluciones de laboratorio	63
2.8.4	Metodología para obtener el espectro de absorción	64
2.8.5	Limitaciones de la ley de Beer.....	65
2.8.6	Comprobación de la ley de Beer: curva de calibración.....	67
2.8.7	Fotodegradación	68
2.8.8	Estabilidad del trazador	69
2.8.9	Cuantificación de los depósitos.....	70
2.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	71
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
3.1	ENSAYO 1	72
3.1.1	Calibración de la pulverizadora de espalda	72
3.1.2	Estudio descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores de papel hidrosensible	73
3.1.3	Estudio descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente	80
3.1.4	Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores.....	85
3.1.5	Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente	87
3.1.6	Discusión: Selección de la boquilla y del tratamiento adecuado.....	96
3.2	ENSAYO 2	98
3.2.1	Calibración de la pulverizadora de espalda	98
3.2.2	Análisis descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores.....	99
3.2.3	Análisis descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente	104
3.2.4	Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores.....	109
3.2.5	Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente	112
3.2.6	Discusión: Selección de la boquilla y del tratamiento adecuado.....	119
3.3	ANÁLISIS DE CORRELACIONES.....	121
3.2.7	Análisis de correlaciones para el ensayo 1.....	121

3.2.8	Análisis de correlaciones para el ensayo 2.....	124
3.4	CONSIDERACIONES GENERALES.....	125
	CONCLUSIONES.....	129
	RECOMENDACIONES.....	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	132

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción botánica de la planta de espinaca.	5
Tabla 2-1. Características generales de las técnicas de aplicación.	8
Tabla 2.2. Características generales de las técnicas de aplicación.....	9
Tabla 3. Tipo y características de materiales de las boquillas de pulverización.	13
Tabla 4. Recomendaciones mínimas de cobertura de gotas para diferentes tipos de tratamientos en cultivos bajos.....	17
Tabla 5. Clasificación de gotas según su correspondiente categoría, símbolo, código de color y tamaño.	19
Tabla 6. Valores de la dispersión de tamaños (q) para 4 boquillas Hardi.....	21
Tabla 7. Rango de gotas para aplicación de plaguicidas.	23
Tabla 8. Precipitaciones mensuales del 2011.	42
Tabla 9. Características de las boquillas.....	44
Tabla 10. Requerimientos nutricionales para un cultivo de espinaca.	46
Tabla 11. Fuentes de fertilizantes y cantidades totales a aplicar en el ciclo de cultivo.....	46
Tabla 12. Lista de grupos experimentales para el ensayo 1.	48
Tabla 13. Fuentes de fertilizantes y cantidades totales a aplicar en el ciclo de cultivo.....	57
Tabla 14. Lista de grupos muestrales para el ensayo 2.	58
Tabla 15. Cantidad de ENGEO® 247 requerida para preparar la solución patrón de cada grupo experimental.	66
Tabla 16. Datos de absorbancia.	68
Tabla 17. Datos de foto degradación del tinopal CBS-X, para 30µl de solución patrón a tres periodos de exposición solar.	69
Tabla 18. Datos de absorbancia del Tinopal CBS-X para un periodo de almacenamiento de 370 minutos.	70
Tabla 19. Resumen de los volúmenes aplicados para el ensayo 1..	72
Tabla 20. Promedio de los datos experimentales para cada una de las variables respuesta del método de los colectores de papel hidrosensible del ensayo 1	74
Tabla 21. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas de baja descarga del ensayo 1.	75
Tabla 22. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas alta descarga del ensayo 1..	75
Tabla 23 Promedio de los datos experimentales para cada una de las variables respuesta del método del trazador fluorescente del ensayo 1.....	81

Tabla 24. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, q de Rosin-Rammler y la densidad de gotas de los colectores del ensayo 1.	85
Tabla 25. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} y SPAN del ensayo 1.	88
Tabla 26. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables q de Rosin-Rammler, densidad de manchas, porcentaje de recubrimiento de las hojas y porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1.....	88
Tabla 27. Resumen de los volúmenes aplicados en el ensayo 2.....	98
Tabla 28 .Promedio de los datos experimentales para cada una de variables respuesta del método de los colectores de papel hidrosensible del ensayo 2.....	99
Tabla 29. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas de baja descarga del ensayo 2.	100
Tabla 30. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas alta descarga del ensayo 2.	100
Tabla 31. Promedio de los datos experimentales para cada una de las variables respuesta del método del trazador fluorescente del ensayo 2.....	105
Tabla 32. Promedios del volumen de trazador depositado sobre las hojas.	108
Tabla 33. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, q de Rosin-Rammler y la densidad de gotas de los colectores del ensayo 2.	110
Tabla 34. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} y SPAN del ensayo 2.	112
Tabla 35. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables q , densidad de manchas, y porcentaje de recubrimiento de las hojas y los colectores del ensayo 2.	112
Tabla 36. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables de los colectores del ensayo 1.	121
Tabla 37. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables del método del trazador fluorescente y el porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 1.	122
Tabla 38. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables de los colectores del ensayo 2.	124
Tabla 39. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables del método del trazador fluorescente y el porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 2.	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Los componentes de una pulverizadora manual de tipo hidráulico.....	10
Figura 2. Patrones de distribución de las boquillas de cono.....	11
Figura 3. Patrones de distribución de las boquillas de abanico plano.....	11
Figura 4. Tipos de boquillas de abanico plano.....	12
Figura 5. Filtros de marca TeeJet para boquillas.....	13
Figura 6. Valores de cobertura teórica del ángulo de pulverización en función de la altura de pulverización.....	14
Figura 7. Proceso de pulverización de un chorro de líquido que emerge de una boquilla.....	15
Figura 8. Patrones de impacto de las gotas sobre una superficie sólida.....	16
Figura 9. Esquema de curvas de referencia para las 6 categorías de calidad de aplicación.....	19
Figura 10. Grafica de la función de Rosin-Rammler para distribución de los tamaños de las gotas.....	21
Figura 11. Etapas del proceso de análisis de imagen.....	32
Figura 12. Esquema de los surco del lote.....	45
Figura 13. Actividades realizadas en el establecimiento del cultivo.....	46
Figura 14. Esquema del lote con camas preseleccionadas para el ensayo 1.....	48
Figura 15. Hojas de espinaca con síntomas de ataque de Mildeo Velloso.....	50
Figura 16. Segmentación de la imagen de una hoja.....	52
Figura 17. Imagen de la hoja transformada a binaria.....	53
Figura 18. Segmentación de la imagen para un colector.....	53
Figura 19. Imagen del colector transformada a imagen binaria.....	54
Figura 20. Esquema de intervención de un colector.....	54
Figura 21. Actividades realizadas en el establecimiento del cultivo.....	56
Figura 22. Esquema del sorteo de las camas preseleccionadas para el ensayo 2.....	58
Figura 23: Hojas de espinaca con síntomas de ataque de Minador.....	60
Figura 24. Foto de una hoja con el patrón de cortes para obtener la solución de estudio de laboratorio.....	61
Figura 25. Estructura del Tinopal CBS-X.....	62
Figura 26. Equipo de laboratorio.....	64
Figura 27. Espectro de absorción del tinopal CBS-X sin plaguicida.....	65
Figura 28. Representación del espectro de absorción del tinopal con plaguicida y el espectro de absorción del tinopal sin plaguicida.....	66
Figura 29. Curva de calibración.....	68
Figura 30. Representación de las curvas de clasificación de los tamaños de gota para el ensayo 1.....	76

Figura 31. Gráficos de medias para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 1...	77
Figura 32. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler de los colectores del ensayo 1.....	78
Figura 33. Distribución acumulada de volumen por tamaños de gotas para la función de Rosin-Rammler y los datos experimentales de una de las repeticiones de la boquilla 1, por el envés..	78
Figura 34. Gráfico de medias de la densidad de gotas en los colectores del ensayo 1.	79
Figura 35. Gráfico de medias del porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 1.	80
Figura 36. Gráficos de medias para los tamaños representativos de las manchas sobre hojas del ensayo 1.	82
Figura 37. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre hojas del ensayo 1.	83
Figura 38. Gráficos de medias para la densidad de manchas sobre hojas del ensayo 1.	83
Figura 39. Gráficos de medias para los porcentajes de recubrimiento en las hojas del ensayo 1..	84
Figura 40. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 1.....	86
Figura 41. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para la variable densidad de gotas de los colectores del ensayo 1.....	87
Figura 42. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para los tamaños representativos de las manchas sobre las hojas del ensayo 1.....	89
Figura 43. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para D_{V50} , D_{V90}	90
Figura 44. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el SPAN del espectro de manchas del ensayo 1.....	91
Figura 45. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre las hojas del ensayo 1.	92
Figura 46. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable densidad de manchas del ensayo 1.	92
Figura 47. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable densidad de manchas del ensayo 1.	93
Figura 48. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 1.	94
Figura 49. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 1..	95
Figura 50. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1.....	95
Figura 51. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1.....	96
Figura 52. Representación de curvas de clasificación de los tamaños de gota para el ensayo 2. .	101
Figura 53. Gráficos de medias para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 2..	101
Figura 54. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler de los colectores del ensayo 2.....	102

Figura 55. Distribución acumulada de volumen por tamaños de gotas para la función de Rosin-Rammler, y los datos experimentales de una de las repeticiones de la boquilla 3, por el envés...	103
Figura 56. Gráfico de medias de la densidad de gotas en los colectores del ensayo 2.	103
Figura 57. Gráfico de medias del porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 2...	104
Figura 58. Gráfico de medias para el D_{V50} de las manchas sobre hojas del ensayo 2.	106
Figura 59. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre hojas del ensayo 2.	106
Figura 60. Gráficos de medias para la densidad de manchas en las hojas del ensayo 2.	107
Figura 61. Gráficos de medias para los porcentajes de recubrimiento en las hojas del ensayo 2..	107
Figura 62. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 2.....	110
Figura 63. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para la variable q de Rosin-Rammler de los colectores del ensayo 2.....	111
Figura 64. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para los tamaños representativos de las manchas sobre las hojas del ensayo 2.....	113
Figura 65. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para D_{V50}	114
Figura 66. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el SPAN del espectro de manchas del ensayo 2.....	115
Figura 67. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre las hojas del ensayo 2.	115
Figura 68. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable densidad de manchas del ensayo 2.....	116
Figura 69. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable densidad de manchas del ensayo 2.....	116
Figura 70. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 2.	117
Figura 71. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 1.....	117
Figura 72. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 2.....	118
Figura 73. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1.....	119
Figura 75. Diagrama de dispersión del recubrimiento en las hojas vs el recubrimiento en los colectores para el ensayo 1.....	123
Figura 76. Diagrama de dispersión de los promedios de recubrimiento en las hojas vs el promedio de recubrimiento en los colectores para el ensayo 1.....	123
Figura 76. Diagrama de dispersión del recubrimiento en las hojas vs el recubrimiento en los colectores del ensayo 2.....	125
Figura 77. Representación del fenómeno de escurrimiento en las hojas.....	126

LISTA ANEXOS

Anexo 1: Análisis estadístico para las variables evaluadas en el ensayo 1.....	141
Anexo 2: Análisis estadístico para las variables evaluadas en el ensayo 2.....	147
Anexo 3: Modelos lineales de los parámetros de pulverización.....	153
Anexo 4: Especificaciones del espectrofotómetro.....	155
Anexo 5: Características de la cámara.....	156
Anexo 6: Ficha técnica del tinopal CBS-X.....	158

INTRODUCCIÓN

La espinaca es una hortaliza de gran interés comercial y alimenticio, ya que según Flórez y Segura (2010), en las últimas décadas la demanda de hortalizas ha venido incrementándose gracias a los beneficios que genera estas en la salud. En Colombia, la espinaca se cultiva en departamentos de piso térmico frío como Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño, en donde predominan los pequeños agricultores, los cuales normalmente usan pulverizadores de espalda de accionamiento manual para aplicar los plaguicidas sobre los cultivos de espinaca. Pues estos equipos son propicios para áreas pequeñas o terrenos con pendientes, ya que son de fácil manipulación y de bajo costo. No obstante, la calidad de aplicación de estos equipos es cuestionable.

Ahora, en vista de que los cultivos de espinaca son susceptibles a múltiples plagas y enfermedades, es necesario emplear métodos de control, y según Romero et al. (2005), el método más usado por los agricultores para el control de plagas y enfermedades es la aplicación de plaguicidas, ya que ha demostrado ser uno de los más eficaces. Sin embargo, el éxito del control fitosanitario depende en gran medida de la calidad de la aplicación, entonces se requiere disponer de recomendaciones en torno a la selección del producto, el equipo, las boquillas y la técnica de aplicación, para que una adecuada cantidad de producto fitosanitario por unidad de superficie sea depositada en las zonas objetivo de la planta, y así obtener los efectos deseados.

En general, existe un gran interés en caracterizar las pulverizaciones agrícolas, con el fin de mejorar la calidad de aplicación, así que se requiere emplear algún tipo de método cuantitativo que permita evaluar la población de gotas que genera un equipo. En la literatura se reportan varios métodos, en donde cada uno tiene sus ventajas y desventajas, y su selección dependerá de la disponibilidad de recursos humanos y financieros, como de las características físicas y biológicas del cultivo.

Probablemente los colectores de papel hidrosensible sea la técnica más popular para determinar el espectro de gotas dejado por una pulverización, en vista de que es una técnica relativamente simple de implementar en campo. Dado que, los colectores pueden ser cortados de diversas formas y ser adheridos a objetos como hojas, tallos con el objeto de capturar de la mejor manera, las gotas de la nube de pulverización. Sin embargo, Magdalena (2004), no recomienda su uso cuando se emplean altas tasa de aplicación, o en condiciones de alta humedad. Por otra parte, Porras (2006), recomienda usar superficies naturales como las hojas, para evaluar la cantidad de producto fitosanitario dejado sobre la superficie de la planta, pues la capacidad de retención en las hojas suele ser diferente a las superficies artificiales como los colectores de papel hidrosensible. Es por esto que, el método de los trazadores fluorescentes sea de mayor interés hoy en día, pues según Palladini, et al. (2005), este es un método práctico y preciso, que permite evaluar cuantitativa y cualitativamente la cantidad de mezcla que se depositó sobre las plantas luego de una pulverización.

El método de los trazadores fluorescentes consiste en adicionar una sustancia fluorescente en la mezcla que se va a pulverizar, y esta sustancia es usada para evaluar la calidad de aplicación mediante un método cualitativo, ya que la superficie vegetal cubierta por los depósitos de mezcla (agua + plaguicida + trazador), al secarse sobre la hoja, dejan manchas que emiten fluorescencia al ser expuestas a luz ultravioleta, lo cual, otorga un excelente contraste para el análisis de imagen. Entre tanto, el método cuantitativo se basa en la cuantificación mediante un método espectrofotométrico de absorción de la cantidad de trazador depositado sobre la superficie vegetal. Por lo cual, en la metodología que se empleó para la toma de las muestras de campo, se tuvo en cuenta factores como la interferencia ambiental (contaminación de muestras), la presencia de sustancias inhibidoras, como los plaguicidas y el pH del solvente, pues se deben eliminar o controlar todos los posibles errores.

Esta investigación busco establecer las características óptimas de la aplicación de plaguicidas en un cultivo de espinaca, mediante la utilización de parámetros de las gotas como; los tamaños representativos, la densidad de manchas por unidad de superficie y el porcentaje de recubrimiento.

OBJETIVOS

General

- Evaluar la calidad de aplicación de plaguicidas en un cultivo de espinaca en el centro agropecuario Marengo.

Específicos

- Implementar una metodología de colectores (con papel hidrosensible) para evaluar la deposición de plaguicidas.
- Implementar una metodología de trazadores fluorescentes (con el trazador tinopal) para evaluar la deposición de plaguicidas.
- Evaluar las metodologías implementadas para establecer cual se desempeña mejor en condiciones de campo.
- Establecer una técnica de aplicación adecuada para la aplicación de fungicidas e insecticidas en la espinaca.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 INFORMACIÓN GENERAL LA ESPINACA

La espinaca es una hortaliza que “pertenece a la familia de la Quenopodiáceas al igual que la acelga y la remolacha” (Caicedo, 1995), y su nombre científico es espinaca oleracea. Flórez y Segura (2010), mencionan que esta hortaliza es de interés alimenticio para gran parte la población mundial, gracias a los beneficios que genera en la salud, pues su alto contenido de fósforo, calcio, potasio, hierro, magnesio y yodo, hacen que la espinaca ayude en el desarrollo de los huesos y dientes.

Según la FAO (2011), la producción mundial de espinaca alrededor del mundo es encabezada por China como su principal productor, muy por encima de Estados Unidos, Japón o Turquía. En Colombia la producción de espinaca se concentra en tres departamentos; Cundinamarca con una participación del 89,4%, Antioquia con 7,5% y Norte de Santander con 3,1%, lo que convierte a Cundinamarca como el mayor productor a nivel nacional. De igual forma, en Cundinamarca se destacan tres el municipio; Cota como el mayor productor, pues concentra el 95,7% de la producción, seguido por Chía con el 2,8%, Cajica 1,1% y Guasca con el 0,3%, según reportes del Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural - MinAgricultura (2012).

1.1.1 Descripción Agronómica

En Colombia los municipios de piso térmico frío como Chía, Cajica y Guasca tienen las condiciones climáticas ideales para la producción de espinaca, ya que Flórez y Segura (2010), recomiendan zonas entre los 2000 a 3000 msnm, con temperaturas de 7°C como mínima, a 23°C como máxima, siendo la óptima 18 °C.

La espinaca como la mayoría de hortalizas requiere terrenos fértiles de buena estructura física y de características químicas idóneas. Según Chabur (2008) y Caicedo (1995), el suelo debe ser franco arenoso, con buen drenaje, rico en materia orgánica, con una buena disponibilidad de fósforo y nitrógeno, y un pH de 6,5 a 6,8 (ligeramente ácido). Además, sugieren mantener el suelo con un contenido de humedad próximo a capacidad de campo, pues la espinaca es sensible al exceso de agua, y basta con un riego mal dado, o una lluvia excesiva para perjudicar el desarrollo vegetativo.

Para este estudio, el ciclo de desarrollo de la espinaca se dividió en tres etapas, tal como lo proponen algunos autores (Gil, et al., 2007; Niño, et al., 2009), los cuales se basan en la escala de estadios de las plantas mono-y dicotiledóneas, conocida como escala “BBCH” de Meier (2001). Así que:

1. Etapa de germinación: va desde la siembra de la semilla hasta cuando la plántula expande completamente los cotiledones fuera del suelo (de 0 - 10 en los estadios secundarios de BBCH), y va del día 1 al 15.
2. Etapa de desarrollo de hojas: va desde la aparición de las primeras hojas verdaderas hasta cuando la roseta foliar alcanza el 70% del diámetro esperado (de 11 - 37 en los estadios secundarios de BBCH), y va del día 16 al 45.
3. Etapa de cosecha: Parte cuando la roseta foliar alcanza el 70% del diámetro esperado hasta cuando está se desarrolla completamente, alcanzado la altura típica de su variedad y más del 80% de su masa foliar típica (de 38 - 49 en los estadios secundarios de BBCH), y va del día 46 al 65.

Ahora bien, según Caicedo (1995), después del día 70 la planta entra en su fase reproductiva y como consecuencia la planta ya no es apta para la comercialización, pues las hojas se tornan fibrosas, senescentes y dejan de ser apetecible por el consumidor. Las principales características morfológicas de la espinaca, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción botánica de la planta de espinaca.

Órgano	Característica
Raíz	Pivotante, gruesa y con sistema radicular superficial de 15 a 20 cm de profundidad.
Tallo	Es de porte erecto, con una longitud que oscila entre 30 cm o más, sobre el se sitúan las hojas en forma de roseta y las flores.
Hojas	Caulíferas, alternas, con peciolo largos de color verde intenso a oscuro y de forma ovalada, redondeada o triangular, dependiendo del material vegetal.
Peciolo	Cóncavos, con coloración rojiza en la base, su longitud varía según el número de hojas, es más corto en las hojas jóvenes y más largo en las viejas.
Flores	<i>Flor femenina</i> : están conformadas por un perianto o tetraedro, ovarios uniovulares, estilo único, estigma dividido en 3 a 5 segmentos y se ubican en glomérulos axilares. <i>Flor masculina</i> : conformadas por un perianto de 4 a 5 pétalos, se agrupan en espigas laterales o axilares conformadas por 6 a 12 flores de color verde.

Fuente: Flórez y Segura, 2010.

1.1.2 Principales plagas y enfermedades de la espinaca en la sabana de Bogotá

Según los reportes de varios autores (Flórez & Segura, 2010; Gil et al., 2007; Romero et al., 2005, Caicedo, 1995; Chabur, 2008; Niño, et al., 2009), los cultivos de espinaca en la Sabana de Bogotá son susceptibles a múltiples plagas y enfermedades, las principales plagas de invertebrados son:

1. El **ácaro *Tyrophagus putrescentiae***, es descrito por Flórez y Segura (2010), como el acaro de la corona, ya que los adultos se ubican principalmente en el cogollo, o en las partes internas de la planta. El adulto y los estados inmaduros se alimentan de tejidos en descomposición como de los tiernos, causando agujeros redondeados o irregulares que aumentan a medida que la planta crece. Se toma como umbral de acción la simple presencia de un individuo adulto en el lote.

2. El **barrenador** *Delia sp.*, es descrito por Moya (2002) y Gil (2007), como una plaga que reside en el suelo, y que normalmente se sitúa cerca de la base de la planta que ataca. Las larvas perforan el tallo a la altura del cuello y barrenan el tejido del tallo y la raíz, ocasionando amarilla miento, marchitez y su posterior muerte de la planta. Por esta razón se realizan controles preventivos.
3. Las **Chisas** *Clavipalpus ursinus*, son descritas por Moya (2002), Gil (2007), Flórez y Segura (2010), como una plaga subterránea de hábito fitófago, que causan daños graves durante la germinación y desarrollo del cultivo, debido a que cortan las raíces de las plántulas ocasionando debilidad y la consecuente disminución del rendimiento del cultivo. Por esta razón se toma como umbral de acción 1 larva cada 10 plántulas, o 1 larva cada dos plantas adultas, ya que el ataque se desarrolla por focos y llega a ocasionar la pérdida completa de la cosecha.
4. Los **Trips** *Thysanoptera (Thripidae)*, son descritos por Gil (2007), Flórez y Segura (2010), como insectos polívoros. Esta plaga raspa la superficie de los tejidos para chupar el contenido de las células, ocasionando la aparición de cicatrices plateadas sobre los órganos afectados, lo que se considera como una deformación del producto.
5. Los **Trozadores** *Lepidoptera*, son descritos por Gil (2007), Flórez y Segura (2010), como una plaga que sigue dos patrones de ataque; Como larvas del cogollo, que normalmente atacan a la espinaca en estado de plántula, algunas de ellas serían; *Agrotis ipsilon*, *Peridroma saucia* y *Helicoverpa zea*. Como larvas de foliadoras, que normalmente atacan cuando la planta ya ha desplegado las hojas verdaderas, algunas de ellas serían; *Spodoptera exigua*, *Trichoplusia ni* y *Agrotis subterránea*. Los daños son ocasionados por las larvas, puede llegar al punto que pueden dejar únicamente la nervadura de las hojas. Por esta razón se toma como umbral de acción 1 larva cada 10 plántulas, o 1 larva cada dos plantas adultas.
6. El **Minador** *Liriomyza huidobrensis Blanchard*, es descrito por Rojas (2001), Moya (2002), Flórez y Segura (2010), como moscas pequeñas que tienen 2 mm de longitud, de color negro o grisáceo con manchas amarillas en el tórax, ocasionalmente con brillo metálico. Las hembras poseen ovipositor, el cual utilizan para perforar las hojas y colocar de 250 a 400 huevos en el parénquima foliar, y su periodo de incubación es de 3 a 5 días. Las larvas son de color blanco amarillento, y cuando están completamente desarrolladas miden 2 mm, y el período larval dura 15 días. El daño lo ocasionan principalmente las larvas, ya que cuando se alimentan van dejando minas o galerías que ocasionan la desecación de las hojas, con la posible caída de estas. El macho se alimenta en las picaduras generadas por la hembra para ovipositar o alimentarse. Por lo que, el primer signo de daño son los puntos blanquecinos que genera al hacer la picadura, y se toma como umbral de acción el 50 % las hojas con huevos o minas, o el 4% las hojas con minas en las primera etapas de desarrollo del cultivo.

Para especificar las enfermedades que atacan el cultivo de espinaca en la Sabana de Bogotá se toma en consideración las fases de germinación y desarrollo de hojas. Así que, las principales enfermedades son:

Fase de germinación (va del día 1 al 15 de establecerse el cultivo)

1. **Damping off**, descrito por Moya (2002), Niño (2009), Flórez y Segura (2010), como una enfermedad causada por un complejo fungoso que puede ser integrado por: *Pythium Nees.*, *Fusarium oxysporum*, *Schlecht.*, *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Rhizoctonia solani* J.G., Kühn. o el *Sclerotium Tode*. El síntoma más representativo es la pudrición de color marrón a negro en las raíces y la base del tallo, causando el amarillamiento de las hojas, volcamiento del tallo y posterior muerte de la planta. Por esta razón se toma como umbral de acción la simple

presencia de la enfermedad, ya que el control químico de esta enfermedad es difícil hacer, por lo cual se recomienda el uso de semilla certificada y resistente.

Fase de desarrollo de hojas (va del día 16 al 45 de establecerse el cultivo)

2. **Mildeo Velloso**, descrito por Chabur (2008), Flórez y Segura (2010), como una enfermedad causada por el hongo *Peronospora farinosa* f. sp. *spinaciae.*, que ataca en la mayoría de países donde se produce espinaca. Inicialmente el patógeno ataca el envés de la hoja, formando esporangióforos que tiene un tamaño entre 167-227 μm de longitud, y 110-148 μm de diámetro. La enfermedad aparece bajo condiciones de baja temperatura y alta humedad. Los síntomas acusados por este hongo son manchas irregulares de color amarillo pálido que aparecen en el haz de las hojas, y en el envés de las hojas se forma un micelio de color gris azulado oscuro, el cual tiene el tamaño de la lesión clorótica que se observa en el haz de la hoja. Se toma como umbral de acción la presencia de la enfermedad, ya que cuando el ataque es muy severo, las hojas se ven encrespadas y torcidas.
3. **Alternaria (*Alternaria* sp.)**, descrita por Niño (2009), Flórez y Segura (2010), como tizón temprano, y es una enfermedad ampliamente distribuida por todo el mundo. Su desarrollo se ve favorecido por condiciones de alta humedad y alta temperatura, y es considerada como una enfermedad secundaria y de poca severidad para la espinaca.
4. **Viruela (*Stemphylium botryosum*)**, descrito por Niño (2009) y Flórez & Segura (2010), como; Un miembro de la familia Pleosporaceae de los Deuteromycetes que afectan inicialmente las hojas viejas, para luego progresar a las más jóvenes. Se ve favorecido por el clima cálido y alta humedad relativa, y su diseminación se hace por medio del viento, o semillas infectadas. Esta enfermedad suele confundirse con la alternaria, pero el *Stemphylium botryosum* tiene manchas más pequeñas y de forma irregular.

1.2 PRACTICAS CONVENCIONALES DE CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Según Rodríguez (2008) en la producción de espinaca como en la mayoría de hortalizas, el principal limitante está en el manejo de plagas y enfermedades, ya que este problema normalmente se convierte en pérdidas económicas para el agricultor. Por tanto, para efectuar un correcto manejo de plagas y enfermedades es conveniente conocer los principales métodos de control, y estos son:

1. Control cultural: Descrito por Cañedo (2011) y Moya, et al. (2002), como prácticas preventivas que están orientadas a destruir las fuentes de infestación, creando condiciones desfavorables para el desarrollo de las plagas, algunas de ellas son; rotación de cultivos, utilizar plantas con resistencia genética, eliminar las plantas o partes hospederas y disponer adecuadamente los residuos de cosecha, utilizar una densidad de siembra adecuada, usar coberturas sobre la superficie del suelo, aplicar volúmenes óptimos de agua de riego, o el levantamiento de camas y parcelas de acuerdo al tipo de suelo y cultivo.
2. Control etológico: Descrito por Cañedo (2011) y Moya, et al. (2002), como el control de plagas que utiliza estímulos al comportamiento, como atrayentes de los insectos, y estos estímulos normalmente se emplean en trampas de feromonas, cebos y atrayentes cromáticos.

3. Control físico: Descrito por Cañedo (2011) y Arauz (1998), como; El combate de plagas y enfermedades por medios de tipo mecánico o térmico, también se usan barreras con adherentes. No obstante, muchas de estas prácticas de combate son consideradas prácticas de control cultural, porque se realizan como parte de las labores agrícolas normales.
4. Control biológico: Según Arauz (1998) y Moya, et al. (2002), este tipo de control se basa en la introducción de enemigos naturales, como: Parasitoides, depredadores, entomopatógenos y fitófagos, para mantener las poblaciones de plagas en niveles de daño económico aceptable. No obstante, es necesario conocer los mecanismos por los cuales se lleva a cabo sus efectos de infestación, para así poder desarrollar la estrategia adecuadas para su uso.
5. Control químico: Descrito por Arauz (1998) y Gwaitero (2010), como una de las herramientas más eficaces en la lucha contra las plagas y enfermedades, siempre y cuando se sigan las recomendaciones técnicas para un uso adecuado. Son sustancias químicas, que en su mayoría proceden de origen sintético, y habitualmente se les clasifican de acuerdo a la población que controlan, algunos ejemplos son; insecticidas, acaricidas, nematocidas, molusquicidas, herbicidas, fungicidas, entre otros.

1.3 TÉCNICAS Y EQUIPOS DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS

En la literatura técnica, comercial y científica son empleadas diferentes denominaciones, con las que se pretende clasificar los diferentes equipos usados para el control de plagas y enfermedades de los cultivos, por tal razón; Magdalena, et al. (2010), recomiendan usar como criterio de clasificación el principio de formación de las gotas. Con este criterio los equipos agrícolas se pueden clasificar como: hidráulicos, neumáticos, centrífugos y térmicos, las técnicas ultrasónicas y de campos eléctricos no se consideran por no ser comerciales en el país.

En las tablas 2-1 y 2-2, se presenta la clasificación de los equipos de aplicación de plaguicidas de transporte terrestre.

Tabla 2-1. Características generales de las técnicas de aplicación.

Técnicas de aplicación	Formación de la gota	Forma de desplazamiento	Tamaño medio de las gotas (μm)	Tipo de cultivo a tratar (en general)	Descripción
Hidráulica	Presión de líquido	Hombre o tractor	150-500 Llovizna- Lluvia	Cultivos de porte bajo en exterior e invernaderos y jardines.	La mezcla de plaguicida y líquido es impulsado por una bomba a una determinada presión, la cual encuentra resistencia a la salida, pues debe atravesar un estrechamiento o boquilla que rompe el chorro en finas gotas.

Fuente: Magdalena et al., (2010, p.98), Albert (1997, p.2), Márquez (2008, p.38-39), Vázquez (2000, p.1).

Tabla 2-2. Características generales de las técnicas de aplicación. (Continuación).

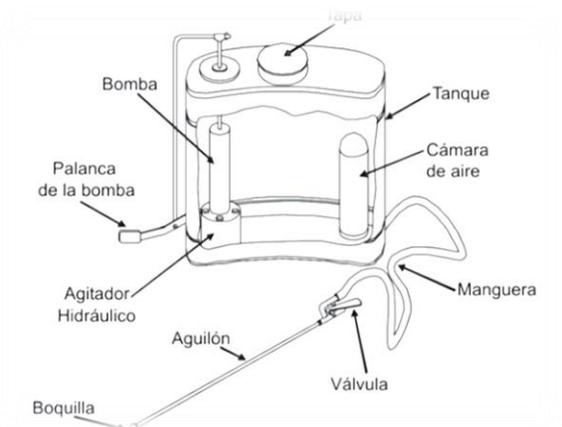
Técnicas de aplicación	Formación de la gota	Forma de desplazamiento	Tamaño medio de las gotas (μm)	Tipo de cultivo a tratar (en general)	Descripción
Neumática	Corriente de aire	Hombre o tractor	40-200 Niebla- Nube	Cultivos de porte alto y de alta densidad foliar.	La pulverización se produce por el choque de una corriente de aire a gran velocidad, con la mezcla de plaguicida y líquido en forma de lámina o vena líquida. La corriente de aire genera el impulso de transporte necesario para que las gotas alcancen la masa vegetal, con buena penetración foliar.
Centrífuga	Fuerza centrífuga	Hombre o tractor	50-100 Nube	Cultivos de porte bajo en exterior e invernaderos, jardines.	La mezcla de plaguicida y líquido ingresa por el centro de un disco que gira a gran velocidad, y sale pulverizado por la periferia debido a la fuerza centrífuga, logrando una población de gotas pequeñas y uniformes. Por tanto a mayor velocidad, menor tamaño de gota y menor volumen de líquido requerido.
Térmica	Gases de escape	Hombre o fija	> 50 Niebla de gotas muy finas	Cultivos de porte bajo en invernaderos	Es un proceso de rompimiento en que un plaguicida líquido se dispersa en el aire en forma de cientos de millones de gotitas diminutas.

Fuente: Magdalena et al., (2010, p.98), Albert (1997, p.2), Márquez (2008, p.38-39), Vázquez (2000, p.1).

1.3.1 Equipos de accionamiento manual para pulverizaciones hidráulicas.

Dentro de la gama de equipos de pulverización hidráulica disponibles en el mercado para aplicar plaguicidas, los más usados en fincas pequeñas y medianas, son los **equipos de pulverización hidráulica de espalda de accionamiento manual**; Que constan de un tanque de metal o de plástico para el transporte de la mezcla, el tanque está provisto de una tapa y un filtro colador. La bomba puede ser de émbolo o diafragma, y es accionada por intermedio de una palanca ubicada en cualquiera de los costados (izquierda o derecha), según las especificaciones del operario. Ahora, “la presión generada se acumula en un cilindro que puede ir dentro o fuera del recipiente de mezcla” (ANDI, 2003, p.56), y la mezcla sale por la manguera de descarga acoplada por un extremo a la bomba, la cual cuenta con una válvula de mano que controla el paso, asimismo la válvula de mano va conectada a una lanza, o aguilón que contiene en su punta una boquilla que produce la nube de pulverización, y la boquilla debe estar antecedida de un filtro de malla fijado por el fabricante.

Figura 1. Los componentes de una pulverizadora manual de tipo hidráulico.



Fuente: Murcia, 2004, p. 26.

Estos equipos se conocen como pulverizadoras de espalda o mochila, y según Murcia (2004) y Garavito y Riveros (2003), estos equipos son propicios para áreas pequeñas o terrenos con pendientes, ya que son de fácil manipulación y su operación genera poca deriva. Además, son adecuadas para hacer controles localizados dentro de los cultivos. La presión de trabajo es regulada por el operario, y esta puede variar en un rango de 97 kPa (14 PSI), a 607 kPa (88 PSI). Como limitantes, la calidad de la aplicación dependerá de la destreza del operario, y el operario está más expuesto al producto, por lo cual es indispensable seguir las recomendaciones reglamentadas en el Decreto 1843 de 1991, sobre uso y manejo de plaguicidas.

En una encuesta realizada en 26 países, entre ellos Colombia, para determinar las prácticas, actitudes y comportamientos de los pequeños agricultores en materia de uso de plaguicidas. Matthews (2008), reporta el uso predominante de las pulverizadoras de espalda de accionamiento manual, y en Colombia el uso de estos equipos es notoriamente alto, ya que el 87% de los encuestados, declaró que realiza pulverizaciones con este equipo por más de 160 horas al año.

1.3.2 Tipos de boquillas

Las boquillas son la parte más importante de todo el equipo pulverizador, ya que es la pieza encargada de la producción de las gotas y de distribuir la mezcla de plaguicida y líquido sobre la superficie bajo tratamiento. Masiá y Cid (2010), mencionan que existen muchos tipos de boquillas con varios patrones de distribución, y de la elección que se tome dependerá el éxito de la aplicación de los plaguicidas. En términos generales, se identifican tres patrones de distribución como fundamentales, los cuales son: De cono hueco, de cono lleno y Abanico plano. Donde las boquillas con patrón de abanico plano son las que se presentan mayor cantidad de modelos, tal como se verá a continuación.

Boquillas de cono: La norma ASAE S327.2 describe este tipo de boquillas como pulverizadores a presión, donde normalmente el líquido es puesto en rotación por medio de entradas tangenciales, distribuidores ranurados o álabes, lo cual produce una lámina cónica de líquido que se desintegra en gotitas. El ángulo de la lámina cónica de líquido es controlado por el diseño de la cámara que genera el remolino y el orificio de descarga.

Según Grisso et al., (2013), dentro de este grupo de boquillas, las dos clases más importantes son:

- Boquillas de Cono hueco: Las cuales son utilizadas normalmente cuando se quiere aplicar insecticidas o fungicidas, pues generan una excelente cobertura de la superficie de las hojas, y penetra el follaje de los cultivos. Estas boquillas operan a presiones que van desde 100 kPa (14,5 PSI), a $2,9 \times 10^4$ kPa (290 PSI), y son más propensas a la deriva que las demás boquillas. Ya que, según Nuyttens et al. (2007), estas boquillas produce un espectro de tamaños de gota más fino, que las boquillas de abanico plano estándar, las boquillas de baja deriva con preorificio, y las boquillas inducidas por aire.
- Boquillas de cono lleno: Estas boquillas producen gotas grandes y son recomendadas para aplicar herbicidas al suelo, y operan a presiones entre 103,4 kPa (15 PSI), a 275,8 kPa (40 PSI). Por otra parte, la característica que da origen al patrón de cono lleno es, según la norma ASAE S327.2, unas ranuras diseñadas para dirigir una cantidad significativa de líquido a la región central del patrón de pulverización.

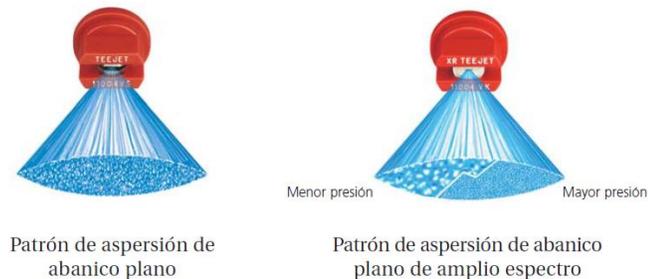
Figura 2. Patrones de distribución de las boquillas de cono.



Fuente: Spraying Systems Co, 2004, p.13.

Boquillas de abanico plano: Son descritas por Matthews (2004) y Márquez, (2008), como cuerpos, con un orificio de forma elíptica o rectangular en el extremo inferior, o punto de salida. De donde emerge el líquido en forma de lámina triangular plana, tal como lo muestra figura 3. Con estas boquillas normalmente se obtiene un patrón de distribución uniforme.

Figura 3. Patrones de distribución de las boquillas de abanico plano.

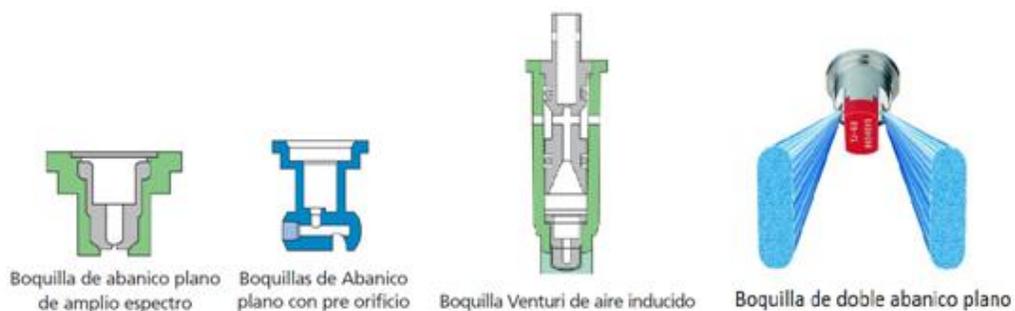


Fuente: Spraying Systems Co, 2004, p.11.

Para Nuyttens (2007), Masiá y Cid (2010); En este grupo de boquillas, las clases más importantes son:

- Boquillas de abanico plano estándar: Masiá y Cid (2010), describen estas boquillas como el modelo más antiguo y económico que se comercializa en el mercado actualmente, y suele fabricarse totalmente con polímeros, o con insertos de acero inoxidable o cerámica. El rango de presiones de trabajo va desde los 200 kPa (2 Bar), hasta los 400 kPa (4 Bar), con ángulos de pulverización de 80° y 110°, y puede producir gotas desde muy finas, hasta gruesas.
- Boquillas de abanico de amplio espectro: Según Grisso et al., (2013) y Masiá y Cid (2010), estas boquillas proporcionan una excelente distribución de la pulverización dentro de un rango amplio de presiones (1 a 5 Bares), y proveen un buen control de la deriva cuando trabajan a presiones menores a 2 bares. Entre tanto, a presiones bajas (1 a 2 bares) produce gotas gruesas, y a presiones más altas (2 a 4 bares) gotas más finas.
- Boquillas de baja deriva con preorificio: Estas boquillas son descritas por Nuyttens (2007) y Masiá y Cid (2010), como boquillas antideriva, ya que producen una lámina de líquido pulverizado con gotas más gruesas, operando a iguales presiones y sin una reducción de la velocidad de flujo. El proceso se logra por la adicción de un preorificio en la junta de la punta de la boquilla, justo al frente del orificio convencional de descarga. Donde el preorificio tiene la función de disminuir la presión y la velocidad del líquido que ingresa en la cámara de la boquilla. El rango de presiones de trabajo va desde los 200 kPa (2 Bar), hasta los 500 (5 Bar).
- Boquillas inducidas por aire: Estas boquillas son descritas por Masiá y Cid (2010), como un sistema con efecto venturi, donde el líquido pasa por una pequeña cámara, la cual succiona aire a través de dos pequeños orificios. Luego el aire y el líquido pasan a la cámara de mezcla, donde son combinados por la turbulencia que se produce. Las gotas producidas por estas boquillas son gruesas y logran una mejor cobertura. Además, estas boquillas tienen la ventaja de que disminuyen la deriva y tienen una buena penetración en la masa foliar. El rango de presiones de trabajo va desde los 200 kPa (2 Bar), hasta los 800 kPa (8 Bar).
- Boquilla de doble abanico plano: Según Leiva, (2011) y Masiá y Cid (2010), esta boquillas logran una mayor penetración en cultivos densos, gracias el efecto del doble abanico, donde uno va hacia adelante y otro hacia atrás. El ángulo entre estos abanicos normalmente es 60°, y el caudal aplicado corresponde a la suma de los dos abanicos. No obstante, por el hecho de que el caudal está dividido en dos abanicos, el tamaño de las gotas será menor, al de una boquilla equivalente de abanico plano estándar.

Figura 4. Tipos de boquillas de abanico plano.



Fuente: Spraying Systems Co, 2004.

Por otra parte, para la elección de las boquillas a utilizar en una pulverización se debe tener en cuenta el material de fabricación, pues como lo menciona Murcia (2004), el material dictamina la duración de las mismas (vida útil). En la tabla 3, se presentan las principales características de los materiales de las boquillas.

Tabla 3. Tipo y características de materiales de las boquillas de pulverización.

Materiales*	Ventajas	Desventajas	Proceso de fabricación	Vida útil relativa
Bronce, Cobre, Estaño + Zinc, Aluminio, Antimonio o Fósforo	Facilidad en el mecanizado. Resistencia a la corrosión	Vulnerabilidad al ataque químico y un desgaste prematuro por abrasión	Mecanizado	1
GPLásticos: Polioximetileno, Poliformaldehido o P.O.M	Alta precisión. Resistencia a la fatiga mecánica, rigidez y tenacidad. Buena relación precio/rendimiento	Baja resistencia a los rayos UV. Orificio susceptible a la deformación por limpieza	Inyección	4 – 6
Acero inoxidable, Hierro, Carbono Niquel, Cromo, Aluminio, etc.	Alta vida útil frente al desgaste y esfuerzos mecánicos	Costo relativo elevado	Mecanizado	3 – 10
Cerámica: Alúmina (Al ₂ O ₃) o Corindón	Muy alta resistencia al desgaste y con buena estabilidad química.	Difícil de mecanizar. Alto costo	Inyección como un termoplástico. Horneado-Mecanizado	20 - 100

*: Los materiales del primer cuadro se usan como parámetro de referencia para la vida útil relativa.
Fuente: Masiá y Cid, 2010, p.79.

Figura 5. Filtros de marca TeeJet para boquillas.

NÚMERO DE FILTRO TEEJET	MATERIAL DE CUERPO Y TAPA DEL FILTRO	MATERIAL DE MALLA
5053*	Latón	Acero inoxidable
8079-PP*	Polipropileno	Acero inoxidable
6051-SS*	Acero inoxidable	Acero inoxidable
19845-PP*	Polipropileno	Polipropileno

1. Los filtros de acero inoxidable están disponibles con tamaño de malla 24, 50, 80, 100 y 200.
2. Los filtros de punta 19845 están disponibles únicamente con tamaño de malla 25 y 50.

Fuente: Catalogo 51-ES - Spraying Systems Co, 2011, p.112.

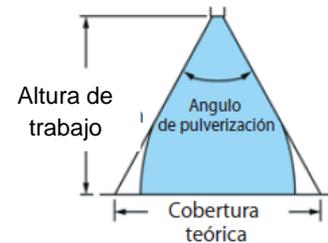
Según Leiva (2011) y Márquez, (2008), la sustitución de las boquillas se hace por el desgaste de las mismas, y debe hacerse cuando se incremente un 10% el caudal entregado con respecto una boquilla nueva de igual tipo. Además de seleccionar el material de la boquilla, también se debe seleccionar el filtro, y para ello, el fabricante de la boquilla debe indicar el tamaño de malla, o apertura de malla apropiada, ya que estos impiden que las boquillas se tapen, o se dañen. Según Marquez (2008), el tamaño de malla se expresa en “Mesh”, que corresponde al número de hilos por pulgada lineal. En la figura 5, se muestran los filtros más conocidos de la marca “TeeJet”.

Otro aspecto de importancia es el ancho que cubre la boquilla, ya que según Boller y Schlosser (2010), este parámetro varía en función del ángulo de pulverización, la presión de trabajo, la altura de trabajo y la distancia entre las boquillas. En la figura 6 se encuentra información sobre el ancho de franja que cubre la boquilla (o cobertura teórica), en función del ángulo de pulverización y la altura de trabajo. Donde, estos valores están basados en el supuesto de “que el ángulo de pulverización se mantiene constante a lo largo de toda la distancia de pulverización” (Spraying Systems Co, 2004, p.12).

Dentro de este aspecto, Matthews (2004) menciona el uso frecuente de boquillas con un ángulo amplio (>110°), cuando se desea aumentar el ancho de franja, sin embargo, las gotas generadas por estas boquillas son más pequeñas que las gotas generadas por boquillas con ángulos más estrechos (<80°), lo cual alienta la deriva. Por otra parte, las boquillas con ángulos angostos, como 80°, pueden ser más importantes en cultivo sembrados en hilera, donde la pulverización puede limitarse a la hilera de cultivo, o a las calles entre surcos. Además, el uso de estas boquillas permite la integración de otras tácticas de control como el deshierbe mecánico

Figura 6. Valores de cobertura teórica del ángulo de pulverización en función de la altura de pulverización.

Angulo de pulverización incluido	Cobertura teórica a diversas alturas de pulverización (en centímetros)							
	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm
15°	5.3	7.9	10.5	13.2	15.8	18.4	21.1	23.7
20°	7.1	10.6	14.1	17.6	21.2	24.7	28.2	31.7
25°	8.9	13.3	17.7	22.2	26.6	31.0	35.5	39.9
30°	10.7	16.1	21.4	26.8	32.2	37.5	42.9	48.2
35°	12.6	18.9	25.2	31.5	37.8	44.1	50.5	56.8
40°	14.6	21.8	29.1	36.4	43.7	51.0	58.2	65.5
45°	16.6	24.9	33.1	41.4	49.7	58.0	66.3	74.6
50°	18.7	28.0	37.3	46.6	56.0	65.3	74.6	83.9
55°	20.8	31.2	41.7	52.1	62.5	72.9	83.3	93.7
60°	23.1	34.6	46.2	57.7	69.3	80.8	92.4	104
65°	25.5	38.2	51.0	63.7	76.5	89.2	102	115
73°	29.6	44.4	59.2	74.0	88.8	104	118	133
80°	33.6	50.4	67.1	83.9	101	118	134	151
85°	36.7	55.0	73.3	91.6	110	128	147	165
90°	40.0	60.0	80.0	100	120	140	160	180
95°	43.7	65.5	87.3	109	131	153	175	196
100°	47.7	71.5	95.3	119	143	167	191	215
110°	57.1	85.7	114	143	171	200	229	257
120°	69.3	104.0	139	173	208	243		
130°	85.8	129	172	215	257			
140°	110	165	220	275				
150°	149	224	299					



Fuente: Spraying Systems Co, 2004, p.13.

1.3.3 Clasificación de las boquillas

La clasificación de las boquillas se puede hacer con base en los tamaños de gota que producen, ya que, el “tamaño de las gotas es un importante criterio para la selección de las boquillas” (Masiá y Cid, 2010, p.80). Por lo cual, se han desarrollado algunos modelos de clasificación de las boquillas, donde los más conocidos son el “British Crop Protection Council (BCPC)”, y la norma ASAE S572, pero este tema se discutirá en el numeral 1.4.2.

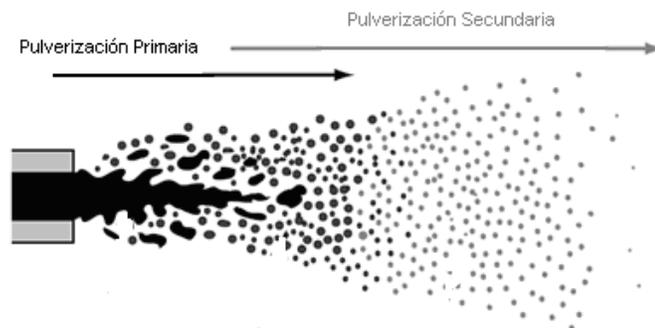
1.4 PRODUCCIÓN DE GOTAS

Según, Linagraph (1978) y Zhu (1996), la eficacia del control de plagas en una pulverización agrícola depende de la cantidad de gotas depositadas en los objetivos de interés (hojas, frutos, el suelo, un insecto, un hongo, etc.), ya que las gotas son el principal vehículo para llevar la sustancia activa. Por eso, para cada aplicación de plaguicidas “es importante conocer la distribución de diámetros de las gotas, puesto que determina las características de operación y la eficacia de los dispositivos de pulverización involucrados.” (Castillo, 2010, p.56).

Castillo (2005), expone que; El proceso de pulverización puede considerarse como el proceso de desintegración o rompimiento del líquido para producir una gran cantidad de gotas de diferentes tamaños y velocidades, que se hallan regidas por las condiciones de operación del equipo agrícola que las genera. Por lo tanto, si nos enfocamos en el estudio de las pulverizaciones de los equipos de aspersión hidráulica, observamos que:

Cuando una corriente o chorro de líquido emerge de una boquilla resulta un rompimiento a partir de la inestabilidad hidrodinámica, una competencia entre fuerzas cohesivas y disruptivas en la superficie del chorro que producen oscilaciones y perturbaciones, que en condiciones favorables se amplifican hasta desintegrarse en gotas. Ello constituye la pulverización primaria y luego si estas gotas exceden un cierto tamaño crítico ocurre una desintegración posterior en gotas de menor tamaño produciéndose la pulverización secundaria (Castillo, 2010, p.58).

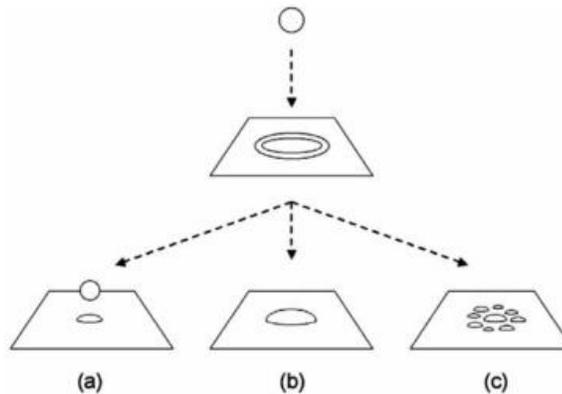
Figura 7. Proceso de pulverización de un chorro de líquido que emerge de una boquilla.



Fuente: Castillo, 2010, p.58.

Si bien, el proceso de pulverización es importante, también lo es el comportamiento de las gotas de líquido cuando impacta sobre una superficie sólida. Según Bertola (2008), este proceso complejo depende tanto de las características fisicoquímicas de las gotas, como de las particularidades de la superficie con la cual hace contacto. De ahí que, las gotas puedan adherirse, o golpear la superficie, o rebotar parcial o totalmente, o romperse en gotitas más pequeñas como si fuesen salpicaduras. Estos patrones de comportamiento se muestran en la figura 8.

Figura 8. Patrones de impacto de las gotas sobre una superficie sólida.(a) Rebote, (b) Extensión, (c) Salpicadura.



Fuente: Bertola, 2008.

Entre tanto, Castillo (2005) y Bertola (2008), mencionan que en todos los casos expuestos, durante los primeros milisegundos, después de hacer contacto con la superficie, las gotas se ven obligada a extenderse y crear una capa delgada de líquido en forma de disco (o torta aplanada) llamado lámina, donde la energía cinética obliga a la lámina a tomar la geometría de la superficie con la cual hace contacto. Subsiguientemente la lámina se retrae, y se hallará regida por la competencia entre las fuerzas de inercia (en función de la energía cinética de la gota), las fuerzas capilares (en función de la tensión superficial) y las fuerzas viscosas, que son esencialmente las que definen el patrón de comportamiento.

1.4.1 Parámetros de evaluación de aplicación

Hewitt (2008) y Castillo (2005), indican que para evaluar la calidad de una pulverización normalmente se emplean ciertos tamaños o diámetros representativos, los cuales permiten tener una descripción de la población de gotas. Varios autores (Márquez, 2008; Castillo, 2005; Teiseira, 2010; Schleier et al., 2010, Herrera et la., 2009; Nuyttens, 2007; Schick, 1997), menciona que los diámetros más representativos son:

- $D_{V0.1}$ = Corresponde al diámetro de gota tal que, el 10% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño.

- $D_{V0.5}$ = Corresponde al diámetro de gota tal que, el 50% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño, y es habitualmente presentado como diámetro de la mediana volumétrica, o DMV.
- $D_{V0.9}$ = Corresponde al diámetro de gota tal que el, 90% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño.
- $D_{V0.632}$ = Corresponde al diámetro de gota tal que el, 63,2% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño, y este dato se toma como la X en los parámetros de Rosin-Rammler, los cuales se discutirán en el numeral 1.4.3.
- SPAN: Corresponde a la amplitud relativa, y es calculada utilizando la siguiente ecuación.

$$SPAN = \frac{D_{V0.9} - D_{V0.1}}{D_{V0.5}} \quad (1.1)$$

Según Herrera et la. (2009), el SPAN representa la homogeneidad de la población de gotas. Por lo tanto, cuanto más grande sea el valor del SPAN, más grande será el rango de tamaños de las gotas pulverizadas.

Otro grupo de parámetros que permite caracterizar una pulverización agrícola, son:

- Densidad de gotas: Según Etiennot & Piazza (2010), la densidad de gotas es entendida como, el número de gotas por centímetro cuadrado depositadas en el blanco ($\text{gotas} \cdot \text{cm}^{-2}$), y su importancia radica en que las pulverizaciones deben depositar una cantidad adecuada de producto, para asegurar la eficiencia biológica del plaguicida. En la tabla 4, se presentan las recomendaciones de densidad de gotas para algunos tipos de tratamientos.

Tabla 4. Recomendaciones mínimas de cobertura de gotas para diferentes tipos de tratamientos en cultivos bajos.

Producto	Densidad de gotas ($\text{gotas} \cdot \text{cm}^{-2}$)
<i>Herbicida</i>	
Preemergencia	20 – 30
Plántula	30 – 40
Planta (contacto)	50 – 70
Planta (sistémico)	30 – 40
<i>Insecticida</i>	
Contacto	40 – 50
Sistémico	20 – 30
<i>Fungicida</i>	
Contacto	50 – 70
Sistémico	30 – 40

Fuente: Teixeira, 2010.

- Porcentaje de recubrimiento: Según Holownicki et al. (2002), este parámetro expresa el porcentaje de área objetivo que está cubierta por las gotas de una pulverización. Además, este parámetro aporta información útil sobre qué parte de la planta está protegida por el producto fitosanitario. Este parámetro se discutirá en los numerales 1.5 y 1.7.1.

- Depósitos: La norma ASAE S327.2, define este parámetro como la cantidad de líquido pulverizado que llegó a depositarse sobre la superficie vegetal. Por lo cual, este concepto se suele emplearse para verificar la cantidad de ingrediente activo depositado por unidad de área, y se presenta como $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, o ng/cm^2 . Este parámetro se discutirá en el numeral 1.7.2.

1.4.2 Tamaños de gota

Gooden (2011), menciona que hasta el momento no se cuenta con un estándar internacional para clasificar la distribución de los tamaños de gota producidas por las boquillas. Sin embargo, se manejan dos principales, los cuales permiten categorizar los tamaños de gota, ellos son:

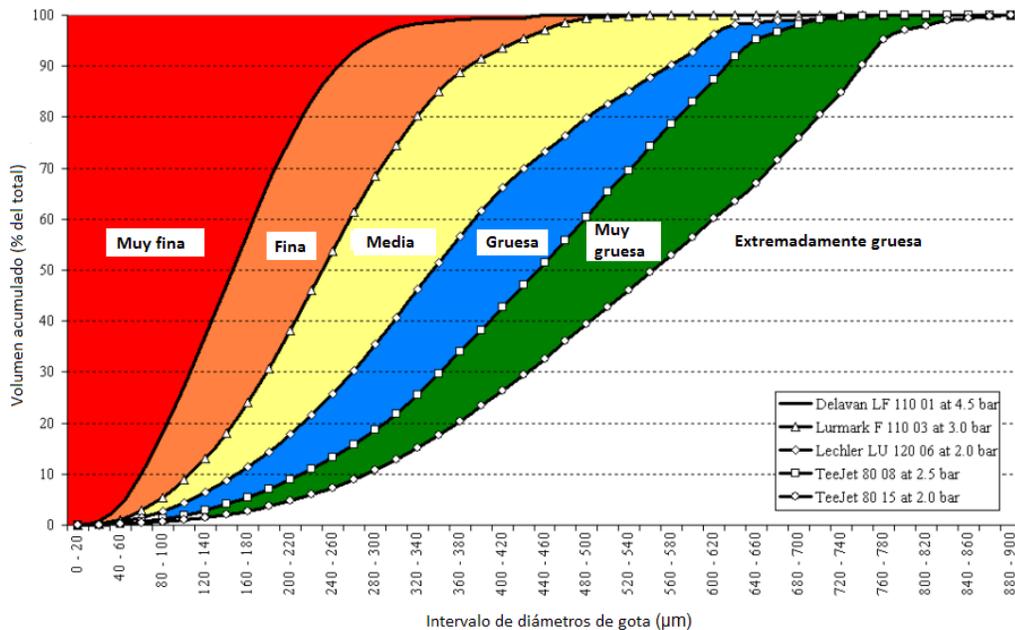
- El “British Crop Protection Council (BCPC)”, el cual según Nuyttens, D. (2007), es un modelo de clasificación que permite determinar la calidad de pulverización de una boquilla, comparando la distribución de tamaños de gota de la boquilla en estudio, con la distribución de tamaños de unas boquillas de abanico plano de referencia. Este modelo de clasificación divide la calidad de aplicación en 5 categorías: Muy fina (VF), fina (F), Media (M), Gruesa (C) y muy gruesa (VC). Este es el modelo de referencia en Europa.
- La norma ASAE S572, es otro modelo de clasificación de la distribución de tamaños de gota, que según Teske et al. (2004), usa el modelo BCPC como referencia. Esta norma emplea 6 categorías de clasificación para evaluar la calidad de aplicación de las boquillas, estos son: Muy fina (VF), fina (F), Media (M), Gruesa (C), Muy gruesa (VC), Extremadamente gruesa (XC). Donde, los límites de cada una de las categorías están definidos por la distribución de tamaños de gota, de una combinación de unas boquillas de referencia (todas de abanico plano), con presiones y tasas de aplicación de referencia.

Estos modelos son una herramienta que les permite a los agricultores, técnicos, investigadores y demás interesados hacer recomendaciones sobre la calidad de pulverización que deben conseguir con los equipos de pulverización.

Las distribuciones de tamaños de gota son publicados, o reportadas de diversas formas, y la forma más común de presentación son graficas o tablas, y según Schick (1997), estas presentaciones dependen del uso pretendido para el tamaño de las gotas, por lo cual, algunas pueden ser más convenientes que otras.

Nuyttens (2007), realizó un montaje de laboratorio bajo condiciones controladas, con un analizador de partículas de fase Doppler (PDPA), para medir el distribución de tamaños de gota para las 5 boquilla de referencia del BCPC, y desarrollar las curvas de volumen acumulado versus distribución de tamaños de gota, con las cuales definió los 6 límites de clasificación. Las boquillas (todas de abanico plano) y presiones usadas fueron: “Delavan LF 110 01” a 4,5 bares (esta define el límite de muy fino a fino), “Lurmark F 110 03” a 3.0 bares (esta define el límite de fino a medio), “Lechler LU 120 06” a 2,0 bares (esta define el límite de medio a grueso), “TeeJet 80 08” a 2,5 bares (esta define el límite de grueso a muy gruesa) y “TeeJet 80 15” a 2,0 bares (esta define el límite de muy grueso a extremadamente gruesa). En la figura 9, se presentan los resultados de estos ensayos.

Figura 9. Esquema de curvas de referencia para las 6 categorías de calidad de aplicación, medidos con un PDPA 1D (TSI, Minneapolis).



Fuente: Nuyttens, 2007, p.86.

Por otro lado, se reportan casos en donde se usa alguno de los modelos, para establecer un modelo propio, tal como lo hace la compañía “Spraying Systems Co.”, la cual usa la tabla 5, para clasificar sus boquillas con respecto al DMV. Donde la clasificación de los tamaños de gota se hace “en conformidad con la norma ASABE S572.1, para la fecha de impresión de este documento.” (Spraying Systems Co., 2011: 136).

Tabla 5. Clasificación de gotas según su correspondiente categoría, símbolo, código de color y tamaño.

Categoría	Símbolo	Código de color	DMV (aprox.) (µm)
Extra fina	XF	Lila	≈50
Muy fina	VF	Rojo	<136
Fina	F	Naranja	136 – 177
Media	M	Amarillo	177- 218
Gruesa	C	Azul	218 – 349
Muy gruesa	VC	Verde	349 – 428
Extra gruesa	XV	Blanco	428 – 622
Ultra gruesa	UC	Negro	>622

Fuente: Spraying Systems Co., 2011, p.136.

Por otra parte, según Grisso et al. (2013), las gotas medias y finas son deseables cuando se aplican insecticidas y fungicidas, ya que estas proveen una buena cobertura. No obstante, las gotas finas suelen tener dificultades para depositarse sobre el objetivo, ya que, por su pequeño tamaño y peso ligero, hace que estas sean disipadas por las corrientes de aire. Por lo cual, existe una tendencia entre los agricultores por usar boquillas de gota gruesa, con el fin de minimizar la deriva. Por ejemplo, Matthews (2004), menciona que en los cultivos herbáceos existe una tendencia a usar boquillas de gota media y gruesa, con preferencias por las gotas gruesas, con el fin de minimizar la deriva. Entre tanto, Grisso et al. (2013) y Hipkins et al. (2009), mencionan que las gotas gruesas se depositan eficientemente sobre superficies grandes y planas, como en el caso de hojas anchas.

Ahora, según Johnstone (1973) generalmente entre menor sea el caudal aplicado por una boquilla, el tamaño medio de las gotas será menor, y al tener una menor tamaño de las gota, se producirá un mayor número de gotas durante la pulverización. Entre tanto, Teiseira (2010), menciona que una reducción del tamaño de las gotas, con el consecuente aumento del número de gotas, genera un aumento de la superficie cubierta.

1.4.3 Distribución de tamaños de gota

En la literatura se reportan diversas formas para el estudio de las poblaciones de gotas, y según Lefebvre (1989), Nuyttens (2007), Castillo (2005), y Baetens (2009), el análisis del tamaño de las gotas, suelen ser presentados como una función de distribución de tamaños, en donde la función de distribución de Rosin-Rammler ha sido la más implementada en las pulverizaciones agrícolas, gracias a su simplicidad matemática y capacidad de ajuste. Además, la función tiene la virtud de extrapolarse a rango de gotas muy pequeñas, donde las mediciones son más difíciles y de menor precisión.

La función de distribución de Rosin-Rammler para pulverizaciones agrícolas es postulada por Castillo (2005), de la siguiente forma:

$$1 - Q = e^{-\left(\frac{D}{X}\right)^q} \quad (1.2)$$

Donde:

- Q: Es la fracción de volumen acumulado de las gotas que tiene diámetros menores que D.
- q: Es una constante, y se considera como una medida de la dispersión de los tamaños. Así que, entre más grande sea el valor de q, más uniforme será la pulverización.
- X: Es una constante, y es el diámetro de gota tal que, el 63,2% del volumen total de líquido está compuesto por gotas de diámetro menor que este. Este parámetro es considerado como un diámetro característico de la función.

Por otra parte, King (2001) menciona que; La función de Rosin-Rammler, al ser una función descrita por dos parámetros, puede ser adaptada para medir la distribución de tamaños por la técnica de ajuste de curvas. Por lo tanto:

Sea b un parámetro, definido como; $b = \left(\frac{1}{X}\right)^q$, el cual se reemplaza en la ecuación 1.2. Así que la función queda expresada de la siguiente forma:

$$1 - Q = e^{-(b \times D^q)} \quad (1.3)$$

Ahora, se toma el logaritmo natural a ambos lados de la ecuación, con lo cual se obtiene una ecuación polinómica de primer grado.

$$\ln(1 - Q) = -b \times D^q \quad (1.4)$$

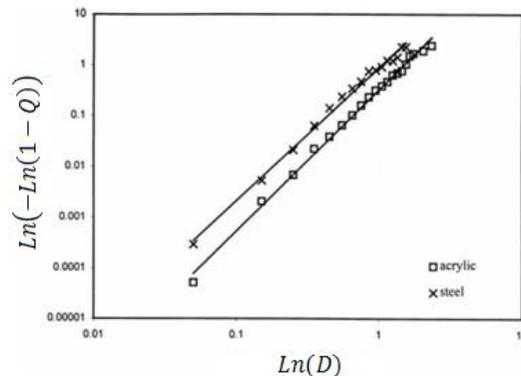
$$-\ln(1 - Q) = b \times D^q \quad (1.5)$$

La cual se reduce de nuevo, tomando el logaritmo natural a ambos lados.

$$\ln(-\ln(1 - Q)) = \ln(b) + q \times \ln(D) \quad (1.6)$$

De esta forma la ecuación de Rosin-Rammler puede ser representada por una ecuación lineal, siempre y cuando los datos se localicen sobre en una línea recta. Donde la representación gráfica de la ecuación 2.4, sería la Figura 10. Entre tanto, el valor del parámetro q será la pendiente de la recta, y según Lefebvre (1989), para la mayoría de pulverizaciones hechas con boquillas hidráulicas, el valor de q varía entre 1,5 y 4.

Figura 10. Gráfica de la función de Rosin-Rammler para distribución de los tamaños de las gotas.



Fuente: Panagiota y Hewitt, 2000. p 3139.

Baetens (2009), desarrollo un estudio en el cual reporta los siguientes valores de q, para algunas de las boquillas de referencia del modelo de clasificación de boquillas del BCPC.

Tabla 6. Valores de la dispersión de tamaños (q) para 4 boquillas Hardi.

Boquilla	Tipo de boquilla	Presión (Bar)	Tasa de aplicación (L·min ⁻¹)	q
Hardi ISO F 11003	Abanico plano	3	1,2	3,2
Hardi ISO F 11002	Abanico plano	3	0,8	3
Hardi ISO LD 11003	Baja deriva	3	1,2	3,2
Hardi ISO Injet 11003	Inducidas por aire	3	1,2	3,59

Fuente: Baetens, 2009, p.164.

1.5 APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN ESPINACA Y OTROS CULTIVOS HORTÍCOLAS

En Colombia, como en la mayoría de países el método más empleado por los agricultores para el control de enfermedades, plagas y malezas es el control químico, ya que ha demostrado ser uno de los más eficientes. Sin embargo, Bost et al. (2005), Magdalena et al. (2010) y Luskar (2007), indican que la eficacia del control químico depende en gran medida de la técnica de aplicación, ya que una adecuada cantidad de producto fitosanitario por unidad de superficie debe ser depositada en las zonas objetivo de la planta, para obtener los efectos deseados.

Según Jiménez et al. (2010), los productores de espinaca en Colombia realizan las aplicaciones de plaguicidas con la detección de los síntomas, como en el caso de *Delia* sp. Sin embargo, con plagas como el acaro responsable del encrespamiento, se deben realizar controles preventivos, ya que cuando se detectan los síntomas es demasiado tarde para ejercer un control eficiente.

De acuerdo a los datos obtenidos por Romero et al. (2005), en el municipio de Cota la espinaca tiene una susceptibilidad al ataque de plagas del 18%, y los minadores (*Lyriomiza* sp.) son la principal plaga que ataca en estos cultivos. El control de las plagas se realiza en un 57% de los casos con plaguicidas, un 21% con extractos botánicos y un 20% con controles biológicos y prácticas culturales. Al mismo tiempo, el autor indica que la susceptibilidad de la espinaca al ataque de enfermedades es del 17%, en donde el mildew veloso y la pudrición de la raíz son las principales enfermedades que atacan el cultivo, y su control se hace en el 83% de los casos con fungicidas químicos.

Niño et al. (2009), realizó un estudio para identificar las principales enfermedades del cultivo de espinaca en Cota (Cundinamarca), y observó que la principal enfermedad durante la etapa de desarrollo de las hojas fue el "Mildew Velloso", ya que ésta tuvo una incidencia del 32,05%. Por lo cual, evaluó el efecto preventivo de 3 fungicidas, y 3 productos botánicos, sobre el patógeno en condiciones controladas. Los fungicidas usados fueron "Ridolmil gold" (ingrediente activo: Metalaxyl + Mancozeb), "Fosetal" (ingrediente activo: Fosetil Aluminio) y "Previcur" (ingrediente activo: Propamocarb), los cuales se evaluaron a la misma dosis (2,5 ml· L⁻¹). En este estudio se observó que los tres fungicidas inhibieron el 100% de la germinación de los esporangios de *Peronospora farinosa*.

Por otro lado, Steven et al. (2007), mencionan que la utilización de variedades resistentes es el método más conveniente para el control del mildew veloso en espinacas, pero nuevas razas del patógeno se han desarrollado, y las variedades resistentes se infectan fácilmente.

Según Anaya y Romero (1999). En general, para la mayoría de insecticidas que se usan en los cultivos hortícolas, se debe tener una densidad de gotas, por lo menos, de 20 gotas/cm², con un tamaño de gota alrededor de 200 µm. Además, recomienda el uso de boquillas de cono hueco, pues éstas produce gotas más finas, con mayor turbulencia, lo cual favorece la penetración de la mezcla en el follaje del cultivo. De igual manera, Bost et al. (2005), recomienda a las boquillas de cono hueco para la aplicación de fungicidas, y menciona que la eficacia de la aplicación de plaguicidas en hortalizas se mejora cuando las boquillas son orientadas 15° hacia adelante, en la dirección de la aplicación, ya que esto ayudara a la agitación de las hojas, y por tanto el follaje obtendrá una mayor recubrimiento, en especial por el envés de las hojas.

Boller y Schlosser (2010), mencionan de los productos de contacto, son los más exigentes en cuanto al recubrimiento, por lo que requieren mayores tasas de aplicación. Caso contrario son los

productos sistémicos, que tienden a la reducción de la tasa de aplicación, lo cual tiene influencia directa sobre el área cubierta del blanco biológico.

Habitualmente las etiquetas de los plaguicidas deben suministrar las recomendaciones y/o requerimientos con respecto al tamaño de gota a usar, lo cual, sustentaría la selección de la boquilla, y esto a su vez, indicara la configuración y la calibración del equipo de pulverización. Pero en los casos, en donde la etiqueta no proporciona esta información, Hipkins et al. (2009) propone la tabla 7, como punto de partida para la selección de boquillas.

Tabla 7. Rango de gotas para aplicación de plaguicidas.

Aplicación*	Rango de valores de DMV (μm)
Fungicida	
Foliar de protección o curativo	226 - 325
Insecticidas	
Foliar de contacto o veneno estomacal	226 - 325
Foliar sistémico	326 - 400
Sistémico aplicado al suelo	326 - 400
	401 - 500
	>500
Herbicida	
Foliar/ de contacto post emergente	226 - 325
Foliar/ sistémico post emergente	326 - 400
Aplicado al suelo/ sistémico pre emergente	326 - 400
	401 - 500
	>500

*: La categoría de gota está basada en la ASAE S572.

Fuente: Hipkins et al., 2009.

1.6 USO DE COLECTORES DE PAPEL HIDROSENSIBLE PARA EVALUACIÓN DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS

Según Luskar (2007), existe un gran interés entre investigadores, técnicos agrícolas, agricultores, empresas de agroquímicos y agencias reguladoras en caracterizar las pulverizaciones y comparar los equipos de pulverización, con el fin de mejorar la calidad de aplicación de los plaguicidas, pero la comparación implica emplear algún tipo método cuantitativo que permita evaluar la población de gotas, los depósitos o la deriva.

Son varios los métodos que proporcionan información fiable, pero deben ser elegidos con cuidado, ya que, como lo mencionan algunos autores (Del Castillo, 2012; Magdalena, 2004;

Porras, 2006; Luskar, 2007; Salyani y Whitney, 1988), cada método tiene sus ventajas y desventajas, por lo cual, el uso de un método en particular dependerá en gran medida de la disponibilidad de recursos humanos y financieros, y de las características físicas y biológicas del cultivo.

Porras (2006), Dobson y King (2002), recomiendan usar superficies naturales, propias de las plantas para evaluar la cantidad de producto fitosanitario dejado sobre la superficie de la planta, pues la capacidad de retención en las hojas u otras superficies de la planta suele ser diferente a las superficies artificiales, ya que el flujo de aire que proyecta un equipo sobre la masa vegetal, provoca fenómenos de turbulencia y agitación, y estos movimientos no pueden ser simulados por elementos artificiales. Sin embargo, el uso de superficies naturales no siempre es útil o conveniente, y es ahí cuando las superficies artificiales, o colectores artificiales resultan ser útiles.

Como tal, los colectores artificiales son elementos como tiras papel absorbente, películas de Mylar o plástico, recipientes de vidrio, papel sensible al agua o el aceite, etc., y dentro de este grupo, las tarjetas de papel hidrosensible o “Water Sensitive Paper” (**WSP**), son consideradas por varios autores (Sayinci y Bastaban, 2011; Hoffmann y Hewitt, 2005; Holownicki et al., 2002; Cunha et al., 2011; Marçal y Cunha, 2008; Fox et al., 2001), como la técnica más popular para determinar el espectro de gotas dejado por una pulverización, ya que es una técnica relativamente simple de implementar en campo y suministra información confiable sobre el espectro de gotas generado por una pulverización.

En la ficha técnica 20301, el fabricante TeeJet hace la siguiente descripción de su producto: Los WSP están hechos de un papel semirrígido que en la cara superior cuenta con un recubrimiento especial de color amarillo, que se tiñe de azul oscuro al hacer contacto con soluciones acuosas que posean una humedad superior al 80%, la cara posterior el papel es repelente al agua.

Los WSP pueden ser cortados de diversas formas y ser adheridos a objetos como hojas, tallos o cualquier superficie, con el objeto de capturar, de la mejor manera, las gotas de la nube de pulverización. Sin embargo, el fabricante TeeJet advierte las siguientes limitaciones en los WSP:

- Se obtienen resultados confiables para marcas mayores a 50 μm .
- No se recomienda su uso cuando se aplican volúmenes altos, ya que no son muy fiables las valoraciones de las gotas. Por tanto, solamente se puede hacer estimaciones ordinarias de la distribución de la pulverización.
- No pueden ser usados en condiciones de alta humedad, ya que irán perdiendo su capacidad de contraste y detección de las gotas a medida que la humedad se vuelva mayor, e incluso pueden tornarse completamente azules si la humedad relativa es superior al 80%.

1.6.1 Factor de expansión de las gotas

Para varios autores (Fox et al., 2001; Hoffmann & Hewitt, 2005; Holownicki et al., 2002; Cunha et al. 2011; Marçal y Cunha, 2008), un aspecto de gran interés cuando se trabaja con WSP es determinar el factor de expansión de las gotas, ya que cuando una gota de mezcla hace contacto con un WSP, este registra una mancha que es más grande que el área proyectada por la misma gota, lo cual hace necesario realizar una corrección al dato registrado. Generalmente el factor de expansión es descrito como un factor que debe ser usado para calcular el diámetro de la gota

original que formó la mancha en el WSP. Sin embargo, el factor de expansión varía en función de las propiedades físicas del líquido de las gotas pulverizadas, tales como la tensión superficial, el ángulo de impacto y la energía de impacto. Por lo cual, se reporten diferentes formas para determinar el diámetro real de la gota.

Hoffmann y Hewitt (2005), evaluaron el software “DropletScan”, “USDA-ARS” y “Swath KitTM”. Donde cada uno tiene sus ecuaciones para determinar el tamaño de la gota que genere la marca en el WSP. Estas son:

A. USDA-ARS:

$$\text{TamañoGotaReal} = (0,53549306 \times \text{DiámetrodeLamancha}) - (0,000084839 \times \text{DiámetrodeLamancha}^2) \quad (1.7)$$

B. DropletScan:

$$\text{TamañoGotaReal} = \frac{\text{DiámetrodeLamancha}}{1,6333 + (0,0009 \times \text{DiámetrodeLamancha})} \quad (1.8)$$

C. Swath KitTM:

$$\text{TamañoGotaReal} = -4.42 + (0.583 \times \text{Diámetro de la mancha}) - (0.000132 \times \text{Diámetro de la mancha}^2) \quad (1.9)$$

A pesar de esto, las ecuaciones calculan un tamaño de gota real similar, sin diferencias significativas para diámetros de mancha menores de 800 micras. Por lo cual, los autores invitan a los investigadores utilizar WSP, ya que sus resultados pueden ser comparables independientemente del software utilizado.

1.6.2 Análisis de imagen

El análisis de imagen tiene como objetivo localizar y caracterizar ciertos objetos o patrones de información en la imagen bajo estudio. En la agricultura esta técnica se aplica a un conjunto de prácticas tan diversas como medir el área de una hoja o estimar el número de manchas dejadas en un colector por una pulverización. Pero gracias a los avances tecnológicos en cálculo computarizado y captura de imágenes, la técnica se hizo más versátil y se empezaron a desarrollar “software” especiales con el fin de caracterizar las pulverizaciones de plaguicidas. Entre ellos podemos mencionar:

El software “DepositScant”, desarrollado por Zhu, et al. (2011), con el objetivo de cuantificar la distribución de los manchas y el área de cubierta por la pulverización, usando cualquier marca de WSP. El programa es una aplicación, o complemento de un programa de procesamiento de imágenes llamado “ImageJ”, el cual puede medir áreas y contar el número de manchas en las zonas que defina el usuario. Según Ferreira (2011), el programa “ImageJ” puede visualizar, editar, transformar imágenes a binarias, procesar, salvar e imprimir imágenes en formatos (TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS, RAW), ya que trabaja con varias ventanas conjuntamente. Además, calcula distancias, ángulos, crear histogramas de densidad y evalúa los píxeles que usa una determinada sección de imagen, ya que puede procesar 40 millones de píxeles por segundo. También permite la calibración espacial para proveer dimensiones del mundo real, en unidades tales como milímetro, μm , etc. Una característica muy importante del programa “ImageJ”, es que fue diseñado con una arquitectura abierta a los usuarios, los cuales pueden usar su plataforma

Java para desarrollar aplicativos que permitan crear soluciones a problemas particulares, ejemplo el "DepositScant".

El software "*Matrox Inspector*" versión 2.2, fue usado por Castillo (2005), con el fin de realizar el análisis cuantitativo de la distribución de tamaños de manchas, o impactos provenientes de unas pulverizaciones en condiciones similares a las de campo, sobre unos colectores artificiales de PVC recubiertos con un fina capa de silicona. El cual, le permitió determinar el valor del área y el diámetro de Feret medio de cada una de las manchas. El diámetro de Feret fue considerado por el hecho de que los impactos no son perfectamente circulares, además, según Ferreira (2011), este parámetro es conocido como el máximo compás de calibre. El programa "ImageJ", estima el diámetro de Feret máximo, el cual es la distancia más larga entre dos puntos a lo largo del contorno del mancha, y el diámetro de Feret mínimo, que es la distancia más corta entre dos puntos a lo largo del contorno del mancha.

Un problema común cuando se trabaja con WSP, es establecer un umbral adecuado para anular los objetos del plano de fondo y realzar el contraste de las manchas. Según Ferreira (2011), el programa "ImageJ" tiene 16 métodos, o algoritmos que se pueden usar para calcular el umbral automáticamente.

1.6.3 Uso de WSP como colectores de artificiales para evaluar la aplicación de plaguicidas: trabajos previos.

Leiva y Araujo (2009), menciona que el mejor software o método de análisis de imagen, es el que mejor pueda individualizar cada una de la manchas. Cunha et al., (2011), usaron siete software de análisis de imagen, para calcular la densidad de gotas, el DMV y el recubrimiento de unas pulverizaciones sobre WSP. En este estudio se observaron grandes diferencias en los valores de cobertura y DMV, medidos por los diferentes softwares. Lo cual, en parte se originó, por la forma como los softwares consideran el traslape de los manchas en los WSP, ya que, en situaciones donde la densidad de manchas es alta, el contraste entre las manchas y el área sin manchas no es fuerte, y por lo tanto la evaluación se vuelve difícil.

Marcal y Cunha (2008), evaluaron el efecto de la resolución de escaneado en la medición de la distribución de tamaños de las manchas en WSP. En este estudio se concluyó que una resolución de 600 dpi, puede ser la opción más adecuada, ya que los tamaños de mancha estimados con esta resolución fueron muy similares a los tamaños estimados con 1200 dpi, además, tiene un una carga computacional mucho más baja.

Fox et al., (2001), evaluaron la calidad de aplicación de un pulverizador convencional de flujo axial y un pulverizador de paneles de flujo cruzado en una plantación de cítricos, y observaron que las tarjetas de papel hidrosensible que tenían un área cubierta superior al 20 %, poseían muchas manchas sobrepuestas. Además, para las pulverizaciones de 1875 y 3750 (L/ha), la mayoría de los WSP estaban saturados, lo que imposibilitó el análisis.

Fox et al., (2003), desarrollaron un ensayo para evaluar el porcentaje de recubrimiento con un sistema de análisis de imagen, usando WSP, y observaron que el sistema de análisis de imagen es eficaz cuando el área que cubren los impactos en el WSP no es mayor al 40%.

Smith (2001), desarrollo un investigación, en la cual midió el espectro de tamaños de gotas de diferentes boquillas, con colectores de papel hidrosensible y un analizador de difracción láser

“Malvern”, y al comparar los espectros observo que generalmente los colectores sobreestiman el espectro de gotas.

Magdalena (2004), uso WSP para evaluar el porcentaje de cobertura por el haz y el envés en una plantación de manzano. En este estudio se observaron lo inconvenientes que pueden presentar los WSP para evaluar tasas de aplicación superiores a 600 L/ha, ya que, en las altas tasas de pulverización utilizadas (mayores a 1200 L/ha), no fue posible evaluar el diámetro y número de impactos sobre las tarjetas de papel hidrosensible. Por lo cual, el autor recomienda el uso de tarjetas papel hidrosensible para evaluar tasa de aplicación bajas.

Sayinci y Bastaban (2011), estudiaron la uniformidad de distribución de las pulverizaciones de cuatro boquillas hidráulicas (abanico plano estándar, cono hueco, de inducción de aire y de doble abanico), un atomizador rotatorio con asistencia de aire y una boquilla de disco giratorio, usando como colectores artificiales placas de petri, WSP y tiras de aluminio. En este estudio observaron que la boquilla de inducción de aire produce gotas gruesas y tiene una distribución más homogénea que las boquillas de abanico plano estándar, y cono hueco, las cuales producen gotas finas.

Holownicki et al. (2002), estudio el porcentaje de recubrimiento obtenido por un pulverizador de túnel “Joco OSG-N1” de doble chorro horizontal y un pulverizador de chorro de aire dirigido estándar de 10 salidas, sobre árboles de manzana. Para evaluar el porcentaje de recubrimiento uso WSP, los cuales se adhirieron a las hojas. Esta cualidad de adhesión, según el autor, hace de estos, los mejores colectores artificiales que se pueden usar, por cuanto, le permite a los colectores moverse como una unidad con las hojas, ante los chorros de los pulverizadores.

Welty et al. (1995), realizó unos ensayos para evaluar la deriva asociada a diferentes tipos de técnicas de aplicación, y para ello uso WSP como colectores de la deriva. En este estudio se concluyeron que los WSP pueden medir adecuadamente las gotas depositadas sobre la planta, luego de una pulverización, pero no son muy eficientes en capturar las gotas finas, las cuales son el mayor componente de la deriva.

Alfonso, (2000), desarrolló una investigación para evaluar la eficiencia física y biológica de diferentes técnicas de aplicación de plaguicidas sobre un cultivo de rosa, variedad “Madame DelBart”, bajo invernadero, en la finca Agrorosas, en el Rosal (Cundinamarca). Las pulverizaciones se realizaron con un aguilón en PVC, equipado con seis boquillas APT lila, y para determinar la densidad de gotas se usaron WSP. Los resultados de esta investigación, sugieren que los valores de densidad de gotas recomendados en la literatura (70 gotas/cm²) son insuficientes para el control el control de ácaros (*tetranychus urticae* Koch) en los cultivos de rosa de la finca en estudio.

Washington (1997), realizó una investigación para estimar la densidad de gotas óptima de dos fungicidas, que permita controlar la geminación de la espora del hongo “M.fijiensis” sobre la superficie de hojas de plátano. Para determinar la densidad de gotas y el tamaño de gota se usaron WSP. En este estudio se observo que a mayor tamaño de gota, la densidad de gotas es menor, ya que para un DMV de 989 μm , obtuvo una densidad de gotas de 2 gotas/cm², y para un DMV de 305 μm , obtuvo una densidad de gotas de 50 gotas/cm². También, se observó que una densidad de gotas de 30 gotas/cm², y un DMV de 250 μm , con los fungicidas “Clorotalonil” y “mancozeb”, se logra una inhibición del 99% en la germinación de la espora del hongo.

Ozkan et al. (2006), realizó unos ensayos para evaluar en el porcentaje de recubrimiento conseguido por las pulverizaciones de tres boquilla de abanico plano (TeeJet XR8002 - de gota fina, TeeJet XR8004 - de gota media y TeeJet XR8005 - de gota gruesa), sobre un cultivo de soja. El equipo de pulverización utilizado fue un pulverizador hidráulico de barra, montado en un tractor, el cual se calibro para entregar una tasa de aplicación constante (145L/ha). Para evaluar el recubrimiento se montaron sobre unos soportes 2 WSP, a 60 y 30 cm del suelo. En este estudio se observó que la boquilla de gota media (TeeJet XR8004, a 214 kPa), obtuvo el mejor porcentaje de recubrimiento (3,7% y 1,4%, respectivamente) a las dos alturas ensayadas.

Foqué y Nuyttens (2011), realizaron unos ensayos para estudiar el efecto del tipo de boquillas y el ángulo de orientación de la boquilla sobre cobertura y la deposición en las hojas. Estos ensayos se realizaron bajo condiciones de laboratorio, con plantas de hiedra sembradas en macetas, y para evaluar la cobertura se usaron WSP. En este estudio se observó que modificar el ángulo de orientación de las boquillas le permitió a las boquillas de cono hueco (Teejet TXA8003), de abanico plano estándar (TeeJeT XR8003) y de abanico de aire inducido (Lechlerf ID 90 02), mejorar el recubrimiento y la deposición de la pulverización sobre las hojas.

Rodríguez et al. (1994), realizaron una investigación para evaluar la calidad de aplicación de tres boquillas (Maruyama C-35, Maruyama D-35 y Albuz APT lila), a tres presiones diferentes, en un cultivo de clavel (*Dianthus Caryophyllus L.*), sembrado en camas bajo condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. En esta investigación se observó que a mayores tasas de aplicación se obtiene mayor cobertura, y que a mayor presión se obtiene mayor densidad de gotas en el follaje del cultivo. Por otra parte, se observó la dificultad que presentan los follajes densos, para que las gotas penetren en él, ya que, como lo menciona Boller y Schosser (2010), los distintos estados fenológicos, índices de área foliar y densidades presentan diferentes niveles de dificultad para las gotas.

Salyani, (2003), realizó unos estudios de campo en los cuales observo que las gotas finas se depositan más uniformemente que las gotas gruesas. Para evaluar el patrón de distribución de tamaños uso colectores de papel hidrosensible.

Herrera et al. (2009), realizó un estudio para evaluar la calidad de aplicación de un pulverizador de chorros de aire, Mañez-Lozano, sobre una plantaciones de cítricos en cuba. Para evaluar la calidad de aplicación se usaron WSP, con los cuales se determinó el porcentaje de recubrimiento y DMV. En este estudio se observó que los valores de DMV para 1301 L/min (493 – 366 μm), y para 3242 L/min (750 – 651 μm), estuvieron fuera del rango (150 – 300 μm) recomendado para un transporte eficiente de la gota, con este tipo de pulverizadores.

Sumner et al. (2000), Desarrollaron un estudio para evaluar la calidad de aplicación de cinco equipos de pulverización sobre un cultivo de algodón. Para evaluar el recubrimiento en las hojas se usaron colectores de papel hidrosensible. En este estudio se observó que los cinco equipos de pulverización generan manchas más grandes en los colectores que se ubicaron por el haz, que los colectores que se ubicaron por el envés, y a la vez, el recubrimiento por el haz fue mayor que por el envés.

Garavito y Riveros (2003), desarrollaron una investigación para evaluar diferentes técnicas de aplicación de plaguicidas para el control de la gota (*Phytophthora infestans sp*) en un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*), en condiciones de campo. Los tratamientos consistieron en evaluar las pulverizaciones de dos boquillas de cono hueco (Teejet TXVS6 y Teejet TXVS8), una

boquilla de abanico plano (Maruyama D-35), con una pulverizadora de espalda de accionamiento manual, de marca Calimax, y una pulverizadora de espalda con motor, de marca Maruyama (modelo MS056). La pulverizadora de motor fue ensayada a 113, 227, 355 PSI. Se usaron WSP para evaluar la densidad de gotas y el diámetro mediana volumétrica (DMV), por haz y envés de las hojas, en las etapas de emergencia, macollamiento y floración. La cuantificación del DMV y la densidad de gotas, se hizo de manera manual con un estereoscopio y con el programa E-sprinkle®. En este estudio se observó que normalmente se presentan mayores valores DMV y densidad de gotas por el haz que por el envés. Que las boquillas de cono hueco, resultaron ser menos susceptibles a las variaciones de presión y caudal aplicado, del equipo de accionamiento manual. Además, estas resultaron ser más eficaces en términos de densidad de gotas, que la boquilla de abanico plano, para este mismo equipo. Por otra parte, en las etapas de macollamiento y floración, para las tres boquillas ensayadas con la pulverizadora de motor, se corroboró, que a mayor presión se genera una mayor densidad de gotas y una mejor penetración al interior del follaje. También, se observó en que las plantas de porte bajo (etapa de emergencia), los factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento, afectan el tamaño de la gota (DMV) y la densidad de gotas, ya que se presentaron pérdidas por evaporación y deriva. Finalmente, se concluyó que la eficiencia del programa E-sprinkle®, para calcular los parámetros DVM y densidad de cobertura es baja, ya que, si se presentan imperfecciones o gotas superpuestas, el programa tiende a subvalorar los parámetros.

Con base en los valores del porcentaje de recubrimiento en los colectores, algunos autores han planteado algunas pautas de referencia para valorar el recubrimiento sobre la planta. La definición de estas pautas suele depender del tipo de plaga y del modo de acción, por ejemplo; Castillo (2005), plantea como bueno, un recubrimiento del 40%, ya que obtiene una mortalidad del 95% del piojo rojo de California en estado 1, con el aceite S. Ultra-Fine. Ahora con un recubrimiento modesto del 20 %, también se obtendrían mortalidades del insecto. Magdalena, (2004), sugiere valores entre el 20% y el 30%, como niveles mínimos aceptables de recubrimiento en WSP, para el control del "Cydia pomonella (L.)" en manzano. Entre tanto, Holownicki et al. (2002), mencionan que se tiene la creencia de que un recubrimiento del 30%, asegura un control satisfactorio. Entre tanto, Fox et al. (2003), desarrollaron una escala de clasificación con 10 clases en función de la densidad de gotas, luego empleo un sistema de análisis de imagen para evaluar el porcentaje de recubrimiento en colectores, pero la estimación de algunos niveles de esta escala resultó ser complejidad y ambigua, por lo tanto se tiene como pautas fiables, un recubrimiento del 17%, como alto, un 7,7% como medio y un 2,4 como bajo.

Porras (2006), observó que un mayor porcentaje de recubrimiento en los WSP, que ubicaron por el haz de las hojas vid, en contraste con los que se ubicaron por el envés. Además, considera que este hecho como lógico, pues la morfología de la vegetación, hace que sea más difícil para las gotas depositarse por el envés de las hojas.

Por otra parte, algunos autores (Rodríguez et al., 1994; Beltrán et al., 1994; Garavito y Riveros, 2003), observaron en sus estudios, que la calidad de aplicación con pulverizadoras de espalda de accionamiento manual, se ven muy influenciadas por el operario y el método de aplicación que use el operario. Ya que el rendimiento del operario está sujeto a factores como la fatiga, o el estado de ánimo. Además, se suelen realizar movimientos circulares sobre la planta, con el objetivo de que esta quede con signos de escurrimiento, o lavada. Kromann et al. (2008), observó que lograr un recubrimiento excesivo, no es problema para los agricultores de Quito - Ecuador, pues ellos estropean las boquillas a propósito para poder lavar la planta en un menor tiempo.

1.6.4 Estudios complementarios de colectores artificiales

Kromann et al. (2008), realizaron un estudio para controlar el tizón tardío en papa, y observaron las discrepancias en la calidad de pulverización de dos tipos de ensayos, las cuales se realizaron con la misma pulverizadora de espalda de accionamiento manual (modelo CP3 - Hardi Intl.). El primer ensayo se caracterizó por contar con una boquilla de cono hueco (modelo HC/0.8/3, Hardi Intl.) nueva, y una válvula reguladora de flujo que mantuvo la presión (145kPa), y el flujo (0.6 l min⁻¹) constantes, lo cual proporcionó un recubrimiento del 40,6% sobre los colectores (tarjetas de papel Xerox de 1 cm²), y con unos tamaños de gota ($D_{v0.1} = 85,6 \mu\text{m}$ y $D_{v0.5} = 198,1 \mu\text{m}$) más pequeños que los del segundo ensayo, que se caracterizó por contar con una boquilla de cono hueco (modelo HC/0.8/3, Hardi Intl.) averiada, pues su orificio de salida fue ampliado de 8 mm a 10 mm (aprox.), además, no contó con la válvula reguladora de flujo, por lo que la presión y el flujo se salda no fueron constantes, lo cual proporcionó un menor recubrimiento (22,9%) sobre los colectores analizados, con unos tamaños de gota ($D_{v0.1} = 108,5 \mu\text{m}$ y $D_{v0.5} = 335,5 \mu\text{m}$) más grandes.

Herrera et al., (2008a), realizaron unos ensayos con el fin de evaluar la distribución de flujo y la población de gotas generados por las boquillas "TP11002" y "TP11004" de abanico plano y las boquillas "J-A1 Azul" y "J-A2 Negro" de cono hueco, sometidas a diferentes presiones. Las pulverizaciones se realizaron dentro de un laboratorio, con una barra porta boquillas, a 50 cm del suelo. Para caracterizar el espectro de gotas se usaron tiras de papel "contac" como colectores artificiales, y un colorante negro de tejidos para aumentar el contraste. En este estudio se observó que las boquillas de cono hueco, generaron gotas de menor tamaño, que las boquillas de abanico plano, por lo cual, proporcionaron una mayor densidad de gotas sobre los colectores. Además, el incremento de la presión no produjo una influencia significativa en las boquillas de cono hueco. Por otra parte, el comportamiento de la amplitud relativa (SPAN) para las boquillas fue similar, pues todas mantienen valores superiores a 1,45, lo que indica que el rango de tamaños de gota es no muy homogéneo.

Castillo (2005), realizó un estudio con el fin de analizar cuantitativamente la distribución de tamaños de manchas de las pulverizaciones de las boquillas de disco D3, D4 (de cono lleno) con núcleo DC35, a cinco presiones de operación (1, 3, 6, 10, 20 Bar). Las pulverizaciones fueron hechas en un recinto de pulverización el cual estaba provisto de una barra de pulverización hidráulica. Para caracterizar las pulverizaciones se usaron colectores artificiales de PVC recubiertos con una fina capa de silicona. En este estudio se observó que la función de Rosin-Rammler es la que mejor se ajustó a las distribuciones de tamaños de mancha en relación con el área acumulada de manchas. Sin embargo, cuando las manchas son muy grandes (mayores a 5000 μm), esta función ya no se ajusta bien. Por otra parte, este autor menciona que el porcentaje de recubrimiento sobre los colectores, es una característica clave de la pulverización, sobre todo cuando se planea evaluar la eficacia biológica, con plagas inmóviles como el piojo de California.

1.7 USO DE TRAZADORES FLUORESCENTES PARA EVALUACIÓN DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS

Según Magdalena (2004), un trazador es una sustancia que se usa para marcar el curso de un proceso, el cual puede ser, la cantidad de producto que fue depositado sobre las plantas luego de

una pulverización, y la importancia de los trazadores fluorescentes radica en que pueden ser evaluados directamente sobre las superficies naturales.

El método consiste en adicionar una sustancia fluorescente en la mezcla que se va a pulverizar, y esta sustancia es usada para evaluar la calidad de aplicación de los plaguicidas mediante dos métodos:

- Un método cuantitativo que se basa en la cuantificación de la cantidad de trazador depositado por una pulverización agrícola sobre la superficie vegetal que se quiere a tratar (hojas, frutos, ramas, etc.).
- Un método cualitativo que se usa para evaluar el porcentaje de área, o superficie vegetal cubierta por los depósitos secos de mezcla, luego de una pulverización agrícola.

1.7.1 Método Cualitativo

En el numeral 1.6, se discutió que la capacidad de las superficies naturales, como las hojas, para interceptar y retener las gotas es diferente a la de los colectores artificiales, por lo cual, existe un gran interés en evaluar directamente sobre la planta, la superficie que se encuentra protegida por el producto fitosanitario.

El método de los trazadores fluorescentes es un método práctico y preciso que permite cuantificar la cantidad de superficie vegetal que se encuentra cubierta de mezcla (agua + plaguicida + trazador), luego de una pulverización. Ya que, las gotas de la mezcla al depositarse y secarse sobre la hoja, dejan manchas que emiten fluorescencia al ser expuestas a luz ultravioleta, lo cual, otorga un excelente contraste para el análisis de imagen.

Para la toma de imágenes de los depósitos secos sobre las hojas Firveda et al. (2002) desarrollaron la siguiente metodología:

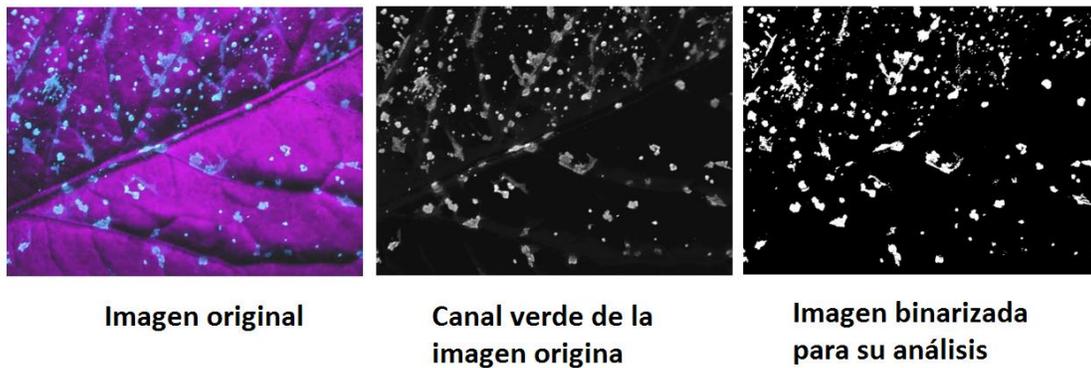
Después de realizar la pulverización, los depósitos de mezcla sobre las hojas se dejaban secar por 30 minutos. Luego se llevaron las hojas a un cuarto oscuro, en el cual se tenía un montaje fotográfico con una cámara digital, ubicada perpendicularmente sobre las hojas. El autor recomienda usar un trípode para fijar la cámara, ya que de lo contrario se pueden presentar efectos adversos en la imagen. Este aspecto fue manejado por Olivet (2009), el cual uso una cámara digital, fijada en un trípode, a 5 cm de sobre las hojas, sin zoom, con una resolución de 600 dpi.

El montaje de iluminación consistía en 2 lámparas de luz ultravioleta (BLB-FL-15W-T8), posicionadas a 15 cm de altura sobre las hojas, y separadas 20 cm entre sí. Las imágenes capturadas se transferían a un ordenador en formato JPG.

Para el análisis de imagen de las fotografías Olivet (2009), desarrolló la siguiente metodología.

El análisis se realizó en dos etapas, primero con el programa Corel PHOTO-PAINT 11, se separan los tres canales rojo, verde y azul de la imagen. Luego se toma la imagen del canal verde, pues es la de mejor contraste, y se analiza con el programa Matrox Inspector 2.2., el cual calcula la porción de hoja cubierta por los depósitos secos de trazador en función a la superficie de hoja evaluada.

Figura 11. Etapas del proceso de análisis de imagen.



Fuente: Olivet, 2009, p.52.

1.7.2 Uso de trazadores fluorescentes para evaluar cualitativamente la aplicación de plaguicidas: trabajos previos.

Existen varios trazadores fluorescentes que pueden ser usados. Sin embargo, NO todos los trazadores fluorescentes que reporta la literatura para evaluar depósitos, sirven para evaluar los depósitos secos de pulverización, pues Salyani y Whitney (1988), desarrollaron un estudio con el fin de definir los méritos y limitaciones del método de trazadores fluorescentes, y para la selección del trazador fluorescente se estudiaron tres trazadores solubles en agua (Fluorescein, Uranine y Rhodamine-B), los cuales, no reflejaron fluorescencia al estar depositados en estado seco sobre las hojas, y ser expuestos a longitudes de onda visible y ultravioleta, por lo que descartó un análisis visual de las deposiciones.

Por otro lado Jiang y Derksen (1995a), mencionan que los depósitos secos de los trazadores fluorescentes no solubles en agua, consisten en agrupaciones de partículas no disueltas, en cambio los trazadores fluorescente solubles en agua se parecen más a los depósitos de los plaguicidas solubles en agua. Por lo cual, son mejores para realizar evaluaciones visuales de los depósitos. En este estudio se observó que el traslape de manchas, producto de como las gotas se expanden sobre las hojas, sesga sustancialmente la medición de parámetros como el tamaño de mancha y la densidad de manchas, y el problema se hace más severo cuando se aplican volúmenes altos. Además, se observó que la degradación del trazador (Tinopal CBS-X) ocasiona que las manchas de los depósitos secos, en las imágenes binarias, tuvieran huecos y contornos entrecortados.

Algunos autores (Ramalingam et al., 2003; Jiang y Derksen, 1995^a; Jiang y Derksen, 1995^b), estudiaron y desarrollaron algoritmos para el proceso de transformación de las imágenes con los depósitos de trazador sobre las hojas a imágenes binarias, y observaron que los algoritmos de procesamiento dinámico, o morfológico son los de mejor desempeño.

Firveda et al. (2002), desarrollaron un estudio con el fin de establecer la concentración óptima del trazador fluorescente Poliglow 830 YLS, que permita obtener el mejor contraste de los depósitos secos de mezcla (agua + plaguicida + trazador) sobre las hojas de "Hibiscus spp", y así determinar el porcentaje de área cubierta por los depósitos secos, luego de la pulverización, mediante el

análisis de imagen con el software IDRISI. En este estudio se concluye que a mayor concentración del trazador Poliglow 830 YLS se obtienen mejores resultados en el análisis de imagen.

Ramos et al. (2007), usaron el trazador Poliglow 830 YLS, para evaluar el porcentaje de recubrimiento sobre las hojas, frutos y ramas de una plantación de cítricos, luego de una serie de pulverizaciones, y concluyeron que las hojas y frutos, son las mejores superficies para la evaluación del recubrimiento, pues, muestran mejor el efecto de los tratamientos, que las ramas. No obstante, Luskar (2007), menciona que la naturaleza compleja y variable de las superficies naturales, como las hojas, suele afectar la capacidad de retención o propagación de pulverizaciones.

Olivet (2009), estudió el efecto de diferentes tasas de aplicación sobre el porcentaje de hoja (tanto por haz y en envés) cubierta por los depósitos luego de la pulverización. Los ensayos se realizaron en un cultivo de tomate, sembrado en hilera, bajo condiciones de invernadero, y las pulverizaciones se realizaron con una pulverizadora tipo carretilla dotada de una barra vertical con cinco boquillas. Se utilizó la sustancia fluorescente "BLANKOPHOR BA 267%®" al 1%, como trazador de los depósitos secos. En general, las diferencias entre porcentajes de hoja cubierta no fueron tan grandes como las diferencias entre las tasas de aplicación, ya que a la tasa de aplicación más baja (473 L/ha) se produjo un recubrimiento del 41% por el haz, y a la tasa de aplicación más alta (1095 L/ha) se produjo un recubrimiento del 53% por el haz. Así que, con la misma dosis de plaguicida por unidad de superficie, la tasa de aplicación más baja podría obtener el doble de concentración de producto activo sobre las hojas, que la tasa de aplicación más alta. También, se observó que la porción de hoja cubierta por el haz fue ampliamente mayor, que la porción cubierta por el envés, en proporciones de 7 a 1, o 13 a 1, y estas diferencias se acentúan con menores tasas de aplicación.

Barber et al. (2003), desarrollaron 2 ensayos de campo para determinar el efecto de tres fungicidas, con tres boquillas de abanico plano (TeeJet XR110015 de gota fina, TeeJet XR11004 de gota media, y TeeJet XR11006 de gota gruesa) y una boquilla de inducción de aire (TeeJet AI110025 de gota muy gruesa), en el control de mildéu Belloso en cebada. Se usó el trazador fluorescente Tinopal CBS-X (soluble en agua destilada) para estimar el porcentaje de recubrimiento de los tratamientos. En términos generales, en este estudio se observó que las pulverizaciones de las boquillas de gota fina y media son más uniformes, y a su vez lograron mejores niveles de control del mildéu Belloso, que las boquillas de gota gruesa y muy gruesa. Por lo tanto, los datos apoyan la hipótesis de que, con gotas finas y uniformes, probablemente se produzcan mejores recubrimientos, y del mismo modo un mejor control del hongo, pues hay una mayor probabilidad de que las esporas hagan contacto con los plaguicidas.

MacIntyre-Allen et al. (2007), desarrollaron unos ensayos en un cultivo de cebolla para evaluar el efecto de una boquilla de abanico plano (TeeJet XR8004) y una boquilla de cono (TeeJet D4/DC25), con dos surfactantes (Agral 90 y LI-700), a dos tasa de aplicación (400 L/ha y 600 L/ha), sobre el porcentaje de hoja cubierta por los depósitos secos de pulverización. Como trazador se utilizó el Tinopal BS-X (soluble en agua) y las pulverizaciones se realizaron con pulverizador de manual presurizado con CO₂ (R&D Sprayers, Opelousas, LA). En estos ensayos se observó que la boquilla de abanico plano obtuvo el mejor porcentaje de recubrimiento al interior de las plantas maduras, cuando se usó el surfactante Agral 90, para ambas tasa de aplicación. Y la boquilla de cono hueco obtuvo los porcentajes de cobertura más bajos, cuando se ensayó con los dos surfactantes. Con respecto a las diferencias observadas entre los tipos de boquillas, esto pudo ser, porque la boquilla de abanico plano proporciona gotas más grande, con un DVM

aproximadamente de 330 μm , a 276 kPa, y la boquilla de cono hueco, proporciona gotas más pequeñas, con un DMV de 320 μm , a 167KPa, y un DMV de 275 μm , a 333 kPa. Por otra parte, en ausencia de surfactantes las pulverizaciones con la boquilla de abanico plano, obtiene 14 veces mejor cobertura en la parte interior de las plantas, que la boquilla de cono de hueco, para ambas tasa de aplicación.

Tompkins et al. (1983), realizaron una investigación, en la cual observaron que el porcentaje de recubrimiento medio, por el haz y el envés de las hojas, se incrementa con el incremento de la tasa de aplicación, o la presión de operación. Para evaluar el recubrimiento usaron una solución con partículas fluorescentes de Zn-Cd de sulfuro.

Derksen et al. (2001), realizaron unos ensayos en un cultivo de tomate, para evaluar el porcentaje de hoja cubierta por los depósitos de un pulverizador de difusión convencional equipado con diferentes boquillas. Los tratamientos consistieron en el uso de las boquillas D2-23, D3-25, y D4-25 (de cono hueco) por parte del pulverizador. Se usó la sustancia fluorescente Tinopal CBS-X (soluble en agua), como trazador de los depósitos secos. En este ensayo se observó que el porcentaje de área cubierta por el haz de las hojas fue mayor que la del envés, y que las pulverizaciones con presiones altas no proporcionaron un mejor porcentaje de recubrimiento que las pulverizaciones con presiones bajas. Además, se observó que a mayor tasa de aplicación, se obtiene mayor recubrimiento.

Derksen et al. (2007a), realizaron una investigación para evaluar el porcentaje de recubrimiento de tres configuraciones del equipo de pulverización (atomizador arborícola convencional de chorros de aire) sobre una plantación de manzanas variedad "Melrose". Las configuraciones consistieron en el uso de un set de boquillas de "disc-core D4-25", un set de boquillas "disc-core D3-25" y un set de boquillas inducidas por aire (TurboDrop 02 (TD02)). Se usó el trazador fluorescente Tinopal CBS-X. En esta investigación se observó el porcentaje de hoja cubierta por los depósitos secos de trazador era pobre por el envés. Lo cual, fue un problema más evidente para las boquillas inducidas por aire, ya que estas son de gota gruesa. No obstante, el problema puede atenuarse, si se crea el suficiente movimiento o turbulencia de aire dentro del dosel del árbol, como para dar la oportunidad de que las gotas grandes impacten en el envés.

Algunos autores (Barber et al., 2003; Derksen et al., 2001; Derksen et al., 2007a; Derksen et al., 2007b, Adams et al., 1988) han utilizado microscopios para evaluar manualmente el área cubierta por los depósitos secos sobre las hojas. Sin embargo, el proceso de caracterización de los depósitos solo con el microscopio, resulta ser un proceso muy engorroso. Por lo cual, hasta estos equipos les han acoplado cámaras para poder estudiar los depósitos por análisis de imagen.

En un estudio realizado por Hofman et al. (1999), se observó que los sistemas de pulverización con asistencia de aire logran mejor cobertura que los sistemas convencionales de pulverización, lo cual puede justificar los mayores costos en inversión y operación de estos. Para el estudio se empleó el trazador fluorescente "Rhodamine WT" y el tinte "Day Glo blaze orange", con los cuales se estimó el porcentaje de hoja cubierta por la pulverización.

Cross y Berrie (1995), usaron el trazador fluorescente Tinopal BS-X y el programa de análisis de imagen "Optomax V", para evaluar la cobertura de la pulverizadora de túnel "Noric-Joco" y la pulverizadora de flujo axial en una plantación de manzana. En este estudio la captura de imágenes se hizo en un cuarto oscuro, con una cámara fotográfica, con flash de luz ultravioleta.

1.7.3 Método cuantitativo

Varios autores (Koch y Knewitz, 2006; Barber, 2001; Salyani, 1993; Del Castillo, 2012; Porras, 2006), señalan que la cantidad de dosis de plaguicida depositado sobre el objetivo (dosel, hojas, frutos, ramas, etc.) es un parámetro de gran importancia en la eficiencia de las pulverizaciones. Sin embargo, la evaluación de las sustancias activas directamente de la planta es un proceso complejo y costoso, por lo cual, se ha recurrido al uso de sustancias trazadoras como indicadores de los depósitos, ya que estas son más simples y más seguras de manejar.

Son diversas las sustancias que se pueden usar para cuantificar los depósitos de pulverización: Se han usado tintes o colorantes como trazadores, los cuales según Del Castillo (2012), son sustancias ampliamente usadas, y su cuantificación se hace por medio de métodos de espectrofotometría de absorción (Pergher, 2001; Pergher y Petris 2008; Liu et al., 1995; Iraide y Soares, 2008; Del castillo, 2012; Derksen, 2007). Sin embargo, estos métodos son menos sensibles que los métodos de espectrofotometría de emisión (fluorescencia), la cual se usa para cuantificar los trazadores fluorescentes (Barber et al., 2003; Al-Sarar, 2003; Zhu et al., 2004; Zhu et al., 2002; Derksen et al., 2007a; Fritz, et al., 2011), los cuales según, Sharp (1974), son las sustancias más usadas en la evaluación de los depósitos de pulverización. Sin embargo estas sustancias son fotosensibles, y se degradan cuando son expuestas a la luz solar (Sánchez, 2007; Pergher, 2001; Hall et al., 1993; Salyani y Whitney, 1988; Khot et al., 2010).

Los quelatos de sales metálicas, según Murray et al. (2000), son las sustancias más adecuadas para evaluar los depósitos de pulverización sobre colectores artificiales y superficies vegetales, como hojas y frutos, ya que estos minimizan muchas de las desventajas de los otros trazadores, pues estos quelatos no son fotosensibles y se cuantifican por espectrofotometría de absorción atómica (Luskar, 2007; Bauer y Raetano, 2000; Chaim et al., 1999; Benez y Berton, 2004; Ramos et al., 2007; Murray et al., 2000), que es una técnica muy sensible y selectiva.

Como tal, los quelatos metálicos son los mejores para estimar los depósitos de pulverización, pero su método de cuantificación requiere de equipos costoso y laborioso. Por lo cual, se suelen usar los tintes y trazadores fluorescentes, ya que con estos se puede cuantificar los depósitos mediante el uso de métodos espectrofotométricos, que son más simples y los equipos son más económicos.

1.7.4 Cuantificación de los depósitos

La cuantificación de los depósitos de trazadores se hace mediante el uso de métodos espectrofotométricos, los cuales, según Hernández y Gonzales (2002), son aquellos en los que existe intercambio de energía entre la radiación electromagnética y la materia. Estos métodos se clasifican como:

Métodos de absorción o espectrofotometría de absorción: Diferentes autores (Rojas y Nigrinis, 1992; Burriel et al., 2008; Hernández y Gonzales, 2002, Skoog et al., 2005), menciona que los métodos de espectrofotometría de absorción, o colorimetría son los más populares. Esto en parte, a que las moléculas absorben radiaciones del espectro electromagnético de manera selectiva. El fenómeno de absorción ocurre cuando una especie química, átomo, ion o molécula absorbe energía electromagnética, y esta pasa del estado fundamental o de mínima energía, a un estado excitado en el que posee más energía, donde la molécula permanece en este estado excitado por un periodo de tiempo muy corto, luego retorna a su estado fundamental, y como

resultado de este proceso la especie cede energía en forma de calor, el cual, normalmente se desperdicia.

Según Olsen (1999), la regla que permite calcular la concentración de una sustancia a partir de la medición de la radiación absorbida por una muestra es la ley de Beer, la cual indica que, “la absorbancia de una muestra es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente” (Harris, 1948: 498), y suele expresarse como:

$$A = \epsilon bc \quad (1.10)$$

Donde, A es la absorbancia y no tiene dimensiones, b es la longitud de la cubeta y expresa en [cm], c es la concentración y suele expresarse en [M], ϵ es la absortividad molar y se expresa en [$M^{-1} \cdot cm^{-1}$], y depende de la longitud de onda de la luz, al igual que A, por lo cual se toma como un coeficiente de proporcionalidad entre A y el producto de bc. No obstante, Harris (1948) menciona que existen casos donde la ley de Beer no se cumple, ya que en soluciones con concentraciones altas pueden producirse cambios en las especies absorbentes o en las propiedades de la solución. En la práctica, para concentraciones inferiores a 0,01 M, se verifica muy bien que la absorbancia es proporcional a la concentración de las especies absorbentes de la mayoría de las sustancias.

Métodos de emisión o espectrofotometría de emisión: Estos métodos de emisión son descritos por Olsen (1999) y Skoog (2005), como un proceso de fotoluminiscencia, el cual comprende la fluorescencia y la fosforescencia, y se basan en la excitación de los átomos y moléculas por la absorción de radiación electromagnética. Donde el tiempo transcurrido entre la absorción y la emisión en la fluorescencia es de 10^{-4} a 10^{-8} segundos, y de 10^{-4} a 20 segundos, o más para la fosforescencia. Después, la especie excitada se relaja al estado fundamental o de mínima energía cediendo el exceso de energía en forma de fotones a una longitud de onda mayor que la de absorción. No obstante, la fosforescencia es menos frecuente que la fluorescencia, por lo que la fluorescencia se implementa más, y según Rojas y Nigrinis (1992), para que se produzca el fenómeno de la fluorescencia el compuesto debe poseer una estructura molecular absorbente, como el grupo donador de electrones (-OH, -NH₂) en el grupo resonante, o que la molécula posea enlaces dobles conjugados con un alto nivel de estabilidad de resonancia, o que la estructura de la molécula sea rígida como en los compuesto aromáticos.

Para “el análisis cuantitativo es de gran ayuda contar con una relación simple, monótona y de preferencia lineal, entre la intensidad de emisión y la concentración de soluto” (Harris, 1948: 524). Por lo cual, las cuantificaciones analíticas con espectrofotometría de fluorescencia suelen realizarse con soluciones tan diluidas, que la absorbancia sea casi despreciable.

Según Skoog (2005) la ecuación que relaciona fluorescencia F con la concentración c, es:

$$F = K' P_0 (1 - 10^{-\epsilon bc}) \quad (1.11)$$

Donde P_0 es la energía del haz incidente en la solución, K' es una constante que depende de la eficiencia cuántica de la fluorescencia, y ϵbc , es la absorbancia (A), por ley de Beer.

Ahora, si se expande el término exponencial de la ecuación 1,11 se llega a:

$$F = K' P_0 \left[2,3\epsilon bc - \frac{(-2,3\epsilon bc)^2}{2!} - \frac{(-2,3\epsilon bc)^3}{3!} - \dots \right] \quad (1.12)$$

Sin embargo, para concentraciones bajas, con $A < 0,05$, el primer término entre corchetes ($2,3\epsilon bc$), será mucho mayor que los siguientes. Por lo cual, la ecuación queda simplificada a:

$$F = 2,3 \cdot K' \cdot \epsilon \cdot b \cdot c \cdot P_0 \quad (1.13)$$

Y, si P_0, ϵ, b, K' son constantes, entonces $K = 2,3 \cdot K' \cdot \epsilon \cdot b \cdot P_0$, será una constante, así que:

$$F = Kc \quad (1.14)$$

Por consiguiente, si se grafica la energía fluorescente de una solución en función de la concentración de la especie fluorescente, esta será lineal. No obstante, si la concentración aumenta, al punto de que la $A > 0,05$, la relación de la ecuación pierde linealidad y la fluorescencia ya no será proporcional a la concentración. Además, como el valor de K' depende de la eficiencia cuántica de la fluorescencia, la cual según Barber (2001), y Rojas y Nigrinis (1992), será un valor menor que 1, porque algunas de las moléculas excitadas retornan al estado fundamental por otros caminos diferentes al proceso de emisión, y su determinación se hace considerando una serie de factores estructurales, como la presencia y las posiciones de los heteroátomos en la molécula y el solvente utilizado.

▪ Selección de un método espectrofotométrico

Según Puican (2011), la selección de un método espectrofotométrico puede estar basada en un grupo de criterios como: intervalo de concentraciones de trabajo, la sensibilidad, la selectividad y las propiedades fisicoquímicas de la muestra.

En general, los métodos de emisión se caracterizan por su sensibilidad, la cual, según Olsen (1999), es uno a tres órdenes de magnitud mayor que los métodos de absorción, no obstante, el rango de concentraciones de trabajo puede ser muy amplio. Fritz, et al., (2011), trabajaron desde los 0,001 ppm hasta 1 ppm, con el trazador fluorescente "Caracid Brilliant Flavine". Sharp (1974), presenta una curva de calibración desde 0,001 mg/l (o 0,001 ppm) hasta 10 mg/L (o 10 ppm), para el trazador fluorescente "Fluorescein LTS". Pergher (2001), estudió cinco trazadores fluorescentes, en los cuales, el rango de concentración donde la curva de calibración es lineal fue de: 0 a 2 ppm para el "Brilliant Sulfaflavine", de 0 ppm a 0,6 ppm para "BASO Red 546" y "Rodamine B", de 0 a 0,2 ppm para "Brilliant Sulfaflavine" y "Uvitex OB" y de 0 a 0,1 ppm para "Fluorescein". De igual forma, estudió siete tintes o trazadores (Amaranto, Reactivo Negro 5, patente de Azul Violeta, tartrazina, lisamina verde B, eritrosina B y "Ponceau 4R"), en los cuales, el rango de concentración donde la curva de calibración es lineal fue de 0 a 50 ppm. Del Castillo (2013), trabajó desde 0,26 ppm hasta 40,92 ppm, para el trazador "Tartracina".

Así pues, los trazadores fluorescentes tienen la particularidad de ser cuantificados a concentraciones muy pequeñas (0,001 ppm), lo cual resulta muy útil para evaluar la deriva de las pulverizaciones agrícolas, pero cuando se desean evaluar los depósitos de trazador dejados por un sistema de pulverización terrestre, se suelen obtener concentraciones mayores, del orden de 0,1 ppm a 10 ppm, por lo cual, se tiende a usar métodos de absorción para cuantificar los depósitos de trazador.

Conjuntamente, Olsen (1999) menciona que los métodos de emisión son más selectivos, pues existen muchas moléculas que absorben radiación pero no emiten, por lo tanto, las interferencias en estas técnicas son menores. Sin embargo, ambos métodos espectrofotométricos (de emisión y absorción) son sensibles a factores como la interferencia ambiental (contaminación de muestras), la presencia de sustancias inhibitorias (como los plaguicidas, o compuestos en las soluciones que diluyen los trazadores), el pH del solvente, la temperatura y diversos tipos de errores instrumentales que afectan la sensibilidad. Por lo tanto, considerando las condiciones del entorno

en donde se desarrollan las investigaciones de depósitos, la metodología que se implemente para la toma de muestras resulta ser más importante que la técnica de cuantificación, ya que se deben eliminar o controlar todos los posibles errores.

▪ **Obtención de los depósitos**

Pergher (2001), desarrolló una metodología para la toma de muestras de campo para determinar los depósitos de las pulverizaciones, la cual consiste en:

1. Preparación de la solución a pulverizar, la cual, consiste en la mezcla del plaguicida con un trazador y eventualmente un surfactante en el solvente apropiado (normalmente agua). Donde la dosis de trazador debe ser calculada con el fin de obtener ciertas cantidades de concentraciones esperadas en las soluciones de lavado, por lo que se requiere una evaluación previa, o cierto nivel de experiencia previa.
2. Una vez realizada la pulverización, se procede a la recolección de los colectores, los cuales son almacenados en recipientes como: Envases con tapa, platos de petri, envases de vidrio opaco (Bauer y Raetano, 2000), o bolsas plásticas (Fritz et al., 2011 y Palladini et al., 2005). Luego, a cada uno de los recipientes se les adiciona cierta cantidad de solución en la cual el trazador es soluble, estas soluciones son conocidas como solución de lavado. Después son agitados manualmente por un determinado periodo de tiempo (20 segundos), y se dejan reposar por una hora o más. Bauer y Raetano (2000) dejan reposar las muestras por 24 horas. No obstante, Sharp (1974) recomienda hacer rápido la extracción del trazador de colectores naturales, con el fin de minimizar la extracción de pigmentos vegetales.
3. Cuando se toman datos campo, las soluciones de lavado tienen una alta probabilidad de tener impurezas, por lo cual, Fritz et al., (2011), implementó un proceso de decantación que consistía en agregar 5 mL de solución de lavado en tubos de vidrio con tapa, los cuales se agitaban y luego se colocaban en bastidores para su decantación y posterior cuantificación. Pergher (2001), optó por filtrar 5 mL de solución de lavado en un micro filtro de 0.22 μm (Millex-GS, Millipore).
4. Los depósitos, suelen ser presentados de dos formas: En μg de trazador por cm^2 , y este valor se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$D_{\text{muestra}} = \frac{C_{\text{sol.lavado}} \times V_{\text{lavado}}}{A_{\text{colector}}} \quad (6.1)$$

Donde:

D_{muestra} : Es el depósito de trazador.

$C_{\text{sol.lavado}}$: Es la concentración del trazador en la solución de lavado, la cual se expresa en partes por millón (ppm), cuando se desea obtener los depósitos en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

V_{lavado} : Es el volumen usado para lavar la muestra durante el proceso de extracción del trazador del colector, y se expresa en mL.

A_{colector} : Es el área del colector o muestra usado, y se expresa en cm^2 .

La concentración de la solución de lavado se determina con base en la curva de calibración, el cual es un método de interpolación, o también se puede usar el método de adiciones

estándar implementado por Fritz, et al., (2011), el cual es un método de extrapolación. Sin embargo, el cálculo de la concentración para ambas técnicas, está basado en el supuesto de linealidad de la respuesta instrumental (sea absorbancia o fluorescencia) y la concentración, por lo cual se requiere que la muestra esté dentro de los rangos de concentración en los que la curva sigue un patrón lineal.

Como se observó: Los depósitos son normalmente recolectados en soluciones de lavado, donde el pH de estas soluciones resulta ser factor influyente en la cuantificación de la absorbancia o la fluorescencia. Un caso de estudio fue desarrollado por Zhu et al. (2005), el cual estudio la influencia del pH de la solución de lavado, con el objetivo reducir al mínimo los errores analíticos en la medición de los depósitos. En este estudio se observó que los trazadores “Fluorescein”, “Pyranine” y “Tinopal”, deben ajustar sus soluciones de lavado a un pH por encima de 8,43, en lugar de utilizar agua destilada. En general, cuando una especie absorbente interviene en un equilibrio ácido-base, el pH se debe mantener constante, para evitar errores en su cálculo.

1.7.5 Fotodegradación

Tal como se mencionó antes, la foto degradación es un problema que presentan la mayoría de los trazadores fluorescentes, ya que según Sánchez (2007), la fotodegradación es una reacción química que se produce por la influencia de la luz, y la posibilidad de fotodegradación de un compuesto orgánico en el medioambiente depende del grado de solapamiento entre su espectro de absorción UV/VIS y el espectro de emisión de la luz del sol, el cual depende de la época del año, hora del día, latitud, altura sobre el nivel del mar, la presencia de nubes, etc.

La siguiente metodología fue empleada por Pergher (2001), para calcular la fotodegradación de trazadores fluorescentes y tintes. Primero se prepara una solución madre o patrón de trazador, y con ayuda de una pipeta se suministra 1 ml o 2.6 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ de solución patrón sobre tiras de papel y placas de Petri, en donde las placas de Petri son usados como solución de control, en vista de que estas dan el 100% de extracción. Las tiras de papel son usadas para calcular la tasa de extracción y la tasa de degradación del trazador cuando es expuesto a la radiación del solar. Para ello, se toman de 4 tiras de papel con 2.6 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ de solución patrón, donde 2 son mantenidas en la oscuridad y 2 son expuestas al sol por periodos de 30 minutos (radiación total 0.92 MJ/m^2). Tan pronto, el tiempo de exposición se ha cumplido, las muestras son recolectadas en recipientes, a los cuales se le adiciona 100 mL de la misma solución utilizada para disolver los trazadores, con lo cual se obtiene una solución de estudio para cada tira de papel. La fotodegradación se calcula como la diferencia instrumental (sea fluorescencia o absorbancia) entre las muestras mantenidas en la oscuridad y las muestras expuestas a la luz solar, y se expresa en porcentaje.

Hall et al., (1993), realizaron unos ensayos en laboratorio con el objetivo de establecer la fotodegradación de ocho trazadores fluorescentes (Uvitex EC; Uvitex OB; Tinopal CBS-X; Keyacid Red XB 400%; Rhodamina WT; Rhodamina B; Rodhamina B EX500; Billiant Sulphaflavine 40 %). En este estudio se observó que para un periodo de exposición de 100 minutos, bajo condiciones de luz, la fluorescencia se reducía significativamente para el Uvitex CE (82,4%), levemente para el Tinopal CBS-X (9,4%), Rodhamina B EX500 (5,3%) y Rhodamina B (4,3%), y los trazadores restantes no presentaron reducciones apreciables. Además, se estudió la degradación en almacenamiento del Tinopal CBS-X, Billiant Sulphaflavine y Pyranine 10G, los cuales fueron depositados en forma de gotas sobre tiras cuadradas de papel de filtro (“fisher scientific”), por un

periodo de 41 a 45 días, bajo condiciones de oscuridad, y donde el Tinopal CBS-X tuvo la reducción de fluorescencia más alta (48,3%).

Barber et al. (2003), emplearon el Tinopal BS-X como trazador, para estimar los depósitos en dos ensayos de campo: En el ensayo inicial, se obtuvo una fotodegradación del 14%, para 40 minutos de exposición solar y una tasa de radiación solar media de 18,3 (MJ/m²), y en el segundo ensayo, se obtuvo una fotodegradación del 28%, con el mismo tiempo de exposición solar y una tasa de radiación solar media de 9,4 (MJ/m²).

Salyani y Whitney (1988), estudiaron la fotodegradación de tres trazadores fluorescentes (Fluorescein, Uranine y Rhodamine-B), y con los resultados de Rhodamine-B, se planteó una ecuación para calcular la tasa de decaimiento de la fluorescencia en función del tiempo de exposición. Pero considera muy difícil controlar la exposición de las muestras al sol, por el problema inherente a su localización, lo cual otorga más variabilidad y error a la prueba.

Khot et al., (2010), evaluaron la fotodegradación y la estabilidad en almacenamiento de los trazadores fluorescentes “Yellow 131SC®”, el cual es miscible en aceite mineral BVA-13® y “Pyranine 10G®”, el cual es miscible en agua des-ionizada. En este estudio se observó que el tamaño de las gotas tiene un efecto negativo sobre la degradación de los depósitos. Por lo cual, concluye que la fotodegradación no depende únicamente del tiempo de exposición.

1.7.6 Depósitos: trabajos previos.

Zhu et al. (2004), desarrollaron unos estudios para determinar la influencia de las boquillas de abanico plano (TeeJet 8003VS), de hueco (TeeJet D4-DC25-HSS), de aire inducido (TurboDrop1 XLV-025) y de doble abanico plano (TwinJet TJ60-8003VS), sobre los depósitos en plantas de maní. Para evaluar los depósitos se usó el trazador “fluorescein”, y como colectores se usaron platos de petri de 35 mm de diámetro. En este estudio se observó que los depósitos más altos se obtienen con la boquilla de doble abanico plano, y los depósitos más bajos se obtienen con la boquilla de cono hueco.

En otro ensayo previo, con idénticas características, Zhu et al. (2002), estudio la influencia de los caudales de las boquillas de abanico plano 8001VS, 8003VS, y 8005VS sobre los depósitos. Para este ensayo se usó el trazador “Acid Yellow 7” para determinar los depósitos. En este ensayo se observó la relación directa que puede existir entre los depósitos y el caudal aplicado, ya que a un mayor caudal, se obtienen mayores depósitos en las diferentes partes de la planta de maní.

Iraide y Soares (2008), realizaron una investigación para evaluar los depósitos de pulverización sobre cuatro especies de “commelina”, y como trazador usaron el tinte azul brillante “FDC-1”. En este estudio se observó que el uso de tasa de aplicación más alta no necesariamente proporciona mayores depósitos, y que las tasas de aplicación bajas proporcionan mayor uniformidad en la distribución de las gotas.

Como se mencionó antes, Barber et al. (2003), realizó unos ensayos de campo con el trazador fluorescente Tinopal CBS-X, con el cual estimo los depósitos de tres boquillas de abanico plano (TeeJet XR110015 de gota fina, TeeJet XR11004 de gota media, y TeeJet XR11006 de gota gruesa) sobre las hojas de un cultivo de cebada. En este estudio se observó que en la parte superior de la planta se obtienen mayores depósitos con la boquilla de gota gruesa que con las boquillas de gota

fina y media. Entre tanto, en las partes medias e internas de la planta no se observaron diferencias significativas entre los depósitos de cada clase de boquilla.

Esta clase de situaciones, en donde no se logra buenos depósitos en las partes internas de las plantas, fue estudiada por Al-Sarar (2003), el cual observó que la arquitectura de la planta tiene un impacto significativo sobre la distribución de los depósitos a través de la planta. Por ejemplo, Derksen et al. (2007b), reporta, a una tasa de aplicación de 280,6 L/ha, con la boquilla de inducción de aire (AI110025), y la boquilla de doble abanico plano (TJ60-11003), se obtiene depósitos similares (sin diferencias significativas) en la parte media del follaje de un cultivo de pimientos sembrados a doble fila. En este estudio se usó el colorante (FD&C N°1) como trazador, y las hojas como colectores.

Por otro lado, Derksen et al. (2001), realizó unos estudios de campo para evaluar los depósitos de un pulverizador de difusión convencional y un pulverizador “Myers Mity Mist” con asistencia de aire sobre un cultivo de tomate, y concluyó que la penetración de la pulverización dentro del follaje se mejora con el uso de asistencia de aire.

Del Castillo (2012), realizó dos ensayos sobre un cultivo de tomate sembrado en invernadero, en donde evaluó los depósitos del trazador “Tartracina”, generados por una pulverizadora estacionaria de carretilla equipada con una lanza de dos salidas y un sistema autopropulsado de barras pulverizadoras verticales. Para determinar los depósitos se colocaron colectores artificiales (tiras de papel de filtro - FILTER LAB) sobre las hojas. En términos generales, en este estudio se observó que los valores de depósito promedio por el envés son bajos y poco uniformes. Este comportamiento también fue observado por Holownicki et al. (2002).

Pergher (2001), realizó una serie de ensayos con hojas como colectores naturales, para evaluar los depósitos de una serie de pulverizaciones, y observó los inconvenientes que pueden ser las hojas, ya que, la presencia de esporas o trazas de plaguicidas sobre las hojas, suelen ser fuentes de error en la estimación de los depósitos. Por lo cual, es común, el uso de colectores artificiales para capturar los depósitos. Salyani y Whitney (1988), observaron una buena correlación entre los depósitos capturados por tiras de papel Mylar y hojas de un cultivo de cítricos.

Por otra parte, Holownicki et al. (2002), menciona que establecer una relación entre la cantidad de trazador depositado y la eficiencia del control químico, suele ser un asunto complejo, razón por la cual, se maneja más la relación entre eficiencia y la densidad de gotas. Sin embargo, autores como, Liu et al. (2004), observaron una buena correlación entre el porcentaje de recubrimiento sobre WSP y los depósitos de pulverización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

Los ensayos de campo se llevaron a cabo en el lote N°5 del Centro Agropecuario Marengo (CAM), perteneciente a la Universidad Nacional de Colombia, ubicado en la vereda San José del municipio de Mosquera – Cundinamarca a 2543 m.s.n.m., con coordenadas geográficas 4° 42` de latitud Norte y a 74° 12` de longitud Oeste, “con una precipitación promedio anual de 645 mm, temperatura media anual de 14,7°C y 80% HR” (Agámez et al., 2007, p.204).

El suelo del CAM “pertenece a la serie Marengo localizado en la zona de transición entre la terraza baja lacustre y la planicie aluvial de los ríos Balsillas y Subachoque, en relieve plano y pendientes que no exceden el 1%, originado a partir de sedimentos lacustres con restos de cenizas volcánicas y contribución de arcillas aluviales, presentando un drenaje natural pobre” (Gómez, 2012, p 31).

Según Gómez (2000); El lote N°5 pertenece a la clase Typic Melanudand, con textura franco arcillosa en la capa arable, con porcentajes de arenas, limos y arcilla de 45,42%, 24,58% y 30,0% respectivamente. Sin embargo, algunas de las aéreas ocupadas por esta unidad presentan problemas de salinidad que pueden afectar las propiedades químicas y físicas del suelo. En la tabla 8, se presentan los datos de precipitación mensual para el 2011, año en que realizaron los ensayos.

Tabla 8. Precipitaciones mensuales del 2011.

AÑO	MES	Precipitación [mm]
2011	Enero	34,5
2011	Febrero	88,1
2011	Marzo	87,9
2011	Abril	128,2
2011	Mayo	120,9
2011	Junio	68,4
2011	Julio	44
2011	Agosto	41,7
2011	Septiembre	49,2
2011	Octubre	148,1
2011	Noviembre	159,6
2011	Diciembre	

Fuente: IDEAM – Estación de Tibaitatá (código 2989), ubicada en el Municipio de Mosquera, a 2543 m.s.n.m.

2.2 ELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

Se escogió la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) Híbrida 424 Grendell, porque está adaptada al clima frío (13,1 °C) y la altura (2543 m.s.n.m) del CAM. Además se tuvo en cuenta la popularidad que tiene en la Sabana de Bogotá, ya que tiene un ciclo de producción de 50 a 65 días, se presta para la siembra directa y es muy resistente a la manipulación.

2.3 ELECCIÓN DEL EQUIPO DE PULVERIZACIÓN

Para el investigador, era de gran interés utilizar la pulverizadora de espalda de accionamiento manual, ya que es el más usado en Colombia por los pequeños y medianos agricultores, gracias a su versatilidad, simpleza y economía. Además, la espinaca al ser un cultivo de porte bajo (menos de 1m), y se siembra en surcos, por lo cual, se adecua muy bien a las características de este equipo.

La pulverizadora de espalda de accionamiento manual que se seleccionó para los ensayos fue: La pulverizadora de Marca Calimax, tipo Alemana, la cual cuenta con un tanque de metal de 20 litros, provisto de una tapa y un filtro colador. La bomba era de embolo, y se accionaba con una palanca de metal ubicada al costado izquierdo.

A la manguera de descarga, que es la encargada de transportar la mezcla hasta la lanza, se le acoplo un manómetro de marca Royal Cóndor, que mide de 0 a 413.68 kPa (60 PSI). La lanza y el porta boquillas eran de cobre, y la selección se las boquillas y filtros se explica a continuación.

2.4 ELECCIÓN DE BOQUILLAS.

Las boquillas seleccionadas fueron:

- A. TeeJet® TX800050VK: De cono hueco de baja descarga, de gota muy fina, con cuerpo de polipropileno e inserto de orificio de cerámica.
- B. TeeJet® TXA8004VK: De cono hueco de alta descarga, de gota media, con cuerpo de polipropileno e inserto de orificio de cerámica.
- C. TeeJet® XR8004VS: De abanico plano de amplio espectro de alta descarga, de gota media, con cuerpo de polipropileno e inserto de acero inoxidable.
- D. TX-Royal Cóndor: Esta boquilla es nacional y según el fabricante PROGEN S.A. (2014), la boquilla es: De cono hueco, de gota fina, hecha totalmente en latón, con un ángulo de pulverización de 80°. La tasa de descarga es baja, ya que en los ensayos de campo, a una presión de 3,8 a 4,1 Bar, la descarga fue 0,336 L/min.

Las boquillas B y C se seleccionaron porque se quiere tener un flujo más alto para obtener mayor densidad de gotas, y mayor recubrimiento. Además, se quiere ver cual patrón de distribución tiene el mejor desempeño en la espinaca. Entre tanto, Las boquillas A y D, se seleccionaron porque se quiere trabajar con tasas de aplicación bajas. Además, la boquilla TX-Royal Cóndor, es con la que viene equipadas las pulverizadoras de espalda de accionamiento manual de la misma marca, la cual es una de las usadas en Colombia. En la tabla 9 se presentan la información más relevante de las boquillas TeeJet.

Tabla 9. Características de las boquillas.

BOQUILLAS	Tamaño de malla ^D	Angulo de pulverización ^D	Diámetro del orificio (mm)	DMV (µm)			Descarga (L/min) ^D				
				2 Bar	4 Bar	6 Bar	2 Bar	3 Bar	4 Bar	5 Bar	6 Bar
TXA800050VK	100	80	0,860 ^B	124 ^A	107 ^A	100 ^A	0,164	0,196	0,223	0,245	0,266
TXA8004VK	50	80	2,260 ^B	261 ^A	226 ^A	209 ^A	1,290	1,580	1,820	2,030	2,230
XR8004VS	50	80	-	352 ^C	299 ^C	275 ^C	1,290	1,580	1,820	2,040	2,230

DVM: Los datos están basados en pulverizaciones con agua a 21 °C, bajo condiciones de laboratorio, usando un analizador de partículas de fase Doppler (PDPA).

^A: Tomado de la ficha técnica N° 37043-16M.

^B: Tomado de la ficha técnica N° 38010M.

^C: Tomado de la ficha técnica N° 37043-5M.

^D: Tomado del Catálogo 51-ES (Spraying Systems Co., 2011).

Fuente: El autor.

Los filtros fueron seleccionados con base en la información del Catálogo 51-ES (Spraying Systems Co., 2011, p.112):

- Para la boquilla A, se eligió el filtro de referencia 5053: El cual tiene un tamaño de malla de 100, con cuerpo en latón y malla en acero inoxidable.
- Para las boquillas B, C y D, se eligió el filtro de referencia 8079: El cual tiene un tamaño de malla de 50, con cuerpo en polipropileno y malla en acero inoxidable.

Ahora, con base en la caudal aplicado por la boquilla TX-Royal Cóndor, el tamaño de malla para esta boquilla debe ser 100.

2.5 ELECCIÓN DEL TRAZADOR

Como se mencionó antes, existen varios trazadores fluorescentes para evaluar las pulverizaciones, sin embargo, según Hall et al., (1993), la elección del trazador debe estar basada en las características del entorno en el cual se va a desempeñar el estudio. Por tanto, se debe

tener en cuenta: Que sea económico, soluble en una sustancia económica y sobre todo que no sea toxico para el cultivo, el medioambiente y el operario.

Por tanto, de los trazadores fluorescentes mencionados en el capítulo 1,7, se excluyeron todos aquellos trazadores que no fueran solubles en agua destilada (Poliglow 830 YLS y Saturn Yellow), y aquellos que tuvieran toxicidad ("Orange A-15" y "Saturn Yellow", tienen pequeñas dosis de formaldehido), pues no se desea generar algún problema para el operario o la planta. Por lo cual, se tiene que el Tinopal CBS-X, Rhodamine WT y el BLANKOPHOR BA 267%®, como posibles trazadores.

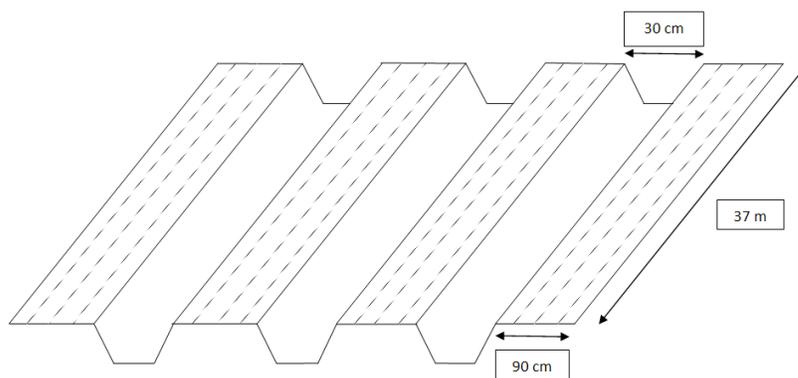
Ahora, como Tinopal CBS-X es de fácil adquisición en el país, por intermedio de la empresa Colquimicos S.A., se optó por usar este como trazador. Además, Bierman (1998), declara que el tinopal no representa un riesgo toxicológico para el hombre, independientemente de la ruta de exposición.

2.6 ENSAYO 1

2.6.1 Establecimiento del cultivo

El ensayo se realizó durante el primer semestre del año 2011, entre febrero y abril. Para el cultivo se contó con un área de 790 m² en el lote 5, lugar en cual se estableció una parcela semi-comercial de espinaca, con 14 surcos de 37 m de largo, por 90 cm de ancho, y separados 30 cm entre sí.

Figura 12. Esquema de los surco del lote.



Nota: Las líneas punteadas representan las tres hileras hechas con la herramienta manual.

Este lote había sido plantado con apio durante el 2010, y luego de la cosecha se le introdujo ganado para que se comiera el rastrojo. La preparación del terreno consistió en: 2 pases de arado de disco, luego se aplicaron 5 pases de rastra californiana de 16 discos y un pase de arado rotativo ("rotovator"), posteriormente se pasó el surcador de dos puntas, con un ancho de trabajo de 1,2 m, para conformar las camas.

Figura 13. Actividades realizadas en el establecimiento del cultivo. De izquierda a derecha: Arado de disco, rastrillado, surcado y desinfección.



Según Flores y Segura (2010), los requerimientos nutricionales de la espinaca son:

Tabla 10. Requerimientos nutricionales para un cultivo de espinaca.

Nutriente	Formula	Requerimientos (kg/ha)
Nitrógeno	N	70 – 225*
Fosforo	P ₂ O ₅	20 – 90*
Potasio	K ₂ O	90 – 200*
Magnesio	MgO	-
Calcio	Ca	10 – 35*
*: Requerimientos nutricionales para un rendimiento de 10 a 25 ton/ha		

Fuente: Flores y Segura, 2010.

Entonces, considerando los requerimientos de la Tabla 10, para el área de siembra (466,2 m²), las cantidades de nutrientes requeridas son: 3,3 a 10,5 kg de nitrógeno, 0,9 a 4,2 kg de fosforo, 4,2 a 9,3 kg de potasio y 0,5 a 1,6 kg de calcio. Así que, sin tener en cuenta el análisis químico del suelo, el plan de fertilización fue:

Tabla 11. Fuentes de fertilizantes y cantidades totales a aplicar en el ciclo de cultivo.

Fertilizante	Cantidad aplicada(kg)	Aporte		
		N (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)
Triple 15	30	4,5	4,5	4,5
Úrea	10	4,6		
	Total	9,1	4,5	4,5

El fertilizante Triple 15, se administró en el momento de sembrar la semilla, y la urea se aplicó a los 45 días. Ya que, “la espinaca tiene la mayor demanda de nutrientes durante las últimas tres semanas del ciclo de cultivo, momento durante el cual acumula la mayoría de su peso seco” (Flores y Segura, 2010).

El tipo de siembra fue directa y se realizó el 16 de febrero de la siguiente manera: A cada cama se le elaboraron 3 hileras, separadas 30 cm entre sí, con una herramienta manual. Luego, las semillas fueron esparcidas sobre las hileras de forma manual, y una vez ubicadas, se taparon con una capa fina de suelo (de 1 a 2 cm de espesor). Más tarde, a los 24 días se realizó un raleo para mantener una distancia entre plantas (aproximadamente 15 cm). Así que, la densidad de siembra fue 22 plantas/m².

Por otra parte, debido a la cantidad de plagas que afectan la espinaca, el coordinador agrícola del CAM recomendó hacer una serie de controles preventivos durante la fase de germinación, con el fin de garantizar el brote de la semilla y el desarrollo de la plántula. Para ello, se aplicó "Látigo EC", el cual es un insecticida de amplio espectro, que mezcla de un organofosforado (Cloropirifos), con un piretroide (Cipermetrina). En la etiqueta del "Latigo EC", el fabricante Dow AgroSciences (2014), recomienda una dosis de 0,5L/ha para el control de trips y minadores.

En términos generales el cultivo no fue muy exigente en riego, ya que en la mayor parte del tiempo la lluvia proporcionó el agua necesaria. Sin embargo, las lluvias produjeron inundaciones que anegaron un 40% del cultivo, ya que las precipitaciones para los meses de febrero y abril estuvieron por encima de los promedios para la zona, según los boletines informativos sobre el monitoreo del fenómeno de la niña del IDEAM (boletines 30 y 32, de 2011).

2.6.2 Diseño Experimental

Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con un arreglo factorial de: 4 boquillas x 2 técnicas de aplicación x 2 superficies de la hoja (Haz y Envés) con 5 réplicas.

Las boquillas fueron: Dos boquillas de cono hueco de baja descarga de referencia TeeJet TX800050VK y TX-Royal Condor, una boquilla de cono hueco de alta descarga de referencia TeeJet TXA8004VK, y otra de abanico plano de alta descarga de referencia TeeJet XR8004VS, las cuales se caracterizaron previamente.

Las técnicas de aplicación correspondieron a: Un pase o recorrido aplicando un plaguicida, la cual es la práctica común de los agricultores, y dos pases o recorridos (uno de ida y otro de regreso) aplicando un plaguicida sobre las misma cama, ya que se quiere tener más flujo para mejorar el recubrimiento y la densidad de gotas.

Las superficies de la hoja corresponden a la superficie superior, o haz de la hoja y la superficie inferior, o envés de la hoja.

Para evaluar la calidad de aplicación de los plaguicidas se utilizaron 2 métodos de evaluación, los cuales son: El método de los colectores de papel hidrosensible y el método cualitativo del trazador fluorescente, el cual usa las hojas como colectores.

Se manejaron 8 camas como unidades experimentales y su arreglo se hizo de la siguiente manera:

De las 14 camas sembradas, se seleccionaron 8, ya que no hubo una buena germinación de la semilla, y algunas camas no tenían la cantidad suficiente de plantas para garantizar la densidad de siembra (22 plantas/m²) a lo largo de la cama. A estas 8 camas se les descartan 12 metros; 6 al principio y 6 al final, ya que el control de arvenses en estas secciones fue defectuoso y no había en número suficiente de plantas para garantizar la densidad de siembra en estas zonas. De este

modo, cada unidad muestral será de 25 m de largo por 0,9 m de ancho, tal como muestra la figura 14.

Figura 14. Esquema del lote con camas seleccionadas para el ensayo 1.

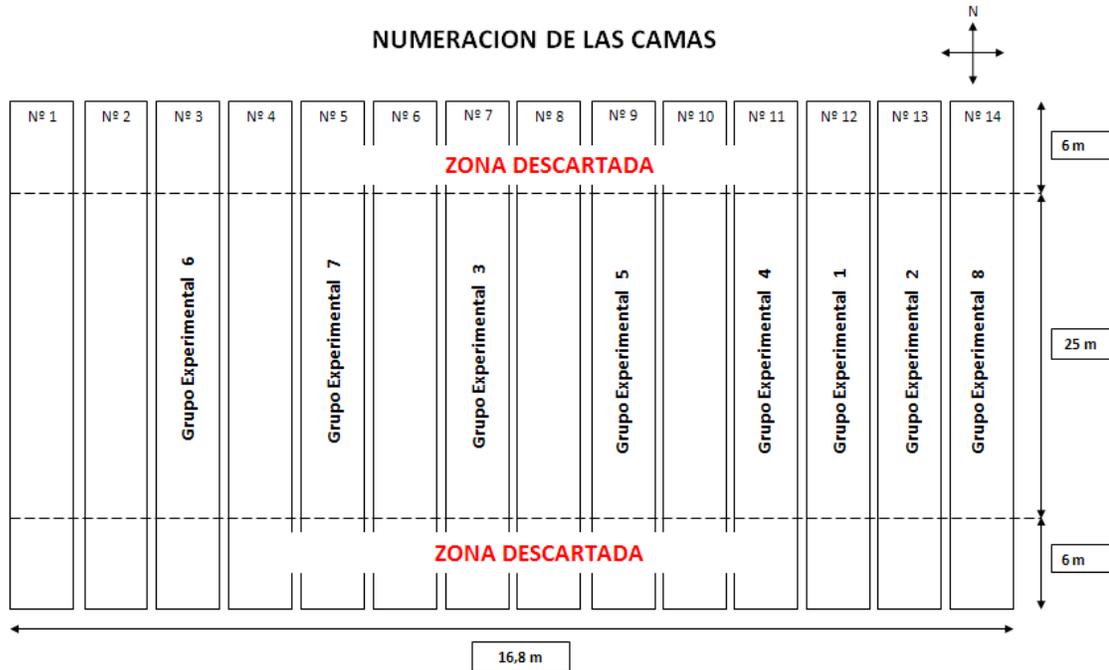


Tabla 12. Lista de grupos experimentales para el ensayo 1.

Ensayo 1						
Grupo Experimental	n.º de las Camas	Boquilla	Pase	Superficies de la hoja	M. de los Colectores	M. trazador fluorescente
1	12	TXA800050VK	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
2	13	TX-Royal Condor	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
3	7	TXA8004VK	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
4	11	TXA8004VK	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
5	9	TXA800050VK	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
6	3	TX-Royal Córdor	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
7	5	TXA8004VK	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas
8	14	TXA8004VK	Un pase	Haz	5 colectores	5 hojas
				Envés	5 colectores	5 hojas

Sobre estas unidades muestrales se hizo un sorteo aleatorio, en donde se buscó establecer la mejor calidad de aplicación sobre un cultivo de espinaca, utilizando todas las combinaciones posibles de las cuatro boquillas con las dos técnicas de aplicación, para un total de 8 grupos experimentales, los cuales se resumen en la tabla 12.

Las variables de respuesta para el método de los colectores de papel hidrosensible fueron: El D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , el SPAN, la densidad de gotas (gotas/cm²), el porcentaje de recubrimiento y los parámetros de la función de distribución de Rosin-Rammler: q y $D_{V63, 2}$.

Para el método del trazador fluorescente no se cuenta con un factor de corrección para las manchas sobre las hojas. No obstante, estas variables se estimaron en función del tamaño de mancha, por consiguiente las variables son: El D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, q (parámetro de medida de dispersión de los tamaños de la función de Rosin-Rammler), densidad de manchas (manchas/cm²) y porcentaje de recubrimiento de la hoja.

2.6.3 Procedimientos de campo para la recolección de muestras

Las muestras fueron tomadas del 22 al 26 de abril de 2011, y los procedimientos hechos en campo para la recolección de muestras en cada una de las unidades experimentales se describen a continuación:

- Método de los colectores de papel hidrosensible: Primero se realizó el montaje de los 5 colectores por el haz de las hojas, y los 5 colectores por el envés de las hojas. Para ello, se recorre el surco seleccionando aleatoriamente la hoja y la planta de espinaca, a la cual se le grapa un colector de de 3,5 cm x 2,6 cm. Luego de que se realizó la aplicación del plaguicida, se procede a la recolección de los 10 colectores, ya que son muy susceptibles a la humedad y la contaminación.
Observación: Los colectores no se colocaban si las plantas estaban húmedas, o se tenía presencia de niebla en el lote.
- Método del trazador fluorescente: Luego de que son recolectados los colectores, fueron recolectadas aleatoriamente 5 hojas de espinaca, para ser fotografiadas por el haz, y 5 hojas para ser fotografiadas por el envés. Las muestras deben cubrir el ancho y largo del surco.
Observación: El tiempo que para recolectar los colectores fue, de 15 minutos (Aprox.), y el tiempo que para recolectar las hojas fueron otros 15 (Aprox.). Por lo cual, se tiene que el tiempo de exposición de las hojas es de 30 minutos (Aprox.).

Observaciones generales: Estas observaciones se cumplirán para el ensayo 1 y el ensayo 2, salvo que se indique lo contrario.

- Preparación de la mezcla: Se tomó un recipiente y se le agregó el volumen de agua (destilada) necesaria para el ensayo, luego se agregó la dosis de trazador y plaguicida requerido. Después, se tapó el recipiente y se agita fuertemente por 2 minutos. El recipiente se mantuvo en un lugar oscuro hasta el momento de realizar la aspersión
- Las pulverizaciones se realizaron entre las 8 am, y las 10 am.
- Como todas las boquillas tiene el mismo ángulo de pulverización (ver la tabla 9), y el ancho del surco es 90 cm, entonces la altura de pulverización fue entre 50 y 55 cm.
- Después de cada pulverización se debía realizar una buena limpieza del equipo, y para ello, se le agregó al tanque 200 ml de etanol al 90% y un litro agua limpia. Luego se agitó la

pulverizadora por 30 segundos, y se dejó circular la mezcla a través del sistema, y en seguida se lavó dos veces más con 1500 ml agua destilada.

2.6.4 Diagnóstico y control

Las inspecciones se realizaron durante la etapa de desarrollo de hojas, a partir del día 24, cuando se realizó el raleo del cultivo, y se detectó **Mildeo Velloso**. El cual, se vio favorecido por la baja temperatura y alta humedad, consecuencia de las lluvias presentadas durante los meses de febrero y marzo de 2011. Esta enfermedad es causada por el hongo “*Peronospora farinosa*”, y los síntomas observados fueron manchas cloróticas de diferentes tamaños en el haz de las hojas tal como lo muestra la figura 15.

Figura 15. Hojas de espinaca con síntomas de ataque de Mildeo Velloso.



Para esta enfermedad el umbral de acción es la simple presencia de esta, por lo cual se procedió a realizar control de la enfermedad. No obstante, para este ensayo no se pudo hacer seguimiento de la enfermedad, ya que el lote se inundó y eso perjudicó el monitoreo.

El coordinador agrícola del CAM recomendó usar “RIDOMIL® GOLD MZ 68 WP”, el cual es una fungicida que se ha destacado por controlar el tizón tardío y el mildiú. Este fungicida contiene dos ingredientes activos, el “Mefenoxam”, que es un componente sistémico, y el “Mancozeb”, que es un componente de contacto. En la etiqueta de “RIDOMIL® GOLD MZ 68 WP” el fabricante Syngenta (2009), recomienda que durante el desarrollo del cultivo, se debe aplicar una dosis 250 g/100 L de agua.

2.6.5 Calibración de la pulverizadora de espalda

La calibración de la pulverizadora de espalda de accionamiento manual se hizo de la siguiente manera:

Primero se delimitó el área de la unidad de experimentación, luego se llenó el tanque de agua, se accionó la palanca de operación 8 veces, para cebar el sistema, y se comprobó que no existieran fugas de líquido.

Luego de la comprobación de las condiciones del equipo, se realizó la pulverización: Para ello, se comienza aplicar y simultáneamente se va accionando la palanca de operación para mantener la presión. La presión de trabajo fue variable en un rango de 34,47 kPa (5 PSI), aproximadamente. El

seguimiento continuo de la presión de operación se realizó mediante un manómetro, el cual se ubicó al lado de la válvula de paso que controla el paso de la mezcla.

Después de realizar la pulverización, se midió el volumen de agua que se requiere para llenar la pulverizadora de nuevo, y este volumen corresponderá al volumen gastado.

No obstante, como se ensayaron dos técnicas de aplicación de plaguicidas se calcularon dos velocidades de avance:

1. Un pase: Se cronometró el tiempo que le tomó al operario transitar una vez la longitud del surco realizando la pulverización. Para el cálculo de la velocidad de avance se usa la siguiente fórmula.

$$\text{Velocidad de avance} \left[\frac{km}{h} \right] = \frac{25 [m]}{\text{Tiempo [s]}} \times 3,6 \quad (2.1)$$

2. Dos pases: Se cronometró el tiempo que le tomo al operario transitar dos veces (de ida y regreso) la longitud de surco, realizando la pulverización. Para el cálculo de la velocidad de avance se usa la siguiente forma.

$$\text{Velocidad de avance} \left[\frac{km}{h} \right] = \frac{50 [m]}{\text{Tiempo[s]}} \times 3,6 \quad (2.2)$$

Estas operaciones se realizaron por triplicado, se calcularon los promedios y se determinó el volumen gastado y la velocidad de avance, para cada caso.

Finalmente, la cantidad de mezcla requerida por hectárea se calculó con la fórmula 2.3, la cual es esencial para determinar la dosis de plaguicida que requiere incorporar en la mezcla.

$$\text{Cantidad de mezcla} \left[\frac{L}{ha} \right] = \frac{\text{volumen gastado[L]} \times 10.000 \left[\frac{m^2}{Ha} \right]}{\text{area de muestreo [m}^2]} \quad (2.3)$$

2.6.6 Montajes fotográficos

Como se manejaron dos clases de métodos para evaluar la calidad de aplicación de plaguicidas, se realizaron dos montajes fotográficos con las siguientes pautas:

Montaje fotográfico para el trazador fluorescente: Para desarrollar este montaje fotográfico se emplearon apartados de las metodologías de Firveda et al. (2002) y Olivet(2009).

Las fotos fueron tomadas en un cuarto oscuro con una cámara digital Samsung PL150, fija sobre un trípode y ubicada perpendicularmente sobre las hojas a 13 cm, con la siguiente configuración: enfoque automático, sensibilidad ISO 800, con 12 mega píxeles, sin flash, sin zoom y formato JPG.

Para el montaje de iluminación se usó un fondo de color mate (papel cartón), pues se busca resaltar el color de los depósitos secos en la hoja, y como el plano a fotografiar es muy cerrado, se usaron dos fuentes de luz, una principal y otra de apoyo con el fin de eliminar sombras y aumentar el contraste de la imagen. Las fuentes de luz eran dos lámparas de brazo flexible con bombillos de luz negra fluorescente de 25W, posicionadas a 15 cm de altura sobre las hojas, y separadas 20 cm entre sí (no se pudo disponer de información exacta sobre la longitud de onda emitida).

Para manipular las muestras siempre se usaron guantes, y junto a las hojas siempre se ubicó una regla, la cual sirve como referencia para determinar la escala de medida de los objetos en la imagen.

Montaje fotográfico para los colectores: Con la misma cámara y las mismas especificaciones del montaje anterior se tomaron las fotos de los colectores. El montaje de iluminación tenía el mismo arreglo, pero la luz era proporcionada por dos bombillos de luz blanca de 25W. También se usó la regla, los guantes y el fondo mate para aumentar el contraste de los colores del colector.

2.6.7 Procedimiento de análisis de imagen

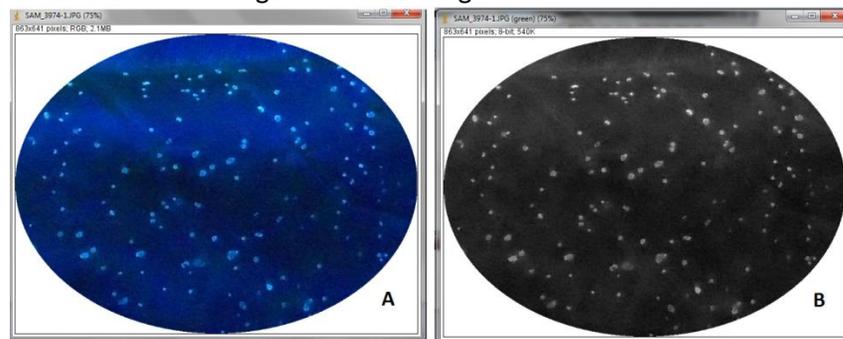
La metodología que se utilizó para el análisis de imagen con el programa ImageJ 1.45s, es la siguiente:

- **Calibración:** Para obtener dimensiones en unidades estándar fue preciso hacer un ajuste en la escala de medida del programa. Para tal fin, se usó la regla que se incluyó en las fotos como referencia visual, y sobre esta se dibujó una línea recta de 1 cm longitud. Luego se le pedía al programa que midiera el número de píxeles en la línea, y con esta medida se calibra el programa usando el comando "Set Scale". Con este paso se determinó que la resolución de las imágenes era de 24 píxeles por cada milímetro, o sea 609,4 dpi.
- **Edición de las imágenes de las hojas:** Inicialmente se inspeccionó la fotografía en búsqueda de posibles manchas o imperfecciones que deben ser excluidas.

Luego se seleccionó una porción área de la hoja, y para ello se usó el comando "Oval", el cual dibuja un ovalo, y con el comando "Measure" se mide el área de delimitada por el ovalo. No obstante, se debía excluir las superficies de hoja que estuvieran onduladas o dobladas, pues solo sirven las secciones planas y de buen contraste.

La porción de área seleccionada se extrae y se pone en una nueva ventana, y con el comando "Split channel" la imagen es segmentada en tres imágenes de 8 bits en la escala de grises, donde cada una contiene los componentes rojo, verde y azul de la imagen original.

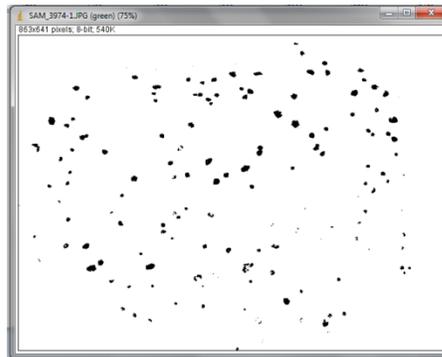
Figura 16. Segmentación de la imagen de una hoja. A: Es la imagen original, B: es el componente verde de la imagen en escala de grises.



Este paso fue utilizado por Olivet (2009), para obtener una imagen con el mayor contraste posible de los depósitos secos, en donde la imagen que tiene los componentes verdes es la de mejor contraste, tal como se ve en la figura 16.

Después, se tomó la imagen segmentada con los componentes verdes, y con el comando "Thersholding", se umbralizó la imagen. El proceso de umbralización transforma la imagen a una imagen en blanco y negro, la cual se llama imagen binaria. El proceso consiste en establecer un valor umbral T en la escala de grises de la imagen, con el cual se convierten en blanco todos los pixeles con valores de grises mayores a T, y en negro todos los pixeles con valores de grises menores que T. Sin embargo, para analizar las hojas se invirtió la relación, para que los depósitos secos fueran los valores en negro y el plano de fondo fuera blanco, como lo muestra la figura 17. De los 16 métodos con los que dispone el programa "ImageJ", se optó por usar el método "IsoData", pues este fue el que mejor caracterizó las manchas en las imágenes.

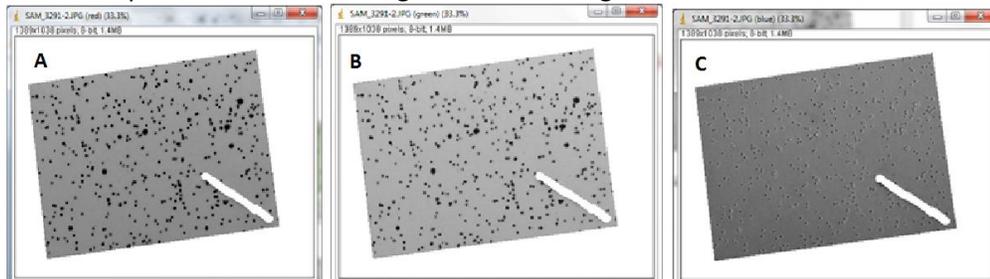
Figura 17. Imagen de la hoja transformada a binaria.



- **Edición de las imágenes de los colectores:** Inicialmente se inspeccionó la fotografía en búsqueda de posibles manchas o imperfecciones que deben ser excluidas, como el gancho con el cual se grapa el colector a la hoja. Luego se seleccionó el contorno cuadrado del colector con el comando "Poligon selection", y con el comando "Measure" se mide el área delimitada por el contorno.

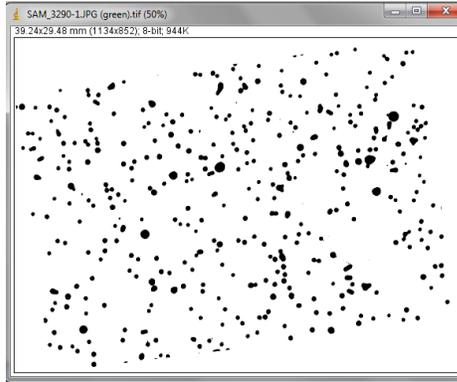
Una vez se ha medido la porción de área seleccionada, esta se extrae y se segmenta, de la misma forma como se hizo con las hojas. Ya que, esta segmentación resulto ser igual de beneficiosa para los colectores.

Figura 18. Segmentación de la imagen para un colector. A: es el componente rojo de la imagen en escala de grises, B: es el componente verde de la imagen en escala de grises, y C: es el componente azul de la imagen en escala de grises.



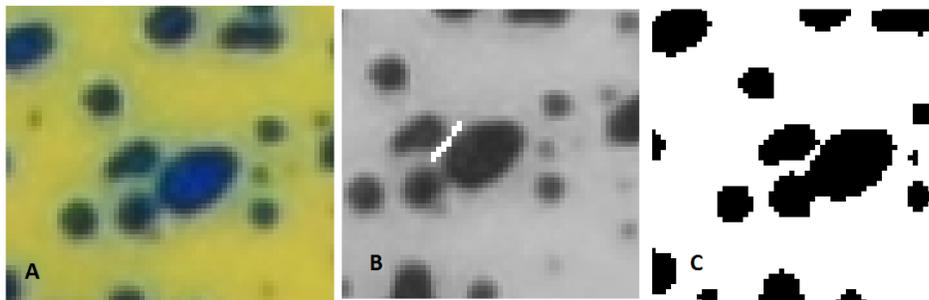
Luego, se tomó la imagen segmentada con los componentes verdes, y con el comando “Thersholding”, se transformó en una imagen binaria, usando el método “IsoData”.

Figura 19. Imagen del colector transformada a imagen binaria.



No obstante, cuando los colectores estaban muy saturados, era necesario hacer una intervención manual, ya que estos poseían numerosas manchas contiguas, y el programa no lograba distinguir bien los contornos de las manchas, y tendía a presentar 2 manchas como una. Por tanto, se debía revisar en detalle este tipo de situaciones, lo cual fue un proceso dispendioso.

Figura 20. Esquema de intervención de un colector. A: Imagen original, B: ejemplo de Intervención de una Imagen segmentada, C: Imagen binaria intervenida.



- **Análisis:** Como se mencionó antes (ver numeral 1.6.2), el diámetro de Feret es considerado como el máximo compás de calibre, para estimar el diámetro de las manchas de geométrica ambigua, tal como las que se presentan en los colectores y hojas, por lo cual se eligió este parámetro para estimar el diámetro de las manchas.

El programa tiene la capacidad de medir el área, el diámetro de Feret máximo y el diámetro de Feret mínimo de cada una de las manchas, así como de contar el número de manchas que se encuentran en una imagen binaria, y para su cálculo se configuró de la siguiente manera: Primero con el comando “Set Measurement”, se definieron los parámetros que se deseaba calcular con el programa, tal como los diámetros de Feret y el área. Luego se emplea el comando “Analyse Particle”, para que el programa realice sus correspondientes

cálculos, los cuales son presentados en una hoja de cálculo. La cual, fue guardada para posteriormente determinar los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación.

2.6.8 Determinación de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación

En vista de que se manejaron dos métodos de evaluación, se obtuvieron dos grupos de datos, con los cuales se calcularon los parámetros de evaluación de la siguiente manera:

Método de los colectores de papel hidrosensible: Aprovechando que los datos estaban en Excel, se usó este programa para realizar los cálculos. Para ello, se tomó el diámetro de Feret mínimo y el diámetro de Feret máximo y se promediaron para obtener un diámetro de mancha. Luego los diámetros se organizaban de menor a mayor.

Después, se usó la ecuación del programa “DropletScan”, la cual fue presentada por Hoffmann y Hewitt (2005), para determina el tamaño de la gota que género la mancha sobre el colector de papel hidrosensible.

$$D_{Gotareal} = \frac{Diametrodelamancha}{1,6333 + (0,0009 \times Diametrodelamancha)} \quad (2.4)$$

Donde

$D_{Gota\ real}$: Corresponde al diámetro de gota que real que género la mancha en el colector, se expresa en μm .

Diámetro de la mancha: Corresponde al promedio de los diámetros de Feret, y se expresa en μm .

Una vez se han corregido todos los diámetros se estima el volumen de la gota, para ello se emplea la fórmula de la esfera ($V=1/6 \cdot \pi \cdot D_{Gota\ real}^3$), y luego se calcula el volumen acumulado.

Como resultado de estos pasos se genera una tabla de respuestas, con los parámetros: Número de gotas, tamaños de gota, y volumen acumulado. Ahora bien, Con estos parámetros se estimaron:

- $D_{V0.1}$ = Es el diámetro de gota tal que, el 10% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño.
- $D_{V0.5}$ = Es el diámetro de gota tal que, el 50% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño.
- $D_{V0.9}$ = Es el diámetro de gota tal que el, 90% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño.
- SPAN: Corresponde a la amplitud relativa, y se calcula de la fórmula 1:
- La densidad de gotas: Se calculó como el número de diámetros de gota real por área de estudio, y se presenta como el número de gotas por centímetro cuadrado (gotas/cm²).

Porcentaje de recubrimiento fue calculado como el área total que ocupan todas las manchas en el colector, por área de estudio del colector.

Los parámetros de la ecuación de Rosin-Rammler (formula 2) se calcularon de la siguiente manera:

- Se realizó la gráfica de $\ln(-\ln(1 - \text{Volumen acumulado de } D_{\text{Gota real}}))$ vs $\ln(D_{\text{Gota real}})$, esta grafica es un línea recta, a la cual se le realizó una regresión lineal, en donde el valor de la pendiente de la ecuación lineal, corresponderá la valor de q , de la ecuación de Rosin-Rammler.
- $D_{V0.632}$ = Es el diámetro de gota tal que el, 63,2% del volumen total de gotas son de diámetro más pequeño, y corresponde al valor de X de la ecuación de Rosin-Rammler.

Método del trazador fluorescente: Para este método no se cuenta con un factor de corrección que permita calcular el diámetro de gota original que forma las manchas sobre las hojas. A pesar de esto, se calcularon los diámetros de feret máximo y mínimo de las machas de los depósitos secos, y se promediaron para estimar un diámetro de mancha. Luego, se generó una tabla de respuesta de igual forma que en los colectores, con los parámetros: Numero de manchas, tamaño de mancha y volumen acumulado.

Con los datos de la tabla de respuesta se estimaron los parámetros D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , el SPAN tal como se explicó anteriormente.

La densidad de manchas (manchas/cm²): Se calculó como el número de manchas por área de estudio, y se presenta como el número de manchas por centímetro cuadrado (gotas/cm²).

La q de Rosin-Rammler corresponde a pendiente de la gráfica de $\ln(-\ln(1 - \text{Volumen acumulado de diámetro mancha}))$ vs $\ln(\text{diámetro mancha})$.

El porcentaje de recubrimiento fue calculado como la porción de área de la hoja cubierta por los depósitos secos de trazador por el área de la hoja en estudio.

2.7 ENSAYO 2

2.7.1 Establecimiento del cultivo

Este ensayo se realizó durante el segundo semestre del año 2011, de Julio a septiembre. Para el cultivo se contó con la misma área de 790 m², en el mismo lote (lote 5), lugar en el cual se estableció una parcela semi-comercial de espinaca (Hibrida 424 Grendell) de 14 surcos de 37 m de largo, por 0,9 m de ancho, y separados 30 cm entre sí (el arreglo fue similar al del ensayo 1).

Figura 21. Actividades realizadas en el establecimiento del cultivo. De izquierda a derecha: allanado, surcado, abonado y siembra.



La preparación del terreno consistió en; 5 pases de rastra californiana de 16 discos y un pase de arado rotativo (“rotovator”). Luego, a mano se conformaron las camas. Ahora, considerando los requerimiento de nitrógeno (70 – 225 Kg/ha), fósforo (20 – 90 Kg/ha) y potasio (90 - 200 Kg/ha), para el área de siembra (466,2 m²), las cantidades de nutrientes que fueron aplicados son: 3,3 a 10,5 kg de nitrógeno, 0,9 a 4,2 kg de fósforo, 4,2 a 9,3 kg de potasio y 0,5 a 1,6 kg de calcio. Por lo tanto, sin tener en cuenta el análisis químico del suelo, el plan de fertilización desarrollado fue:

Tabla 13. Fuentes de fertilizantes y cantidades totales a aplicar en el ciclo de cultivo

Fertilizante	Cantidad aplicada(kg)	Aporte		
		N (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)
Fosfato Di amónico (DAP)	10	1,8	4,6	
Cloruro de potasio	10			6
Urea	10	4,6		
	Total	6,4	4,6	6

La siembra se hizo el 22 de julio, de la misma forma que en el ensayo 1 (siembra directa sobre tres hileras), y a los 24 días se realizó un raleo para mantener una distancia entre plantas (aproximadamente 15 cm). Así que, la densidad de siembra fue 22 plantas/m². Ahora, con el fin de garantizar el brote de la semilla y el desarrollo de la plántula se aplicó al voleo 1,6 kg de Furadan 3G y 2 kg de matababosa para controlar los nematodos y los barrenadores. Los fertilizantes DAP y Cloruro de potasio se administraron en el momento de sembrar la semilla, y la urea se aplicó a los 45 días de la siembra.

Los requerimientos hídricos del cultivo durante los meses de julio y agosto fueron suplidos con riego, el cual se aplicaba dos veces por semana, por una hora. Hacia octubre se presentó la segunda época invernal del año, la cual fue igual de fuerte que la primera, si se miran los datos de precipitación de la Tabla 8. Así que no se solicitó más riego.

2.7.2 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con un arreglo factorial de: 4 boquillas x 2 técnicas de aplicación x 2 superficies de la hoja (Haz y Envés) con 6 repeticiones. Además, se evaluaron los depósitos del trazador fluorescente sobre las dos caras de la hoja, con 3 repeticiones.

Las 4 boquillas (TeeJet TXA8004VK, TeeJet TX800050VK, TeeJet XR8004VS y la TX-Royal Cóndor), con las 2 técnicas de aplicación (uno y dos pases) y las 2 superficies de la hoja (Haz y Enves), son los mismos del ensayo 1.

En cuanto a los métodos de evaluación de la calidad de aplicación de los plaguicidas, se usaron los mismos del ensayo 1, o sea: el M. de los colectores de papel hidrosensible y M. del trazador fluorescente. Salvo por el hecho, de que en este ensayo se está considerando el método cualitativo y cuantitativo del método del trazador fluorescente.

Se usaron 8 camas como unidades experimentales y su arreglo se hizo de la siguiente manera: De las 14 camas sembradas, se seleccionaron 8 camas, las cuales tenían una densidad de siembra de 22 plantas/cm². Ahora, como en los últimos 12 metros de la mayoría de camas se presentaron

Sobre estas unidades experimentales se realizó un sorteo aleatorio, con fin de establecer la mejor calidad de aplicación sobre el cultivo de espinaca, utilizando todas las combinaciones posibles de las cuatro boquillas, con las dos técnicas de aplicación, para un total de 8 grupos experimentales.

Las variables de repuesta para el método de los colectores de papel hidrosensible fueron: El D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , el SPAN, la densidad de gotas (gotas/cm²), el porcentaje de recubrimiento y los parámetros de la función de distribución de Rosin-Rammler: q y $D_{V63, 2}$.

Para el método del trazador fluorescente las variables de respuestas fueron: El D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , el SPAN, q (parámetro de medida de dispersión de los tamaños de la función de Rosin-Rammler), la densidad de manchas (manchas/cm²) y porcentaje de área cubierta los tamaños de manchas de los depósitos secos. Además, los depósitos de trazador los cuales se calcularon por el método de espectrofotometría de absorción.

2.7.3 Procedimientos de campo para la recolección de muestras

Las muestras fueron tomadas del 29 de agosto al 2 de septiembre del 2011, y los procedimientos hechos en campo para la recolección de muestras en cada una de las unidades experimentales fueron:

- Método de los colectores de papel hidrosensible: Primero se hace el montaje de 6 colectores por el haz de las hojas y 6 colectores por el envés de las hojas. Para ello, se recorre el surco de sur a norte seleccionando aleatoriamente la hoja y planta de espinaca a la cual se le grapa un colector de 2,5 cm x 2 cm. Enseguida de que se realiza la aplicación del plaguicida se procede a la recolección de los 12 colectores.
- Método del trazador fluorescente: Luego de recolectar los colectores, fueron recolectadas aleatoriamente 6 hojas para ser fotografiadas por el haz, y 6 hojas para ser fotografiadas por el envés (Tiempo de exposición a la luz del sol de las hojas fue 30 minutos, Aprox.).

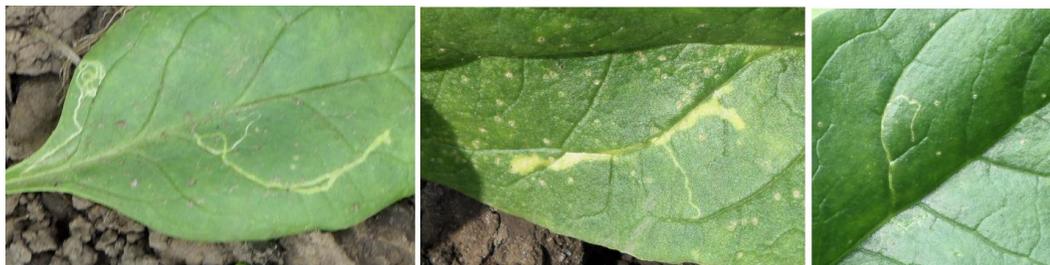
Las observaciones y recomendaciones del numeral 2.6.3, se aplicaron de igual forma en este ensayo.

2.7.4 Diagnostico y control

Las inspecciones se realizaron durante la fase de desarrollo de las hojas, y a partir del día 31 de agosto se detectó el ataque de **Minador (Liriomyza huidobrensis Blanchard)**. En donde el principal signo de daño de esta plaga son puntos blanquecinos (picaduras) que genera la hembra al colocar sus huevos en la hoja y las minas o galerías que genera la larva cuando se va alimentando.

El monitoreo consistió en tomar un área de 90x90 cm, en la cual se tiene 18 plantas de espinaca. Luego de cada planta se contó el número de hojas (en total), y el número de hojas atacadas, para estimar el porcentaje de infestación.

Figura 23: Hojas de espinaca con síntomas de ataque de Minador.



Para esta plaga el umbral de acción corresponde al 50% de las hojas con huevos o minas. Por lo cual se, procedió hacer un monitoreo en algunas de las unidades experimentales.

El porcentaje de infestación de la plaga en el cultivo fue del 35%, lo cual está por debajo del umbral de acción. Sin embargo, se consideró necesario realizar el control, para no comprometer el rendimiento del cultivo.

El coordinador agrícola del CAM recomendó usar “ENGEO® 247 SC” el cual es un insecticida sistémico y de contacto de amplio espectro. Este insecticida es una mezcla de dos ingredientes activos, un neonicotinoide (Tiametoxam) y un piretroide (Lambda-cihalotrina). En la ficha técnica del “ENGEO® 247 SC” el fabricante Syngenta (2012), recomienda usar una dosis 100 a 200 cc/ha para el control de larvas y adultos de insectos masticadores, picadores-chupadores y chupadores en hortalizas. Ahora, como el control fue preventivo se usó la dosis de 100 cc/ha.

2.7.5 Calibración de la pulverizadora de espalda

La calibración de la pulverizadora de espalda manual se hizo de la misma forma como aparece descrito en el numeral 2.6.5 del ensayo 1. Excepto por el hecho, de que los procedimientos se repitieron 5 veces para un pase, y 3 veces para el doble pase.

2.7.6 Determinación de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación

Los montajes fotográficos, el procedimiento de análisis de imagen y la determinación de los parámetros de evaluación de la calidad aplicación fueron realizados de la misma forma como aparecen descrito en los numerales 2.6.6, 2.6.7 y 2.6.8 del ensayo 1.

2.7.7 Metodología de recolección de muestras para determinar los depósitos

Para el desarrollo de esta metodología se emplearon apartados de la metodología de Pergher (2001), para tomar los depósitos sobre las hojas.

Para extraer el trazador que se deposita por el haz de las hojas, se seleccionaron 3 de las 6 hojas que fueron fotografiadas por el haz, y a cada hoja seleccionada se le realizan 4 cortes circulares de 1 cm de diámetro. El patrón de los cortes consistió en usar zonas de la hoja en donde no se observen elementos extraños, como tierra. También se evitó la nervadura central de la hoja, ya

que en esta zona se suele acumular el exceso de mezcla pulverizada. Luego, cada corte fue tomado con delicadeza con una pinza y posicionado encima de un frasco plástico de 250 ml, el cual está forrado con papel aluminio y contiene 10 ml de solución de lavado, y con una pipeta Pasteur de 5 ml se deja caer un chorro tenue de solución de lavado sobre la cara que se está considerando, en este caso el haz. El lavado se hace por lo menos por un minuto, con fin de extraer el trazador depositado en la cara del corte. Después se toma otro corte y se repite la operación, donde la solución de lavado o extracción es la misma para los 4 cortes. Una vez son lavados los 4 cortes, el frasco se tapa y se agita manualmente por 30 segundos. Luego se almacena en una nevera de icopor a 6°C, para ser transportados al laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Figura 24. Foto de una hoja con el patrón de cortes para obtener la solución de estudio de laboratorio.



Ahora, para extraer los depósitos por el envés, se usó la misma metodología, en donde se seleccionaron 3 de las 6 hojas que fueron fotografiadas por el envés.

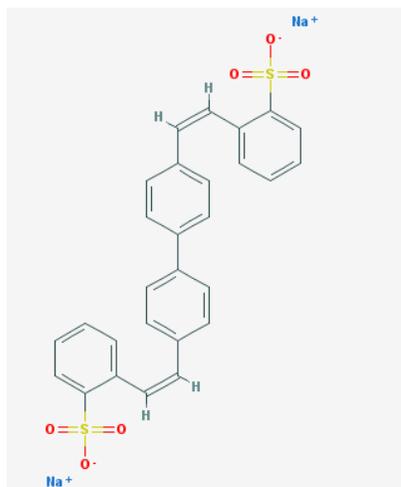
2.8 ANÁLISIS DE LABORATORIO

En este capítulo se presentará en detalle cada una de las metodologías implementadas para caracterizar el Tinopal CBS-X, y evaluar los depósitos de las muestras recolectadas en campo. Para ello, las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá.

2.8.1 Características químicas del tinopal CBS-X

Según el fabricante (CIBA SPECIALTY CHEMICALS), el Tinopal CBS-X es un abrillantador óptico que se utiliza como agente blanqueador en telas y detergentes, y su estructura se basa en el aromático bifenilo distyryl, el cual cuenta con varios enlaces dobles, tal como se ve en la siguiente figura.

Figura 25. Estructura del Tinopal CBS-X.



Fuente: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=6434006#x281>.

Según la información consignada PubChem (2006), la fórmula molecular del tinopal es $C_{28}H_{20}Na_2O_6S_2$, y su peso molecular 562.564339 [g/mol]. Entretanto, son varios los trabajos, en donde se reporta una longitud de onda a la cual se presenta la máxima absorción del tinopal CBS-X: Barber (2001), Zhu et al. (2005) y Cai y Stark (1997), reportan que el valor es 348 nm, MacIntyre-Allen et al. (2007), reportan que es 349 nm y Zhu, et al. (2005), reportan 350 nm.

2.8.2 Método de cuantificación.

Para cuantificar el trazador se usará el método de espectrofotometría de absorción, y el equipo más rápido, de fácil uso, de buena sensibilidad y selectividad para medir la absorción es el espectrofotómetro, por lo cual, se utilizará uno de estos.

El equipo que se utilizó para medir la absorbancia fue un espectrofotómetro de referencia "SmartSpect™ Plus" de la marca Bio-Rad. El cual tiene las siguientes características: La luz es generada por una lámpara flash de xenón, y el dispositivo utilizado para la dispersión es una rejilla, el cual tiene la ventaja de no ser sensible a la temperatura y de excluir la dispersión no lineal. Además, el detector es una matriz de varios fotodiodos que están dispuestos en un cristal de silicio, lo cual le permite obtener los datos espectrales al instante, ya que no cuenta con piezas mecánicas móviles y opera en un amplio rango dinámico.

A continuación se describen algunos comandos del equipo, los cuales fueron usados para este estudio:

- Read Blank: Este comando permite poner en ceros el equipo (cero instrumental) para cada vez que realice un nuevo ensayo. Para ello, inserte una cubeta que contenga todos los componentes del ensayo, excepto el analito, y pulse Read Blank.
- Read Sample: Este comando permite recolectar los datos de absorbancia de la cubeta que se encuentre en el equipo.

- Scan: Este comando recolecta e imprime la absorbancia de una muestra en el rango que defina el usuario, el cual se puede ir desde 200 nm a 800 nm. Además, el equipo identifica y cuantifica el punto de máxima y mínima absorbancia en el rango escaneado. Todos los datos se pueden imprimir o descargar a través del puerto serial.
- Kinetics: Este comando recolecta datos por intervalos periódicos sobre cierto periodo de tiempo para una sola muestra. Tanto el intervalo como la longitud de datos a recolectar son especificados por el usuario, y estos datos se pueden imprimir o descargar a través del puerto serial.
- λ : Este comando recolecta los datos de absorbancia a tres diferentes longitudes de onda, definidas por el usuario.

Observación: Las cubetas que se usaron fueron de cuarzo, ya que se trabaja en el rango U.V.

2.8.3 Soluciones de laboratorio

▪ Solución patrón

De datos técnicos que se presenta en el Anexo 6, se da a conocer que a una temperatura de 25 °C, 25 g de Tinopal CBS-X son solubles en 1 litro de agua, pero se optó por trabajar con 10 g por litro, ya que se quiere lograr el máximo nivel de contraste del trazador sobre las hojas de espinaca, sin ocasionar posibles encapsulamientos o grumos en la solución, los cuales pueden causar taponamientos en el equipo. Así que, la solución patrón tendrá una concentración de 10000 ppm, o 0,017775M.

A continuación se describe el método para preparar 10 ml de solución patrón:

Se calcula la dosis de plaguicida para 10 ml de solución (la dosis que se usó será presentada en el numeral 2.8.5), y se agregan a un matraz de erlenmeyer. Luego se agregan 0,1 g de Tinopal CBS-X y 10 mL de agua destilada. Después se tapa el matraz de erlenmeyer y se agita fuertemente por dos minutos.

Para evitar cualquier problema con la luz, se protegió el recipiente usado con papel aluminio. Además, la solución se deja reposar por 3 minutos en el cuarto oscuro, para que se estabilice.

Observación: La manipulación de los plaguicidas se debe hacer en una campana de extracción.

▪ Solución de lavado

Con el fin de evitar las desviaciones por la influencia del equilibrio ácido-base, se preparó una solución con un pH constante. A continuación se describe el método para preparar 100 ml de solución de lavado con el pH ajustado a 8,54.

1. Se toma un beaker de 200 ml y se le agrega 100 ml de agua destilada, luego se agrega una barra magnética y se ubica el beaker sobre el agitador magnético, el cual se graduó a 600 rpm.
2. Pese 0,286 g de sal de carbonato de sodio y agréguelos al beaker. Después de 2 minutos mida con el pH-metro el valor del pH. Este debe ser ± 10.45 .
3. Añadir 11,5 ml de ácido clorhídrico (HCL a 0.1N) a la solución del beaker.

4. Mida con el pH-metro el valor del pH, el cual debe ser 8,54. En caso de tener un valor mayor, incorpore otros 0,5 ml de ácido clorhídrico glacial al 0,1 N, y revise.

2.8.4 Metodología para obtener el espectro de absorción

Según Rojas y Nigrinis (1992), cuando se va a implementar un método espectro fotométrico para cuantificar un compuesto, la primera información instrumental que se debe conocer es el espectro de absorción, el cual permite identificar el punto donde se produce la máxima absorción de energía en función de la longitud de onda de excitación para el Tinopal CBS-X.

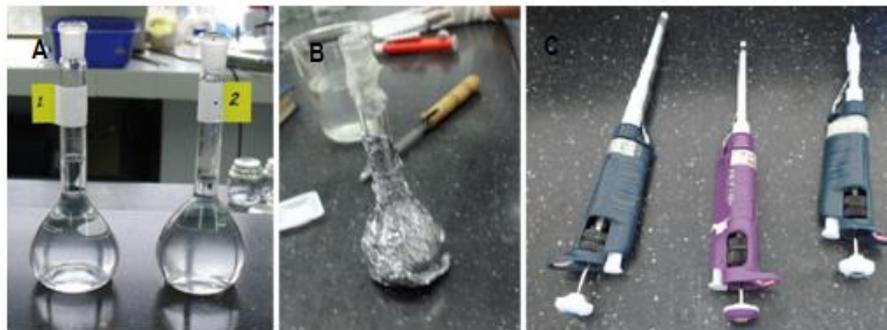
El espectro de absorción es una gráfica de la absorbancia versus la longitud de onda, la cual se obtuvo de la siguiente manera:

1. Se tomó un balón aforado de 100 ml y con un micro pipeta se agregó 30 μ l de solución patrón sin plaguicida, luego se agregó 100 ml de solución de lavado. Esta fue la solución de estudio, la cual es una solución diluida con una concentración de 3 ppm de Tinopal CBS-X, que se calcula de la siguiente forma:

$$C_{\text{estudio}} = 10000 \text{ ppm} \times \frac{30 \times 10^{-3} \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 3 \text{ ppm de Tinopal CBS-X} \quad (2.5)$$

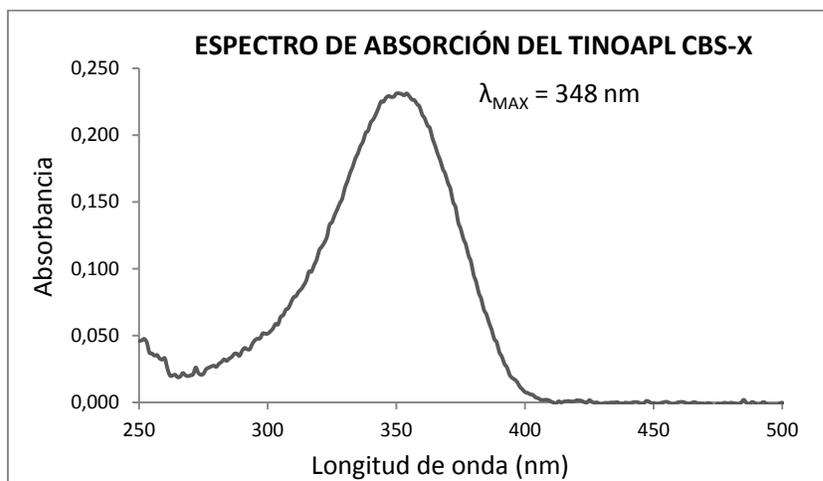
2. Se tomó una cubeta de 100 μ l y se le agregó 100 μ l de solución de lavado. Esta muestra fue la muestra blanco, la cual se ubicó en el equipo. Después, se pulsó la tecla "Read blank" y el aparato quedara en cero.
3. Luego se tomó otra cubeta de cuarzo de 100 μ l, se le agregó 100 μ l de solución de estudio, y se ubicó en el espectrofotómetro. Después, se pulsó el botón "Scan" para realizar un barrido desde 250 nm a 500 nm, con un ancho de banda de 1 nm. La información obtenida es descargada a través del puerto serial RS-232 a un computador y traducido por el software TRENDnet.
4. Una vez se obtenía la lectura de absorbancia, la cubeta era lavada para realizar el siguiente montaje, y para ello se hizo lo siguiente: Se jugó una vez con ácido clorhídrico (HCL a 0.1N), y luego con abundante agua destilada. Después, se sacudió con cuidado la cubeta y se dejó boca abajo unos segundos para retirar completamente los residuos de agua.

Figura 26. Equipo de laboratorio. A: Balón aforado de 100 ml. B: Recipiente protegido con papel aluminio. C: Micro pipetas.



Se realizaron 3 montajes, se calcularon los promedios y se elaboró la gráfica de absorbancia vs la longitud de onda, en donde la desviación estándar fue de 0,006, la cual corresponde a la desviación estándar del aparato.

Figura 27. Espectro de absorción del tinopal CBS-X sin plaguicida. Concentración del trazador; 3 ppm, y pH de la solución; 8,45.



De los datos del espectro de absorción se determinó que el Tinopal CBS-X tiene la máxima absorción de energía a una longitud de onda de 348 nm. Este valor concuerda con el valor estimado por Barber (2001), Zhu et al. (2005) y Cai y Stark (1997).

Observaciones generales: Las siguientes pautas se seguirán en todas las metodologías descritas, salvo que se indique lo contrario.

- El procedimiento de numeral 2, será el proceso estándar para el montaje de la muestra blanco.
- El procedimiento del numeral 4, será el proceso estándar para lavar la cubeta luego de un montaje.
- Los montajes de las soluciones a analizar se realizan en el cuarto oscuro para evitar la fotodegradación del producto por las luces del laboratorio.
- Se cambia la punta del micropipeta cada vez que se evalué una solución nueva, ya que puede contaminar las muestras si se usa la misma punta.

2.8.5 Limitaciones de la ley de Beer

Como se mencionó antes, para establecer un método espectrofotométrico se requiere controlar o eliminar ciertos factores limitantes, los cuales, en el caso de los métodos de absorción son conocidos como limitaciones a la ley de Beer, y fueron tratadas de la siguiente manera.

Las limitaciones por concentración se evitan, si las concentraciones de trabajo son inferiores a 0,01M, y dado que la solución patrón tiene una concentración de 0,017775M, siempre se estará cumpliendo la condición, y aún más cuando las soluciones en estudio son soluciones diluidas de la solución patrón. Ahora, en vista de los posibles inconvenientes por la interacción con la solución

disolvente, se eligió una solución de lavado que no tuviera absorción apreciable en la región de longitud de onda de trabajo, además con un pH que mantuviera el equilibrio Acido-base. De igual manera, la desviación por temperatura no se tuvo en cuenta por no ser un factor de consideración en la mayoría de los sistemas absorbentes sencillos, además el espectrofotómetro no se ve afectado por este parámetro.

Ahora, para saber si la dosis de plaguicida interfiere con la absorbancia del trazador, se analizaron los espectros de absorción referidos a la mezcla (agua+plaguicida+trazador) usada en cada grupo experimental del ensayo 2, y para ello se hizo lo siguiente:

1. Se calculó de la dosis de plaguicida para la solución patrón: Previamente se estableció que la dosis de plaguicida a usar es 100 cc de ENGEO® 247por hectárea, y con base en los resultados de la calibración de la pulverizadora de espalda manual (ver Tabla 27), se calculó la dosis de plaguicida requerida para preparar una solución patrón de 10 mL. Los resultados de estos cálculos se resumen en la tabla 15.

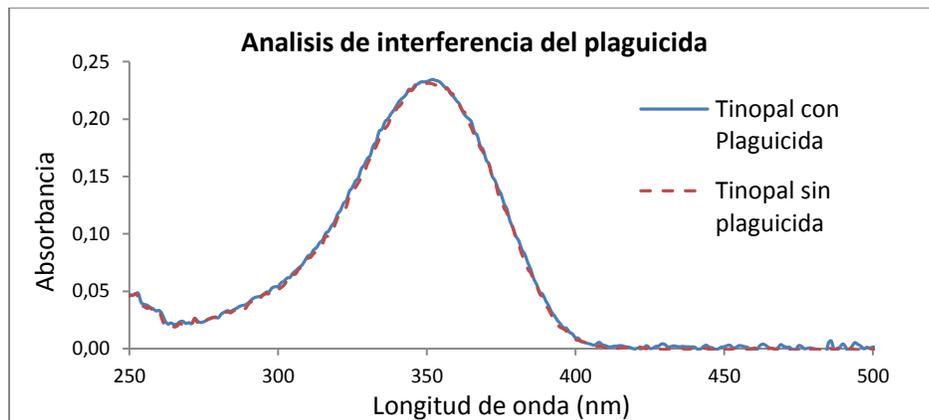
Tabla 15. Cantidad de ENGEO® 247requerida para preparar la solución patrón de cada grupo experimental.

BOQUILLA	TXA800050VK		TX-Royal Condor		TXA8004VK		TX8004VS	
Técnica de aplicación	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES
Dosis de ENGEO® 247 (µl)	10	5	8	4	2	1	2	1

2. Se elaboró la solución de estudio: Se tomó un balón aforado de 100 ml y se le agregó 30 µl de solución patrón, luego se agregó 100 ml solución de lavado. De este modo, la solución de estudio tuvo una concentración 3 ppm de Tinopal CBS-X.
3. Se determinó el espectro de absorción de la solución de estudio: Esto se hizo tal como se indicó en el numeral 2.8.4. Se realizaron dos montajes para cada solución de estudio.

No obstante, como el interés está en estudiar los posibles cambios con respecto a la solución de tinopal sin plaguicida, se tomaron los datos del espectro de absorción del Tinopal CBS-X sin plaguicida del numeral 2.8.4, y se compararon los datos del espectro de absorción de las seis soluciones de estudio.

Figura28. Representación del espectro de absorción del tinopal con plaguicida y el espectro de absorción del tinopal sin plaguicida.



En la figura 28, se observa que las diferencias entre el espectros de absorción del Tinopal con plaguicida, para una solución patrón con 0,1 g de Tinopal CBS-X y 10 µl de ENGEO® 247, y el espectro de absorción del Tinopal sin plaguicida, no son significativas. De hecho, los valores de absorbancia a 348 nm solo discrepan en 0,004.

Ahora, para las demás dosis, los espectros de absorción presentaron igual comportamiento, y la comparación de los valores de absorbancia a 348 nm, con los valores de absorbancia del tinopal sin plaguicida, no presentaron discrepancias mayores a la desviación estándar del equipo (0,006). Por lo cual, se considera que las diferentes dosis de ENGEO® 247 usadas, no causan interferencia en la absorbancia del trazador. Además, se observa que no hubo interacciones entre el trazador y el plaguicida, ya que no se presentaron desplazamientos espectrales, o ensanchamiento de banda, u otros fenómenos que puedan provocar desviaciones en la ley de Beer.

En vista de que la dosis de plaguicida no interfiere en la absorbancia del trazador, se manejó un solución patrón con 0,1 g de Tinopal CBS-X y 10 µl de “ENGEO® 247”, para todos los ensayos de aquí en adelante.

2.8.6 Comprobación de la ley de Beer: curva de calibración

Una vez se determinó la longitud de onda de máxima absorción, se procedió a comprobar experimentalmente si el compuesto cumple con la ley de Beer. Para ello, se prepara un grupo soluciones, a unas concentraciones específicas, para crear un intervalo en el cual deben estar las concentraciones de la muestra de campo. Los datos de absorbancia se grafican versus las concentraciones, y si la ley de Beer se cumple en todo el intervalo de concentraciones estudiado, se obtiene una línea recta.

Para este ensayo se prepararon 10 soluciones de estudio, partiendo con 10 µL de solución patrón, diluidos en 100 ml de solución de dilución (1 ppm), hasta llegar a 100 µL de solución patrón, diluidos en 100 ml de solución de lavado (10 ppm), aumentando en 10 µL la solución patrón para cada ensayo.

La metodología que se llevó a cabo para medir las absorbancia de cada una de las soluciones de estudio fue la siguiente.

1. Realice el montaje de la muestra blanco.
2. Luego se tomó otra cubeta de 100 µl, se le agregó 100 µl de solución de estudio, y se ubicó en el equipo.
3. Se ingresó el dato de longitud de onda de máxima absorción (λ_{MAX} : 348 nm) al equipo, para ello, se pulsó el botón “ λ ” del espectrofotómetro. Después, se pulsó el botón “Read sample” para medir la absorbancia de la muestra.
4. Se lavó la cubeta y se realizó el siguiente montaje.

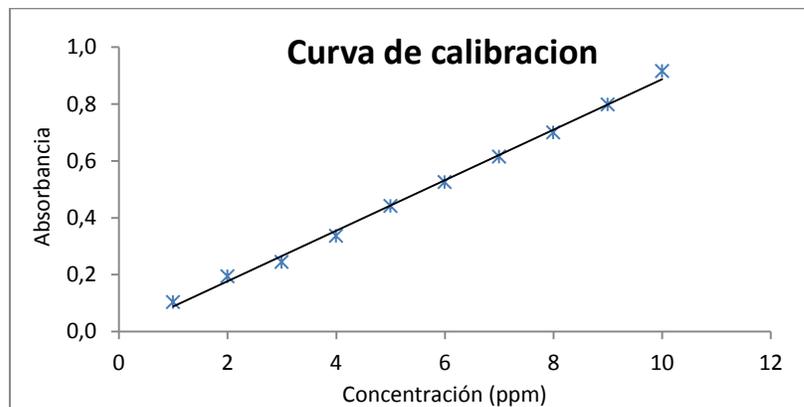
Se realizaron 3 montajes para cada una de las concentraciones en estudio y se calcularon los promedios.

Tabla 16. Datos de absorbancia, obtenidos a 348 nm, con celdas de cuarzo de 1,00 cm de paso óptico, estudiadas en un espectrofotómetro de referencia "SmartSpect™ Plus" de marca Bio-Rag.

CONCENTRACION (ppm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Replica 1	0,101	0,193	0,250	0,341	0,441	0,528	0,619	0,697	0,799	0,912
Replica 2	0,102	0,197	0,242	0,329	0,442	0,526	0,616	0,698	0,805	0,922
Replica 3	0,109	0,193	0,240	0,339	0,443	0,521	0,611	0,705	0,793	0,914
PROMEDIO	0,104	0,194	0,244	0,336	0,442	0,525	0,615	0,700	0,799	0,916
D. ESTÁNDAR	0,004	0,002	0,005	0,006	0,001	0,003	0,004	0,005	0,006	0,005

Para comprobar si el Tinopal CBS-X cumple con la ley de Beer, se elabora la curva de calibración con los valores promedio de absorbancia versus concentración de la tabla 16. También, en esta tabla se aprecia que la desviación estándar para la mayoría de valores de absorbancia están por debajo de la desviación estándar del equipo (0,006).

Figura 29. Curva de calibración.



Mediante una regresión lineal se obtiene la siguiente información:

- El intercepto u ordenada al origen: 0.
- La pendiente: 0,0888.
- El coeficiente de determinación (R^2): 0,9965.
- La ecuación de línea recta: $y = 0,0888 \cdot X$.

Los datos muestran una buena linealidad, por lo cual, la recta es válida para cuantificar la concentración de una soluciones problema.

2.8.7 Fotodegradación

La tasa de fotodegradación se calcula como diferencia entre la absorbancia de las muestras mantenidas en la oscuridad y las muestras expuestas a los rayos de sol, y se expresa en porcentaje. Para su determinación se desarrolló la siguiente metodología de Pergher (2001):

1. Se prepararon 10 ml de solución patrón. Luego tomó 12 portaobjetos y con una micropipeta se coloraron 6 gotas de 5 μ l de solución patrón sobre cada uno (volumen total 30 μ l).
2. Se tomaron 3 portaobjetos con solución y se dejan almacenados en el cuarto oscuro. Estas serán las muestras control.
3. Se tomaron 9 portaobjetos con solución y se introducen en una nevera de icopor con tapa, para contrarrestar la luz solar, y se llevan al punto de muestreo. Luego, son expuestos a la luz solar por lapsos de 30, 60 y 90 minutos, y una vez se ha cumplido un lapso de tiempo, se toman 3 portaobjetos y se introducen en la nevera de icopor para su posterior cuantificación. Luego, en el cuarto oscuro, se colocó cada portaobjetos un beaker de 200 ml, se agregó 100 ml de solución de lavado, se agitó manualmente por dos minutos para que se disuelva completamente el trazador en la solución. La solución que se obtiene será la solución de estudio.
4. Se mide la absorbancia de cada una de las soluciones de estudio, para ello use metodología del numeral 2.8.6.

Se realizaron los montajes por triplicado, se calcularon los promedios y se determinó el factor de fotodegradación.

Tabla 17. Datos de foto degradación del tinopal CBS-X, para 30 μ l de solución patrón a tres periodos de exposición solar.

Tiempo de exposición	Control	30 min	60 min	90 min
Replica 1	0,248	0,207	0,203	
Replica 2	0,245	0,183	0,178	0,177
Replica 3	0,241	0,212	0,184	0,171
PROMEDIO	0,245	0,201	0,189	0,174
D. ESTÁNDAR	0,004	0,015	0,013	0,005
Fotodegradación (%)		18,03	22,95	28,97

Las muestras que fueron expuestas a 30 minutos de radiación solar tuvieron una fotodegradación del 18%, valor que será tomado como factor de corrección para los datos de absorbancia de las muestras de campo. Para las muestras que fueron expuestas por 60 y 90 minutos, el Tinopal CBS-X se fotodegradó un 22,95% y 28,97%, respectivamente.

La desviación estándar de los datos la muestra control y la muestra de 90 minutos corresponden a la desviación instrumental, y la desviación estándar de los datos de las muestras de 30 y 60 minutos de exposición, pueden ser debida a factores la intensidad de luz, ya que las réplicas fueron tomadas en días diferentes.

Observación: Se usaron los portaobjetos porque se quería obtener una tasa del 100% de recuperación de la solución de estudio. Además, los portaobjetos fueron previamente lavados con agua destilada para eliminar cualquier sustancia interferente.

2.8.8 Estabilidad del trazador

Un aspecto de importancia, es la estabilidad que debe tener el trazador en almacenamiento previo a la fotodegradación, y dado que, las muestras de campo son soluciones líquidas

mantenidas en la oscuridad, se procedió a estudiar la estabilidad del tinopal CBS-X bajo estas condiciones.

Para este ensayo las muestras en estudio fueron expuestas a 30 minutos de radiación solar, y luego fueron estudiadas para determinar la estabilidad del tinopal CBS-X en solución después de ser fotodegradado y almacenado en condiciones de oscuridad.

El método de muestreo consistió en: Tomar 3 bandejas plásticas, a las cuales se les adiciona 50 μ l de solución patrón con un micropipeta. Luego son expuestas por 30 minutos a la luz solar. Una vez se cumplió el tiempo, en el cuarto oscuro, se colocó cada bandeja en un beaker de 200 ml, y se agregó con 100 ml de solución de lavado, luego se agito manualmente por dos minutos. De esta forma se consiguieron las soluciones de estudio. Seguidamente se realizan mediciones de la absorbancia de las soluciones de estudio por lapsos de tiempo de 0, 60, 120, 180 y 310 minutos. La lectura de 0 minutos es la muestra control, y para medir la absorbancia de la solución de estudio se usó la metodología del numeral 2.8.6.

Tabla 18. Datos de absorbancia del Tinopal CBS-X para un periodo de almacenamiento de 370 minutos.

Tiempo (min)	Control	60	120	180	370
Repetición 1	0,437	0,451	0,423	0,427	0,424
Repetición 2	0,432	0,446	0,427	0,441	0,444
Repetición 3	0,430	0,426	0,427	0,430	0,423
PROMEDIO	0,433	0,441	0,426	0,433	0,430
D. ESTÁNDAR	0,004	0,013	0,002	0,007	0,012

De los datos de la Tabla 18, se observa que los valores promedio de absorbancia de las muestras difieren muy poco con respecto a la muestra control, ya que para las mediciones a 60 y 120 minutos, las discrepancias fueron del 2%, para 370 minutos la discrepancia fue del 1%, y a 180 minutos no se presentó discrepancia. Por lo cual se considera que dentro de los 310 minutos, o 5 horas siguientes a la toma de muestras, el tinopal CBS-X en solución y resguardado en la oscuridad, no tendrá un factor considerable de error en las mediciones de absorbancia.

2.8.9 Cuantificación de los depósitos

Una vez en el laboratorio, se toman 3 mL de solución de campo y se dejan decantar por 45 minutos en un tubo de ensayo. Después se cuantifica la absorbancia de la solución de campo, para ello: Primero se realiza el montaje de la solución blanco, luego se tomó una cubeta de 100 μ l, se le agregó 100 μ l de soluciones de campo y se ubicó en el equipo para hacer la lectura. El valor que se muestra en la pantalla del equipo corresponderá a la absorbancia de la muestra. Este se copió, se lavó la cubeta y se realiza el siguiente montaje. Los montajes para cada una de las soluciones de campo se realizaron por triplicado.

Luego se promedian los tres datos de absorbancia de cada muestra de campo, y se les divide por un factor de corrección de la fotodegradación, el cual se calcula como, 1 menos el valor de la fotodegradación (18%). Después, se usa el dato corregido y la ecuación de regresión de la curva de calibración para calcular la concentración del trazador en las soluciones de campo.

Ahora, como los valores de concentración de la curva de calibración, están referidos a una solución patrón, con una concentración de trazador estándar (10000 ppm), se debe corroborar la concentración de trazador de las mezclas de pulverización usadas, ya que es común que se presenten errores en el pesaje del trazador usado. Por lo tanto, de cada una de las mezclas de pulverizado que fueron aplicadas en los ensayos de campo, se tomaron 20 ml. Luego en el laboratorio, se toman 30 μ l de esta solución, se diluyen en 100 ml de solución de lavado, y se calcula la absorbancia. Con este valor de absorbancia, se estimó la concentración de trazador usando. Así que, el factor de corrección por concentración (F_{con}) será:

$$F_{con} = \left[\frac{\text{Concentración de la mezcla pulverizada}}{3} \right] \quad (2.6)$$

Una vez se ha obtenido el factor de corrección por concentración de cada una de las mezclas de pulverización usadas, se dividen los valores de concentración de las soluciones de campo, por el factor correspondiente, y luego se calculan los depósitos de la siguiente manera:

$$D_{muestra} = \frac{C_{sol.campo} \times V_{lavado}}{A_{colector}} \quad (2.7)$$

Donde:

$D_{muestra}$: Es el depósito de la muestra (μ l/cm²).

$C_{sol.campo}$: Concentración de la solución de campo (ppm).

V_{lavado} : 10 ml.

$A_{colector}$: 4 cm².

2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos que ha sido descrito anteriormente, fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial, para establecer el efecto de los factores sobre las variables respuesta del método de los colectores de papel hidrosensible y del método del trazador fluorescente. No obstante, antes de realizar cada uno de los ANOVAS multifactoriales se evaluó el cumplimiento de las hipótesis del modelo, mediante las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, y la prueba de homocedasticidad de Levene.

Entre tanto, se empleó el coeficiente de rho de Spearman para determinar las correlaciones entre las variables en estudio. También, se realizaron unas regresiones lineales simples para relacionar las variables de recubrimiento. Estos análisis se realizaron con el programa estadístico SPSS v.17 (SPSS Inc., Chicago, IL).

Ahora, para estudiar las diferencias entre los niveles de los factores se empleó el método de mínima diferencia significativa, o "LSD", por sus siglas en inglés. El cual, es una comparación a posteriori, "que realiza el contraste de igualdad de medias basado en toda la información, con datos de todos los grupos y no solo del grupo que se compara en el contraste. Dentro de un factor dos niveles tendrán diferencias significativas si sus intervalos LSD no se solapan" (Castillo, 2005, p.75). Los análisis se realizaron con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados de los dos ensayos de campo realizados durante el 2011, en el CAM.

3.1 ENSAYO 1

3.1.1 Calibración de la pulverizadora de espalda

En la tabla 19 se presentan los resultados de la calibración de la pulverizadora de espalda de accionamiento manual.

Tabla 19. Resumen de los volúmenes aplicados para el ensayo 1. Los valores de volumen y velocidad, corresponden a los promedios de los ensayos realizados en campo.

ENSAYO 1								
Boquilla	TXA800050VK		TX-Royal Condor		TXA8004VK		XR8004VS	
Técnica de aplicación	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES
Presión (Bar)	3,8 - 4,1	3,8 - 4,1	3,8 - 4,1	3,8 - 4,1	2,0 - 2,4	2,0 - 2,4	2,0 - 2,4	2,0 - 2,4
Tasa de aplicación (L/ha)	105,9	187,0	131,0	272,7	523,0	951,1	530,4	963,0
Velocidad (km/h)	1,709	1,818	1,709	1,782	1,690	1,800	1,710	1,806
Caudal aplicado (L/min)	0,272	0,255	0,336	0,365	1,324	1,284	1,359	1,304

Los mayores caudales aplicados para un pase y dos pases, se produjeron con la boquilla de abanico plano (XR8004VS) y la boquilla de cono hueco (TXA8004VK), en un rango de presión de 2,0 a 2,4 Bar. Lo cual corresponde con lo planificado, ya que estas boquillas son de alta descarga, y para 2 bares estas boquillas proporcionan un caudal de 1,29 L/min, según catálogo.

En contraste, la boquilla de cono hueco (TXA800050VK), de baja descarga, produjo caudales por encima de lo esperado, ya que, con base en la información de la tabla 9, a 4,1 bares la boquilla proporcionaría un caudal de 0,225 L/min. Esta discordancia pudo ser causada por los restos de líquido que quedan en la bomba y el sistema de tuberías del equipo, o por fugas, pues esta boquilla opero a una mayor presión que las boquillas XR8004VS y TXA8004VK. Además, pudo influir el hecho de que la boquilla tenía muchas horas de trabajo acumuladas.

Por otra parte, la lectura del manómetro en campo no es muy precisa, pues no tiene la exactitud de las presiones de laboratorio, por lo que se maneja un error importante en la medición de la presión.

Entre tanto, el caudal aplicado para un pase con las boquillas TXA800050VK, TXA8004VK y XR8004VS, fue mayor en un 6,5%, 3,1% y 4,2%, respectivamente, que el caudal aplicado con el doble pase, lo cual debió ser, por los restos de líquido que quedan en la bomba y el sistema de tuberías del equipo. En contraste, la boquilla TX-Royal Condor obtuvo un incremento del 7,8% en el caudal aplicado para el doble pase, lo cual pudo ser causado por un error en la estimación del volumen gastado.

En términos generales, la velocidad promedio con la que se realizan los ensayos para dos pases, fueron un 5,4% mayor, que la velocidad promedio con la que se realizan los ensayos para un pase. Esta discrepancia puede ser atribuida a que el operario aumenta su velocidad un poco en el segundo pase.

En cuanto a la técnica de aplicación de dos pases, la boquilla TXA800050VK, produjo un incremento en la tasa de aplicación del 43%, y la boquilla TX-Royal Condor, produjo un incremento del 52%, el cual es más alto, y las boquillas XR8004VS y TXA8004VK, produjeron un incremento del 45%, en ambos casos.

3.1.2 Estudio descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores de papel hidrosensible

Tal como se mencionó antes, se usaron colectores de papel hidrosensible para evaluar la calidad de la aplicación de cada uno de los grupos experimentales. Sin embargo, el uso de los colectores resultó ser inconveniente para las boquillas TXA8004VK y XR8004VS. Ya que, cuando se aplicó un pase, todos los colectores que se ubicaron por el haz de las hojas, quedaron con porcentajes de recubrimiento excesivos, o sea superiores al 60%. Lo cual impidió evaluar correctamente el diámetro y el número de impactos sobre los colectores, pues tenían muchas manchas sobrepuestas. Ahora, cuando se aplicaban los dos pases, el problema se hacía más severo.

Esta clase de problema es ampliamente reportado por autores como Fox et al., (2001), Fox et al., (2003), Garavito y Riveros (2003), Olivet (2009), Cunha et al., (2011). Por tanto, para poder hacer estimaciones fiables de los tamaños y el número de impactos sobre los colectores, se decidió por trabajar con los colectores que tuvieran porcentajes de recubrimiento menores al 60%. No obstante, el porcentaje de recubrimiento, al ser una estimación del área cubierta por las manchas en los colectores, no se ve influenciado sustancialmente por las manchas sobrepuestas. Por lo cual, a este parámetro no se le impondrá ninguna limitación.

Ahora, dado que no se midió la densidad, la tensión superficial o la viscosidad de la mezcla (agua + trazador + plaguicida) usada en los ensayos, se espera que la influencia del trazador y el plaguicida, a las concentraciones usadas, no afecten sustancialmente sobre el factor de expansión adoptado para determinar el tamaño de gota que genere la mancha sobre el colector.

En la tabla 20, se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos del método de los colectores de papel hidrosensible.

Tabla 20. Promedio de los datos experimentales para cada una de las variables respuesta del método de los colectores de papel hidrosensible del ensayo 1. Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación en porcentaje.

	Técnica	Superficie	Dv ₅₀ (µm)	Dv ₅₀ (µm)	Dv ₅₀ (µm)	SPAN	q	Recubrimiento (%)	n.º Gotas / cm ²
Boquilla 1 Teeljet® TXA800050VK	1 pase	Haz	193,33 (5,2)	363,92 (8,3)	544,30 (11,9)	0,96 (8,7)	3,77 (5,5)	18,60 (24,1)	165,39 (26,5)
		Envés	108,36 (32,9)	201,19 (65,8)	276,68 (63,7)	0,93 (43,4)	3,59 (6,5)	0,57 (151,4)	11,07 (142,2)
	2 pases	Haz	202,67 (20,9)	399,26 (21,3)	621,14 (19,7)	1,06 (17,7)	3,55 (4,6)	27,21 (28,4)	251,42 (16,2)
		Envés	123,83 (47,0)	231,76 (46,8)	376,55 (42,0)	1,09 (26,5)	4,03 (4,3)	3,09 (100,4)	81,85 (117,4)
Boquilla 2 TX-Royal Condor	1 pase	Haz	303,09 (10,8)	589,03 (8,5)	801,66 (10,3)	0,85 (13,5)	3,06 (10,0)	41,20 (19,6)	115,31 (35,8)
		Envés	150,67 (12,9)	289,04 (20,3)	464,72 (16,8)	1,09 (14,0)	3,78 (8,4)	4,22 (90,5)	48,39 (78,6)
	2 pases	Haz	296,47 (18,7)	607,58 (7,7)	853,33 (3,1)	0,92 (10,3)	3,07 (7,0)	55,00 (30,8)	84,21 (16,1)
		Envés	181,83 (23,0)	340,79 (35,6)	507,12 (29,7)	0,96 (11,1)	3,89 (13,6)	14,68 (60,9)	134,86 (45,2)
Boquilla 3 Teeljet® TXA8004VK	1 pase	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo					74,48 (26,7)	
		Envés	166,81 (36,2)	339,73 (52,5)	497,54 (59,6)	0,89 (27,5)	3,71 (10,1)	7,98 (123,3)	58,88 (91,7)
	2 pases	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo					87,29 (5,1)	
		Envés	240,29 (15,5)	558,50 (10,0)	817,20 (4,7)	1,04 (8,9)	3,49 (4,5)	39,46 (28,7)	95,52 (50,1)
Boquilla 4 Teeljet® XR8004VS	1 pase	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo					65,35 (28,4)%	
		Envés	172,46 (44,6)	355,92 (52,2)	610,81 (41,0)	1,34 (55,0)	3,76 (7,4)	10,84 (125,0)	76,96 (50,0)
	2 pases	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo					91,71 (11,4)	
		Envés	189,43 (44,2)	379,92 (48,1)	556,43 (41,5)	0,99 (8,2)	3,72 (7,2)	15,79 (106,7)	93,76 (59,1)

▪ **Clasificación de tamaños de gota**

Dado que para las boquilla TXA8004VK y XR8004VS, todos los colectores que se ubicaron el haz de las hojas presentaron recubrimientos superiores al 60%, lo cual impidió su estudio. Entonces para la clasificación de los tamaños de gota solamente se consideraron los colectores que se ubicaron por el envés de las hojas, tal como lo hicieron, Garavito y Riveros (2003). Así que, con base en los resultados obtenidos por los colectores, se procede a realizar la clasificación de los tamaños de gotas de las boquillas en estudio. Para ello, se empleó el esquema de curvas de clasificación del “British Crop Protection Council (BCPC)”, desarrollado por Nuyttens (2007), el cual se presentó en figura 9.

En las tablas 21 y 22, se presentan los valores promedio de los tamaños representativos D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} , de cada uno de los grupos experimentales.

Tabla 21. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas de baja descarga del ensayo 1. El C.V. indica el coeficiente de variación de los datos.

Tamaño Representativo	Boquilla 1 (TXA800050VK)				Boquilla 2 (TX-Royal Condor)			
	1 Pase	C.V.(%)	2 Pases	C.V.(%)	1 Pase	C.V.(%)	2 Pases	C.V.(%)
D_{V10}	108,4	32,9	123,8	47,0	150,7	12,9	181,8	23,0
D_{V50}	201,2	65,8	231,8	46,8	289,0	20,3	340,8	35,6
D_{V90}	276,7	63,7	376,6	42,0	464,7	16,8	507,1	29,7

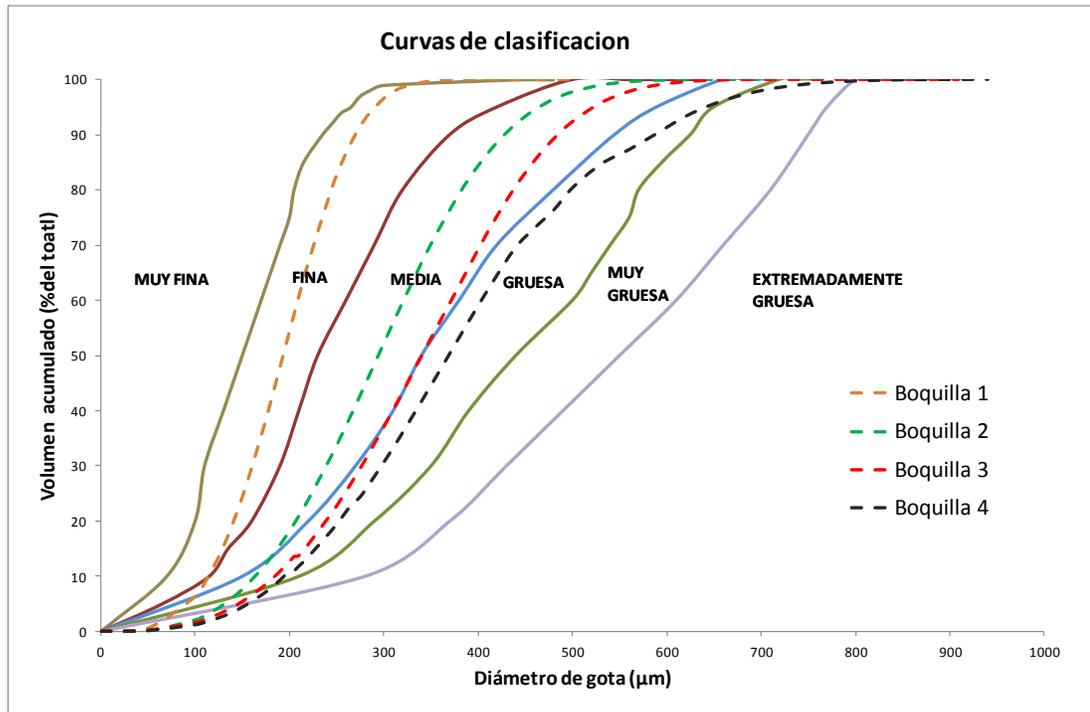
Tabla 22. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas alta descarga del ensayo 1. El C.V. indica el coeficiente de variación de los datos.

Tamaño Representativo	Boquilla 3 (TXA8004VK)				Boquilla 4 (XR8004VS)			
	1 Pase	C.V. (%)	2 Pases	C.V. (%)	1 Pase	C.V. (%)	2 Pases	C.V. (%)
D_{V10}	166,8	36,2	240,3	15,5	172,5	44,6	189,4	44,2
D_{V50}	339,7	52,5	558,5	10	355,9	52,2	379,9	48,1
D_{V90}	497,5	59,6	817,2	4,7	610,8	41,0	556,4	41,5

En las tablas 21 y 22, se observa que cuando se aplican dos pases, los tamaños representativos son más grandes, lo cual puede ser atribuido a la superposición de manchas en los colectores para estos casos. Por tal razón, se considera que los resultados obtenidos del proceso de experimentación para un solo pase, son los indicados para realizar la clasificación de los tamaños de gota.

Por tanto, se elaboró la curva de distribución de tamaños promedio para cada una de las boquillas, y se graficaron sobre el esquema de curvas de clasificación del “BCPC”. Las curvas obtenidas se muestran la figura 30.

Figura 30. Representación de las curvas de clasificación de los tamaños de gota para el ensayo 1.



Entonces, según la figura 30, la boquilla 1 cae en la categoría de gota fina. En cuanto, a la boquilla 2, esta cae en la categoría de gota media, al igual que la boquilla 3, y la boquilla 4 cae en la categoría de gota gruesa.

Entre tanto, cabe recordar de que lo que se está midiendo, son las gotas que están impactando sobre el colector, por lo cual, las observaciones que se hagan, corresponden una parte del global de gotas pulverizadas por la boquilla.

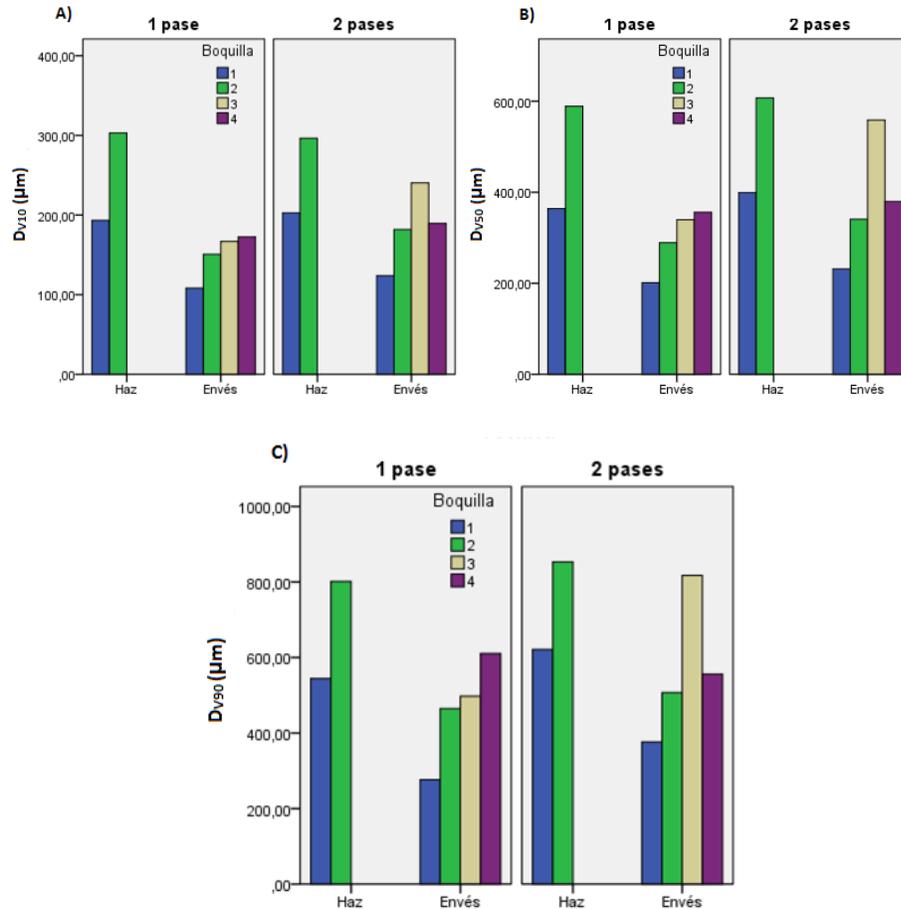
Por otro lado, la razón por la cual el DMV por catálogo, sea más pequeño que el DMV medido por los colectores, es porque el método de medición (anализador de partículas de fase Doppler) es más sensible, y se hace bajo condiciones controladas.

Por último, de aquí en adelante, y en términos prácticos, se manejará la siguiente clasificación de las boquillas para este ensayo:

- Boquilla 1: La TeeJet TX800050VK, de cono hueco, de baja descarga, de gota fina.
- Boquilla 2: La TX-Royal Condor nacional, de cono hueco, de baja descarga, de gota media.
- Boquilla 3: TeeJet TXA8004VK: de cono hueco, de alta descarga, de gota media.
- Boquilla 4: La TeeJet XR8004VS, de abanico plano de amplio espectro, de alta descarga, de gota gruesa.

- **Tamaños representativos de los colectores**

Figura 31. Gráficos de medias para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 1. A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} .



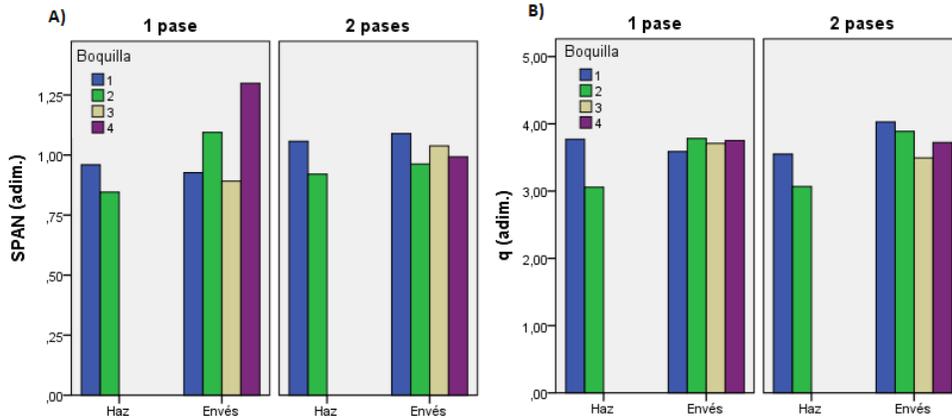
En términos generales, en las figuras 31.A, 31.B, 31.C, se puede apreciar, que por el haz, la boquilla 2 obtiene mayores valores medios que la boquilla 1. Lo cual es lógico, ya que esta es de gota media.

Por otra parte, cuando se aplican los dos pases, se observa que las cuatro boquillas obtienen mayores valores medios de D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} , que cuando se aplica un solo pase. Por ejemplo, si se comparan las medias de un pase y dos pases para D_{V50} , por el envés, se tiene las boquillas 1, 2, 3 y 4, presentan incrementos del 13,2%, 15,2%, 39,2% y 6,3%, respectivamente. Lo cual puede ser debido al traslape de gotas en los colectores.

Entre tanto en las tres figuras, se observa que por el envés, para un pase, la boquilla 4 tiene los mayores valores medios de D_{V50} y D_{V90} . Pero cuando se aplican dos pases, se tiene que los mayores valores medios son los de la boquilla 3. Esto quiere decir, que por el envés para dos pases, llega más cantidad de aplicación con la boquilla 3, gracias a la turbulencia en las gotas que genera el patrón de cono hueco, en comparación con la boquilla 4, de abanico plano.

- **Parámetros de uniformidad de los tamaños de gota**

Figura 32. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler de los colectores del ensayo 1. A) SPAN; B) Coeficiente q de Rosin-Rammler.

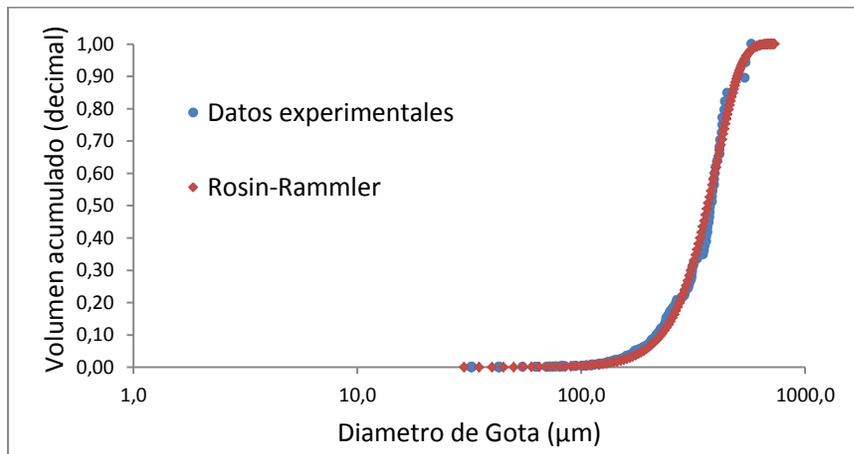


En la figura 32.A, se observa que por el envés, para un pase, los mayores valores medios de SPAN, los obtienen las boquillas 2 y 4, pero cuando se aplican dos pases, la diferencia entre las boquillas 2 y 3 (7,3%) y las boquilla 3 y 4 (4,4%), son más pequeñas. Entre tanto, en la figura 32.B, se observa que los valores medios del coeficiente q de Rosin-Rammler por el envés, tienden a ser similares cuando se aplica un pase. Ahora, si se contrastan las medias entre uno y dos pases, se tiene un incremento del 11,2% y 2,7%, para las boquillas 1 y 2, y una disminución del 5,8% y 1,0%, para las boquillas 3 y 4.

Por otro parte, para visualizar la capacidad de ajuste que tiene la función de Rosin-Rammler, se realizó una gráfica en la cual se comparó la distribución de tamaños de un caso elegido al azar, y la función de distribución de tamaños de Rosin-Rammler para este caso en estudio.

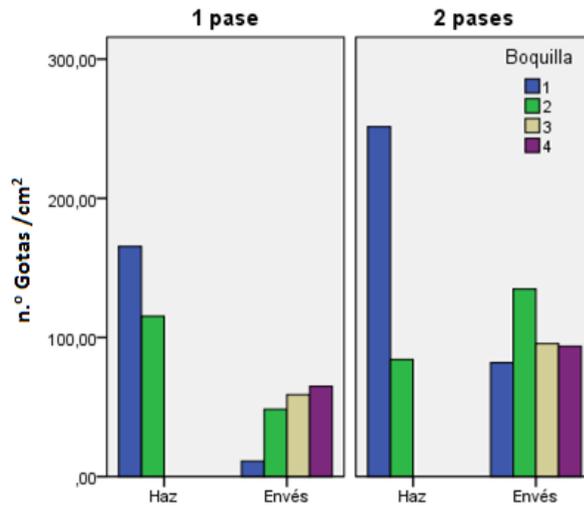
En la figura 33, se observa la buena capacidad de ajuste de la fusión de Rosin-Rammler, lo cual concuerda con lo mencionado por Castillo (2005) y Baetens (2009).

Figura 33. Distribución acumulada de volumen por tamaños de gotas para la función de Rosin-Rammler y los datos experimentales de una de las repeticiones de la boquilla 1, por el envés. Los parámetros de la función de Rosin-Rammler para este caso fueron: $q = 3,9183$, $D_{V63,2} = 403,87 \mu\text{m}$ y un R^2 de 0,993.



- **Densidad de gotas**

Figura 34. Gráfico de medias de la densidad de gotas en los colectores del ensayo 1.



En la figura34, se presenta la cantidad media de gotas por cm² que llegaron a los colectores, en donde se tiene que por el haz, la boquilla 1 tiene una cantidad media de gotas mayor que la boquilla 2 , y esta cantidad media se incrementa un 34,2% cuando se aplican los dos pases.

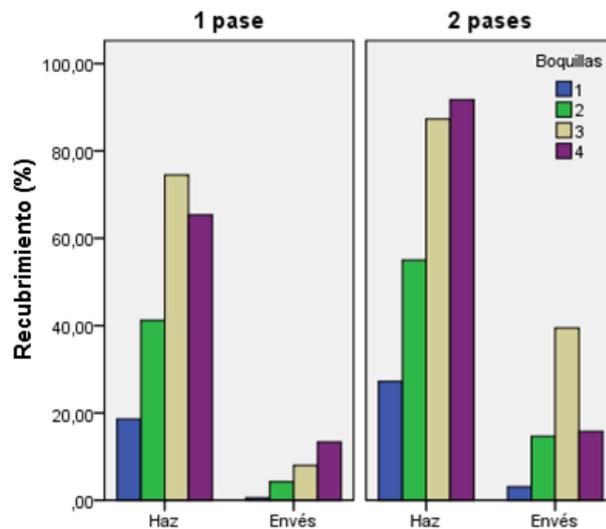
Una situación peculiar la presenta la boquilla 2, para dos pases, ya que, la cantidad media de gotas por cm² en el envés, resultó ser mayor que la cantidad media en el haz. Una posible explicación, es que el operario ladeo la boquilla cuando realizo la aplicación, lo cual debió favorecer la llegada de gotas al envés de las hojas. Lo cual se relaciona con lo presentado por Bost et al. (2005), Foqué y Nuyttens (2011).

Entre tanto, por el envés se observar que cuando se aplican los dos pases se obtiene una cantidad media de gotas mayor. Por ejemplo, se tiene que con los dos pases, para las boquillas 3 y 4 el incremento fue del 38,4% y 17,9%, respectivamente. Para la boquilla 2 el incremento fue del 64,1%, y en la boquilla 1, el incremento fue del 86,5%, destacándose este, como el mayor.

En cuanto, al coeficiente de variación de los datos, se aprecia en la tabla 20, que son altos, pues hay casos mayores al 100%.

- **Porcentaje de recubrimiento de los colectores**

Figura 35. Gráfico de medias del porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 1.



Al observar las medias en la figura 35, se aprecia que los colectores que se ubicaron en el haz de las hojas, obtuvieron mayores valores medios que los colectores que se ubicaron en el envés de las hojas.

Ahora, al comparar las medias de uno y dos pases, para las boquillas 1, 2, 3 y 4 se tiene que los colectores que estuvieron en el haz, presentan incrementos del 31,6%, 25,1%, 14,7% y 28,7% respectivamente, en el porcentaje de recubrimiento medio.

En cuanto a los colectores que estuvieron en el envés, se presentan incrementos del 81,7%, 71,3%, 79,8% y 25,8% para las boquillas 1, 2, 3 y 4. Entre tanto, los coeficientes de variación para esta variable son altos, ya que, por el envés se tienen casos por encima del 100%, tal como se observa en la tabla 20.

3.1.3 Estudio descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente

Antes de iniciar con el estudio descriptivo de las variables del método del trazador fluorescente, conviene señalar, que este estudio se basa en las manchas secas, dejadas por las gotas de mezcla (agua + plaguicida + trazador) que se depositaron sobre las hojas de espinaca, luego de una pulverización.

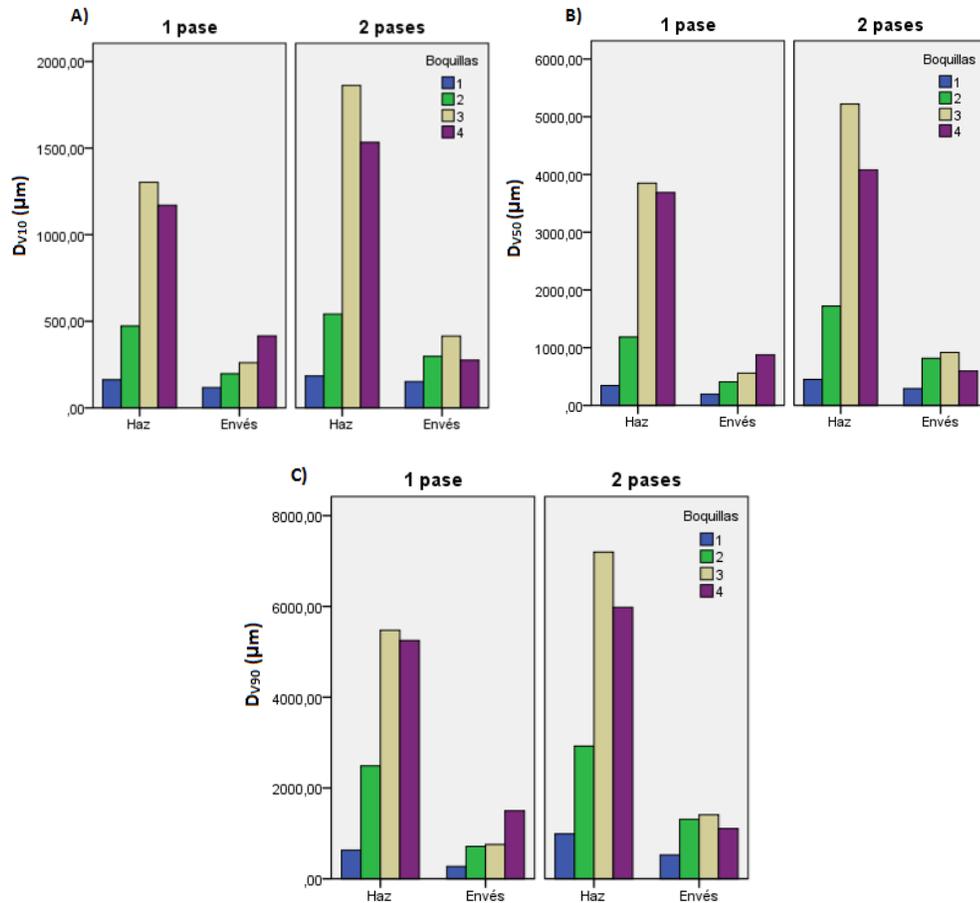
En la tabla 23 se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos del método del trazador fluorescente.

Tabla 23 Promedio de los datos experimentales para cada una de las variables respuesta del método del trazador fluorescente del ensayo 1. Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación en porcentaje.

Boquilla	Técnica	Superficie	D _{v50} (µm)	D _{v50} (µm)	D _{v50} (µm)	SPAN	q	Recubrimiento (%)	n.º Manchas / cm ²
Boquilla 1 TeeJet® TXA800050VK	1 pase	Haz	162,50 (13,4)	343,87 (19,2)	630,96 (18,8)	1,36 (2,7)	3,47 (2,4)	1,22 (28,7)	72,15 (16,0)
		Envés	117,83 (24,4)	192,49 (31,1)	273,11 (25,0)	0,80 (24,5)	3,73 (20,8)	0,02 (32,1)	1,74 (49,8)
	2 pases	Haz	184,67 (20,9)	449,95 (30,0)	988,95 (46,8)	1,70 (27,7)	3,23 (4,8)	1,74 (92,0)	88,69 (88,0)
		Envés	151,80 (48,5)	290,67 (59,9)	525,94 (69,6)	1,24 (23,6)	3,40 (6,2)	0,76 (129,7)	31,03 (90,6)
Boquilla 2 TX-Royal Condor	1 pase	Haz	472,70 (31,8)	1185,70 (35,7)	2488,10 (25,2)	1,75 (13,3)	3,30 (3,5)	13,01 (41,1)	159,56 (23,1)
		Envés	196,77 (52,0)	407,89 (54,3)	715,07 (69,4)	1,14 (38,0)	3,32 (2,3)	1,63 (123,5)	44,02 (106,5)
	2 pases	Haz	541,74 (48,4)	1719,76 (57,1)	2922,34 (53,6)	1,42 (12,9)	3,20 (4,7)	16,15 (56,4)	212,05 (20,5)
		Envés	297,43 (38,6)	816,26 (48,8)	1311,65 (52,2)	1,22 (20,2)	3,33 (7,5)	3,97 (75,5)	107,83 (53,5)
Boquilla 3 TeeJet® TXA8004VK	1 pase	Haz	1302,77 (28,8)	3850,39 (29,1)	5475,82 (27,6)	1,10 (15,6)	2,91 (5,1)	24,50 (29,9)	131,11 (40,0)
		Envés	261,04 (46,6)	558,69 (57,9)	756,13 (51,9)	0,89 (9,8)	3,08 (3,5)	0,35 (115,6)	8,55 (64,0)
	2 pases	Haz	1861,47 (15,5)	5218,89 (20,4)	7195,98 (13,3)	1,04 (17,9)	2,93 (1,9)	32,13 (13,4)	129,81 (40,2)
		Envés	414,50 (33,6)	917,10 (40,4)	1409,06 (35,7)	1,11 (19,4)	3,08 (7,1)	4,20 (116,2)	66,07 (78,5)
Boquilla 4 TeeJet® XR8004VS	1 pase	Haz	1169,80 (19,4)	3686,37 (19,0)	5248,07 (17,7)	1,11 (12,5)	2,91 (2,9)	21,93 (23,0)	180,33 (29,7)
		Envés	415,36 (24,7)	877,72 (28,8)	1499,31 (39,2)	1,20 (20,0)	3,11 (4,5)	3,25 (75,2)	56,54 (69,1)
	2 pases	Haz	1533,12 (14,6)	4080,15 (21,0)	5980,78 (14,9)	1,10 (18,2)	2,84 (4,2)	31,16 (15,9)	160,44 (35,6)
		Envés	275,25 (59,2)	595,92 (66,8)	1106,21 (81,4)	1,27 (21,3)	3,25 (4,5)	4,25 (117,1)	99,46 (91,9)

- **Tamaños representativos de las manchas**

Figura 36. Gráficos de medias para los tamaños representativos de las manchas sobre hojas del ensayo 1: A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} .



En general, en la figura 36, se puede apreciar que los valores de las medias de D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} del envés, son menores que los valores por el haz. Por ejemplo, para un pase, la diferencia entre medias del haz y el envés de D_{V50} , es del 44,0% y 65,6% para las boquillas 1 y 2, y del 85,5% y 76,2% para las boquillas 3 y 4.

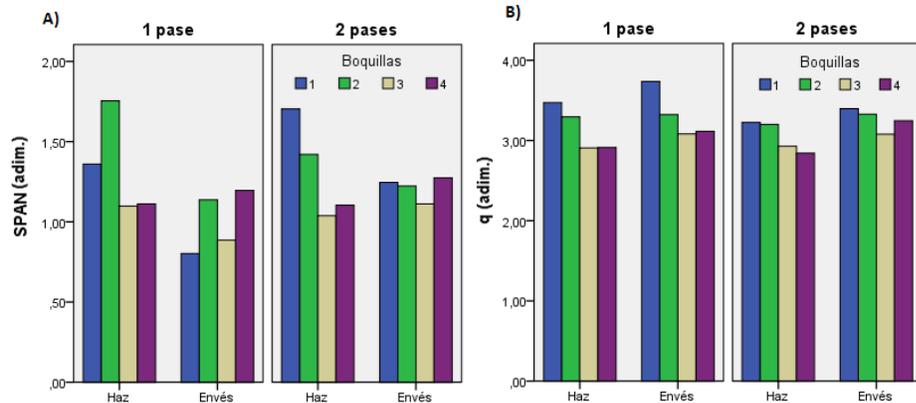
Por otra parte, por el haz, la boquilla 3 tiene el valor medio más grande, destacándose cuando se hacen dos pases. Lo cual es posible, ya que, como lo menciona Grisso et al. (2013), las boquillas de cono hueco generan un buen recubrimiento de las superficies de la hoja, y dados los caudales usados por esta boquilla, es muy probable que se presente superposición de las manchas, y esto ocasiona manchas más grandes. Entre tanto, en la figura 36.A, se observa que al aplicar los dos pases, por el haz, se obtienen mayores valores medios de D_{V10} . Por ejemplo, para las boquillas 1, 2, 3 y 4 se obtuvieron incrementos del 12,0%, 12,7%, 30,0% y 23,7%, respectivamente. De igual forma, por el envés de las hojas, las boquillas 1, 2 y 3 presentaron incrementos del 22,4%, 40,7% y del 30,9%. No obstante, la boquilla 4 presentó una disminución 33,7% del valor medio de D_{V10} , de uno a dos pases. Este comportamiento pudo ser causado por influencia del operario y la eficiencia de la pulverizadora de espalda manual, ya que, el operario es el encargado de mantener la presión de operación, la cual por las características propias del equipo, es variable.

Por lo cual, se afecta la calidad de la aplicación y por ende el tamaño de las gotas que generan las manchas sobre las hojas.

Finalmente, se tiene que los coeficientes de variación para este grupo de datos son altos, ya que, como se observa en la tabla 3, sus valores están entre el 13,4% y el 81,4%, destacándose, que los valores más altos se presentan por el envés.

▪ **Parámetros de uniformidad de los tamaños de mancha**

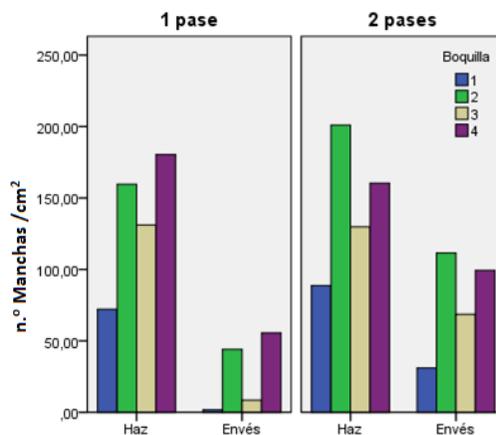
Figura 37. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Ronsin-Rammler de las manchas sobre hojas del ensayo 1: A) SPAN; B) q de Ronsin-Rammler.



En cuanto a los parámetros de distribución de tamaños, se observa en la figura 37.A, que por el haz, los mayores valores medios de SPAN, los obtiene las boquillas 1 y 2, que son de baja descarga. Entre tanto, por el envés, se observa que para dos pases las medias son semejantes, pues la diferencia de medias entre la boquilla 1 y 2, es del 1,8%, y la diferencia entre las boquilla 2 y 3, es del 9,2%, y la diferencia entre las boquilla 2 y 4, es del 4,0%. Ahora, en la figura 37.B, se observa que de nuevo, las boquillas 1 y 2, obtienen los mayores valores medios de q, y que los valores medios de q para las boquillas 3 y 4, tienden a ser similares por un pase.

▪ **Densidad de manchas**

Figura 38. Gráficos de medias para la densidad de manchas sobre hojas del ensayo 1.



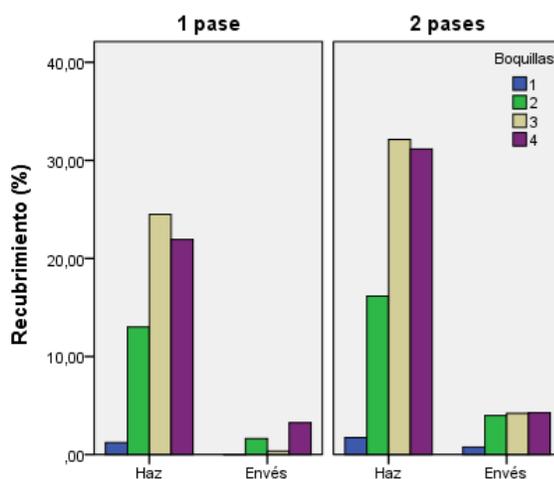
En la figura 38, se observa que los valores medios de densidad de manchas ($n.^{\circ}$ manchas/cm²) por el haz, son mayores que los valores medios por el envés. Para ilustrar esto, se tiene que para un pase, la diferencia entre las medias del haz y el envés para las boquillas 1, 2, 3 y 4, fueron del 97,6%, 72,4%, 93,5% y 68,6%, respectivamente.

Por otra parte, es interesante observar que por el envés de las hojas, cuando se aplican los dos pases, se presenta un incremento del 94,4%, 59,2%, 87,1% y 43,2%, en los valores de las medias para las boquillas 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

En cuanto a los coeficientes de variación, se observa en la tabla 23, que son altos, pues se tienen valores del 16% al 106%. En donde la mayor variación, normalmente se presenta por el envés.

▪ **Porcentaje de recubrimiento de las hojas**

Figura 39. Gráficos de medias para los porcentajes de recubrimiento en las hojas del ensayo 1.



Como se puede observar en la figura 39, las medias del porcentaje de recubrimiento por el haz de las hojas, son mayores que las medias por el envés. Ahora, para ilustrar esto, se tiene que la diferencia entre las medias del haz y el envés, para un pase, son del 98,4%, 87,4%, 98,6% y 85,2% para las boquillas 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

En cuanto a la aplicación de los dos pases, esto origino un incremento en las medias. Por ejemplo, por el haz de las hojas, el incremento fue de 29,9%, 5,9%, 23,7% y 29,6, para las boquillas 1, 2, 3 y 4, y para el envés el incremento fue del 97,4%, 58,8%, 91,7% y 23,5%, respectivamente. Entre tanto, si comparamos estos resultados con los del porcentaje de recubrimiento de los colectores, se puede decir, que se presentan las mismas tendencias, o sea, mayor recubriendo por el haz, e incrementos de las medias cuando se aplican los dos pases.

En cuanto a los coeficientes de variación, se observa en la tabla 23, que son altos, pues se tiene casos en donde el coeficiente de variación es mayor al 100. Estos casos se presentaron por el envés de las hojas, en donde se tiene mayor variación.

3.1.4 Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores

En vista de los problemas (porcentajes de recubrimiento mayores al 60%) que tuvieron los colectores que se ubicaron por el haz de las hojas, se presentaron muchos datos faltantes. Por lo cual, para el siguiente análisis de varianza solo se consideraron los resultados de los colectores que se ubicaron por el envés de las hojas. Ahora, como la variable porcentaje de recubrimiento no se le impuso ninguna limitación, no será analizada en este numeral, si no, con las variables respuesta del método del trazador fluorescente.

Se empleó un ANOVA multifactorial para los resultados de los colectores que se ubicaron por el envés de las hojas, con el objetivo de determinar el efecto de las boquillas y las técnicas de aplicación sobre las variables respuesta: D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, el coeficiente q de Rosin-Rammler y densidad de gotas. No obstante, se evaluaron el cumplimiento de las hipótesis del modelo, mediante las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, y la prueba de homocedasticidad de Levene. Así pues, para el caso de las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} y SPAN fue necesario realizar una transformación logarítmica (con base 10), y la variable densidad de gotas se transformó por la raíz cubica. En el anexo 1.1, se presentan estas comprobaciones. Los datos de las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler no requirieron ninguna transformación, pues cumplieron las hipótesis del modelo.

En la tabla 24, se presentan los resultados de significación estadística obtenidos a partir de ANOVA multifactorial para cada una de las variables. En el anexo 1.1, se pueden consultar los análisis de varianzas en su totalidad.

Tabla 24. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, q de Rosin-Rammler y la densidad de gotas de los colectores del ensayo 1. El nivel de confianza es del 95%.

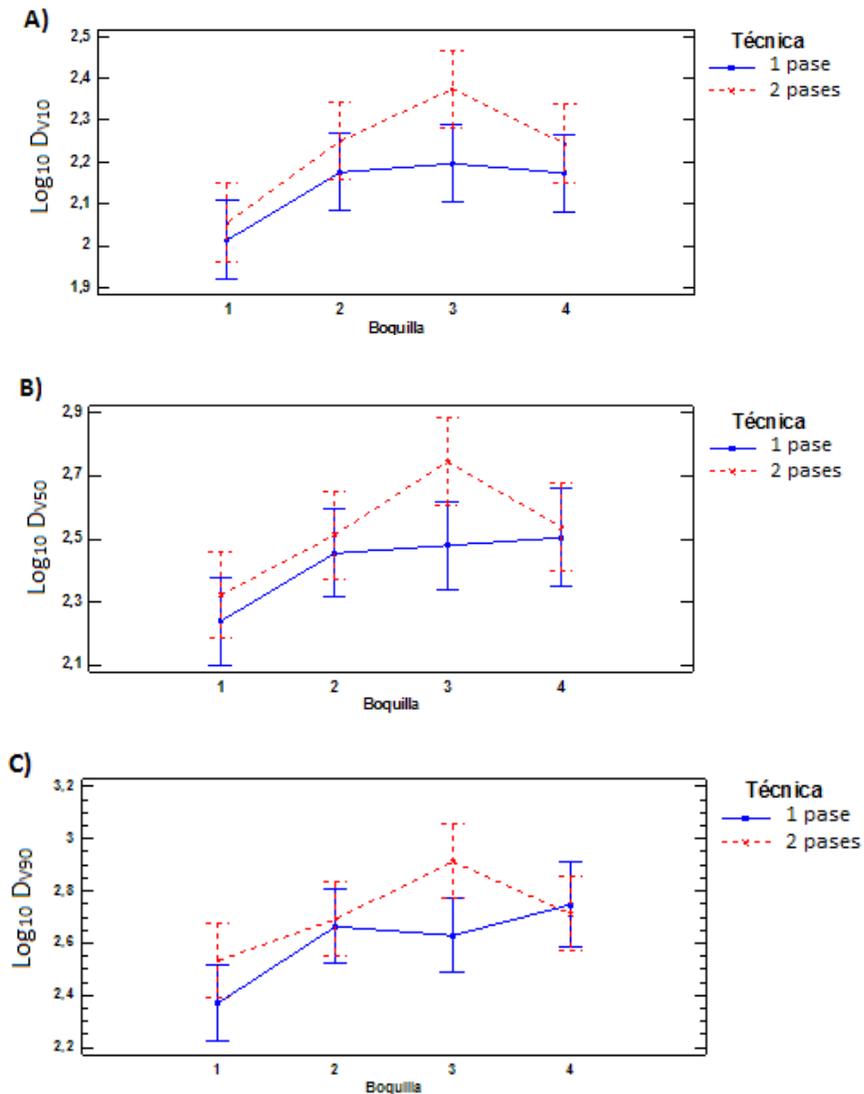
FACTORES	D_{V10}		D_{V50}		D_{V90}		SPAN		q		Densidad de gotas	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
A: Boquilla	5,408	<u>,004</u>	5,281	<u>,005</u>	5,186	<u>,005</u>	,701	,559	1,189	,331	3,994	<u>,017</u>
B: Técnica	3,283	,080	3,133	,087	2,954	,096	,019	,892	,513	,479	8,516	<u>,007</u>
D: Repetición	1,399	,246	1,272	,268	,592	,448	2,213	,147	2,224	,146	,260	,614
INTERACCIONES												
AB	,474	,702	,745	,534	1,225	,318	1,545	,223	2,233	,105	,933	,437

En la tabla 24, se observa que el tipo de boquilla influye significativamente sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} y la densidad de gotas. Entre tanto, la técnica de aplicación influye significativamente solo sobre la densidad de gotas. En contraste, el SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler, no se vieron afectados significativamente por el tipo de boquilla, o la técnica de aplicación. Lo cual quiere decir que el tipo de boquilla y la técnica de aplicación no inciden en la obtención de gotas mas uniformes sobre los colectores.

En cuanto al factor repetición no tiene efecto significativo sobre las variables, lo cual quiere decir que las repeticiones no tuvieron ninguna incidencia sobre las variables analizadas.

- **Comportamiento de los tamaños representativos**

Figura 40. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 1. A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} . Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



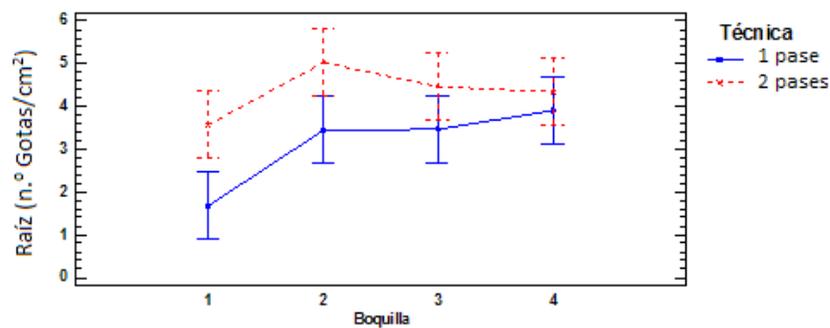
En la figura 40.A, se presenta el efecto de la interacción entre factores sobre la variable D_{V10} , y al confortar los intervalos LSD, se aprecia que para dos pases, el tamaño medio de D_{V10} , de la boquilla 1, es significativamente menor que el de las boquillas 2, 3 y 4. Ahora, en la figura 40.B, se observa que para dos pases, la boquilla 1 tiene un tamaño medio de D_{V50} , significativamente menor que el de las boquillas 3. Entre tanto, en la figura 40.C, se observa que para un pase, la boquilla 1 tiene un tamaño medio de D_{V90} , significativamente menor que las boquillas 2 y 4. Este comportamiento es lógico, por cuanto la boquilla 1 es de gota fina y las demás boquillas son de gota media y gruesa.

Por otro lado, para un pase las boquillas 2, 3 y 4, no presentan diferencias significativas entre ellas. Lo cual puede ser atribuido a la dificultad que presenta la morfología de la espinaca para que las gotas alcancen el envés de las hojas.

En cuanto a la técnica de aplicación, se aprecia que esta no tuvo un efecto significativo sobre los tamaños representativos. Lo cual indica que un aumento en la tasa de aplicación no necesariamente genera un aumento en los tamaños de las manchas registradas por los colectores que se ubicaron por el envés de las hojas.

- **Densidad de gotas**

Figura 41. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para la variable densidad de gotas de los colectores del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



Examinado el traslape de los intervalos en la figura 41, se observa que la técnica de aplicación de dos pases, para la boquilla 1, tiene una densidad de gotas significativamente mayor que cuando se aplicó un pase. Lo cual puede indicar, que un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento en el número de gotas por unidad de área. Lo cual concuerda con lo reportado por Rodríguez et al. (1994).

Por otro parte, se observa que para un pase, la boquilla 1 tiene un densidad de gotas media significativamente menor que las boquillas 2, 3 y 4. Este comportamiento es contrario a la teoría, pues se espera que con un menor tamaño de gota se obtenga un mayor número de gotas o manchas sobre el colector. Una posible explicación a este comportamiento es que una parte de las gotas generadas por esta boquilla se perdieron por el fenómeno de la deriva. Entre tanto, se aprecia que las boquillas 2, 3 y 4, no presentan diferencias significativas entre ellas. Lo cual no corresponde con lo esperado. Así que, se considera el rendimiento de la pulverizadora de espalda manual y el operario influenciaron de manera perjudicial sobre la densidad de gotas, pues, en general las pulverizaciones muestran una baja uniformidad de este parámetro.

3.1.5 Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente

De nuevo se empleó un ANOVA multifactorial a los resultados obtenidos del proceso de experimentación con el fin de determinar el efecto de las boquillas, las técnicas de aplicación, las superficies de la hoja y las repeticiones sobre las variables respuesta del método del trazador fluorescente: D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, el coeficiente q de Rosin-Rammler, densidad de manchas

(manchas/cm²), porcentaje de recubrimiento en las hojas y el porcentaje de recubrimiento en los colectores.

Ahora, luego de evaluar el cumplimiento de las hipótesis del modelo fue necesario realizar una transformación logarítmica (con base 10) de las de las variables D_{V50} , D_{V90} , la variable D_{V10} se transformó por el recíproco del logaritmo (con base 10), y las variables porcentaje de recubrimiento para las hojas y los colectores se transformaron por la raíz cubica. En el anexo 1, se presentan algunas de estas comprobaciones. Entre tanto, los datos de las variables SPAN, coeficiente q de Rosin-Rammler y densidad de manchas no requirieron ninguna transformación, pues cumplieron las hipótesis del modelo. En el anexo 1.2, se presentan estas comprobaciones.

En las tablas 25 y 26, se presentan los resultados de significación estadística obtenidos a partir de ANOVA multifactorial para cada una de las variables. En el anexo 1.2, se pueden consultar los análisis de varianzas en su totalidad.

Tabla 25. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} y SPAN del ensayo 1. El nivel de confianza es del 95%.

FACTOR	D_{V10} manchas		D_{V50} manchas		D_{V90} manchas		SPAN manchas	
	F	P	F	P	F	P	F	P
A: Boquilla	45,986	<u>,000</u>	59,690	<u>,000</u>	40,973	<u>,000</u>	6,818	<u>,000</u>
B: Técnica	2,813	,099	5,352	<u>,024</u>	5,516	<u>,022</u>	2,773	,101
C: Superficies	83,002	<u>,000</u>	151,115	<u>,000</u>	136,095	<u>,000</u>	13,794	<u>,000</u>
D: Repetición	,547	,462	,049	,826	,346	,559	,903	,346
INTERACCIONES								
AB	1,536	,214	2,322	,084	1,646	,188	3,308	<u>,026</u>
AC	3,032	<u>,036</u>	8,650	<u>,000</u>	3,701	<u>,016</u>	6,499	<u>,001</u>
BC	,048	,827	,010	,920	,259	,613	3,750	,058
ABC	1,810	,155	1,203	,316	1,397	,253	,465	,708

Tabla 26. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables q de Rosin-Rammler, densidad de manchas, porcentaje de recubrimiento de las hojas y porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1. El nivel de confianza es del 95%.

Factor	q		Densidad de Manchas		Recubrimiento de hojas		Recubrimiento de colectores	
	F	P	F	P	F	P	F	P
A: Boquilla	20,065	<u>,000</u>	10,387	<u>,000</u>	41,534	<u>,000</u>	28,501	<u>,000</u>
B: Técnica	2,434	,124	6,616	,013	12,157	<u>,001</u>	22,694	<u>,000</u>
C: Superficies	15,881	<u>,000</u>	59,126	<u>,000</u>	201,517	<u>,000</u>	219,931	<u>,000</u>
D: Repetición	,008	,931	,430	,515	,212	,647	,231	,633
INTERACCIONES								
AB	2,194	,098	,727	,540	1,006	,396	1,323	,275
AC	1,027	,387	,619	,605	9,719	<u>,000</u>	,640	,592
BC	,232	,632	2,446	,123	1,710	,196	3,705	,059
ABC	,466	,707	,360	,782	1,446	,238	2,228	,094

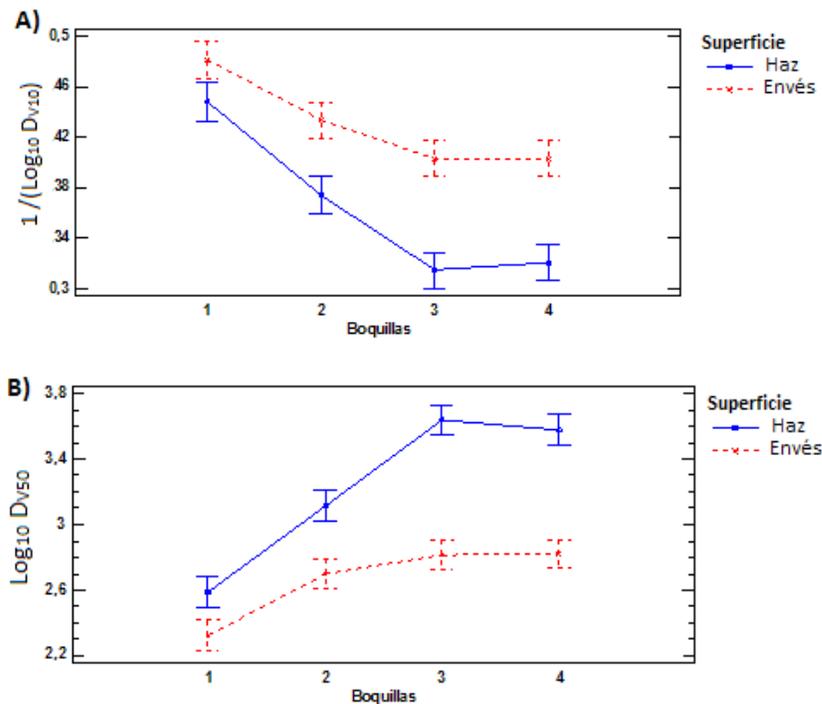
En la tabla 25, se observa que el tipo de boquilla, la técnica y las superficies de la hoja, influyen significativamente en las variables D_{V50} y D_{V90} . En contraste, la técnica de aplicación es un factor que no tuvo efecto significativo sobre las variables D_{V10} y SPAN. Esto probablemente se presentó porque las diferencias entre los valores de SPAN y D_{V10} , por acción del doble pase, no resultaron ser más influyentes que la variación de los datos por factores como el equipo, el operario o el clima.

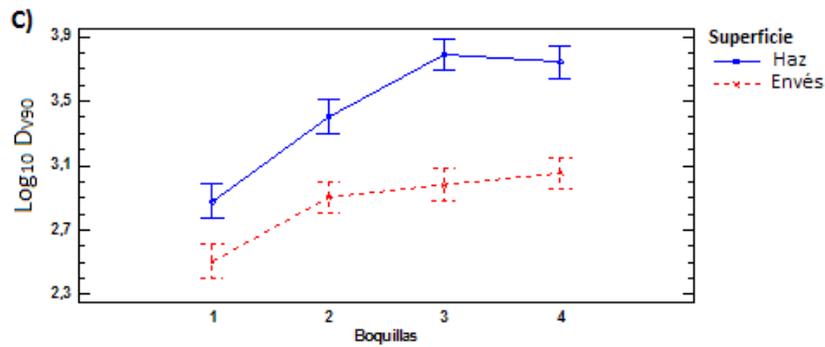
En la tabla 26, los factores boquilla, técnicas de aplicación y superficies de la hoja influyen significativamente sobre las variables densidad de manchas y porcentaje de recubrimiento en las hojas y los colectores. Entre tanto, el coeficiente q de Rosin-Rammler, que corresponde a una medida de dispersión de tamaños, solo se ve afectada por los factores boquilla y superficies de la hoja.

Finalmente, se observa en las tablas 25 y 26, el factor repetición no tiene efecto significativo sobre las variables, lo cual quiere decir que las repeticiones no tuvieron ninguna incidencia sobre las variables analizadas.

▪ **Comportamiento de los tamaños representativos**

Figura 42. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para los tamaños representativos de las manchas sobre las hojas del ensayo 1. A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} . Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.





En la figura 42.B, se representa el efecto de la interacción entre factores para la variable D_{V50} , y al confrontar los intervalos LSD, se observan tres situaciones:

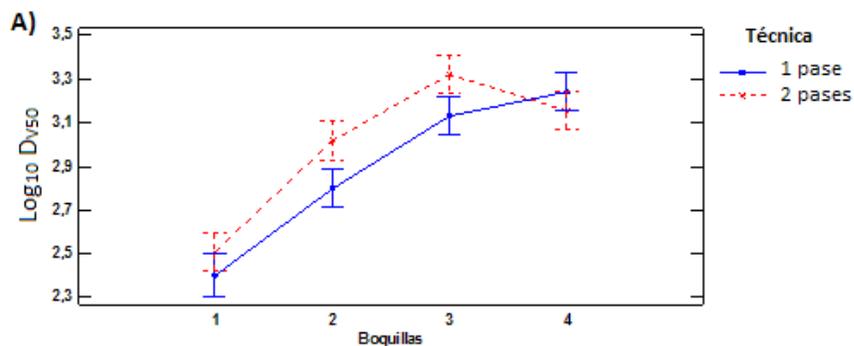
En primer lugar, por el haz de las hojas los tamaños medios de D_{V50} son significativamente mayores que los tamaños de D_{V50} por el envés de las hojas, para todas las boquillas. Lo cual concuerda con lo reportado por Garavito y Riveros (2003).

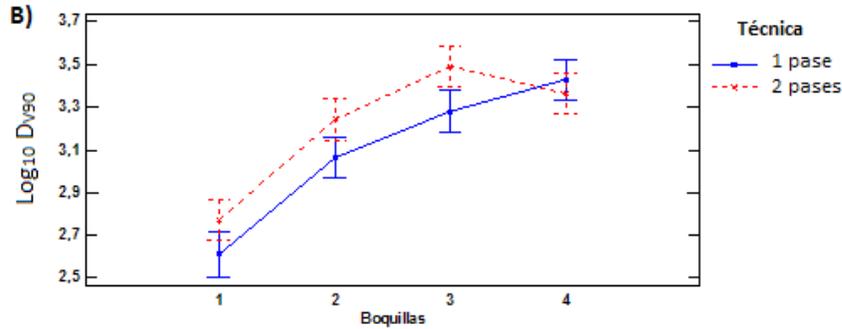
En segundo lugar, por el haz se observa que la boquilla 3, con un caudal promedio de 1,304 L/min, tiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente mayor que la boquilla 1, con un caudal promedio de 0,263 L/min. Asimismo, la boquilla 2, con un caudal promedio de 0,336 L/min, tiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente mayor que la boquilla 1. Este comportamiento marca una relación entre el tamaño de D_{V50} y el caudal aplicado. Lo cual concuerda con lo expuesto por Johnstone (1973). Entre tanto, las boquillas 3 y 4, no se presenta diferencias significativas, por cuanto estas boquillas tienen caudales similares.

En tercer lugar, por el envés, se observa que la boquilla 1 tiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente menor que los tamaños de D_{V50} de las boquillas 2, 3 y 4. Entre las cuales no se presentan diferencias significativas. Lo cual corresponde con lo esperado pues la boquilla 1 es de gota fina y las demás boquillas son de gota media y gruesa.

Por otra parte, en la figura 42.C, se observa que la interacción entre factores para la variable D_{V90} , se comportan de igual forma que en la variable D_{V50} . En cuanto a la variable D_{V10} , se debe considerar que se transformó por el recíproco, por lo cual sus valores son inverso a los reales. Sin embargo, se observa en la figura 42.A, que las tres situaciones, descritas anteriormente, se dan de igual forma para esta variable.

Figura 43. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para: A) D_{V50} ; B) D_{V90} . Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.

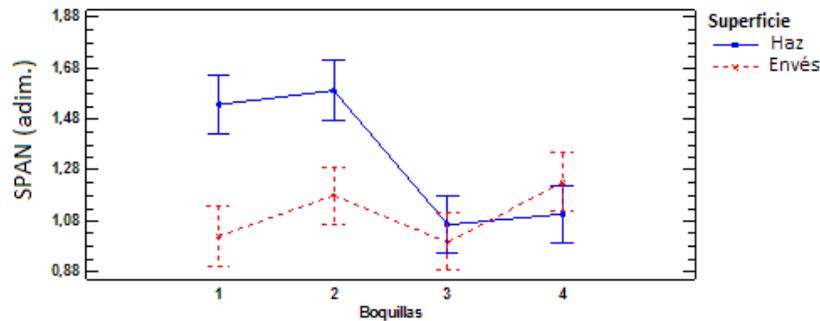




En la figura 43.A, al confrontar los intervalos LSD, se observa que cuando se aplican los dos pases, con las boquilla 2 y 3, se obtiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente mayor que cuando se aplica un pase. En contraste, en la figura 43.B, se tiene que cuando se aplican los dos pases, con la boquilla 3, se obtiene un tamaño medio de D_{V90} significativamente mayor que cuando se aplica un pase. Lo cual puede indicar que para la boquillas 3, un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento en D_{V50} y D_{V90} . No obstante, se considera que este aumento es producto del traslape de manchas, más que del aumento real del tamaño de las gotas.

▪ **Comportamiento de SPAN**

Figura 44. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el SPAN del espectro de manchas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.

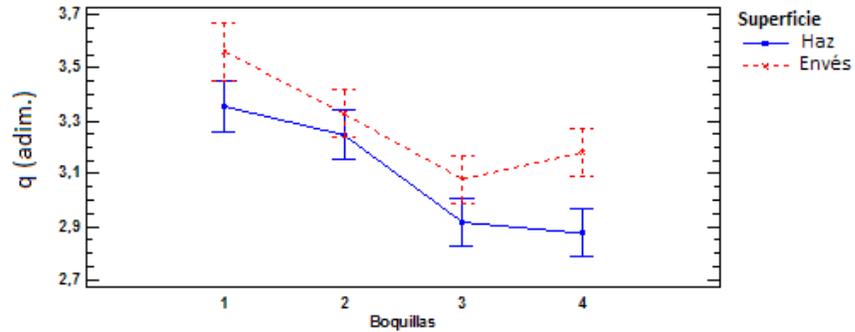


Al confrontar los intervalos LSD en la figura 44, se aprecia por el haz de las hojas se presentan dos grupos con características similares; El grupo uno lo conforman las boquillas 1 y 2, que son de baja descarga, y entre las cuales no hay diferencias significativas. Y el grupo dos, lo conforman las boquillas 3 y 4, que son de alta descarga, y entre las cuales no hay diferencias significativas. Ahora bien, se observa que los valores medios de SPAN para el grupo dos, son significativamente menores que los valores medios de SPAN del grupo uno. Lo cual indica, que las boquillas de alta descarga, obtuvieron una menor dispersión de tamaños que las boquillas de baja descarga. Este comportamiento posiblemente se presentó por las altas tasa de aplicación de las boquillas 3 y 4, lo cual propicia el traslape entre manchas, y esto a su vez, ocasiona un sesgo en la medición de los tamaños de mancha. Lo que concuerda con lo reportado por Jiang y Derksen (1995a).

En cuanto, al envés, se observa que no hay diferencias significativas entre las boquillas, lo cual puede atribuirse a que por el envés, normalmente se depositan una menor cantidad de gotas, y por ende se tendrá una menor dispersión de tamaños.

- **Comportamiento del coeficiente q de Rosin-Rammler**

Figura 45. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre las hojas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.

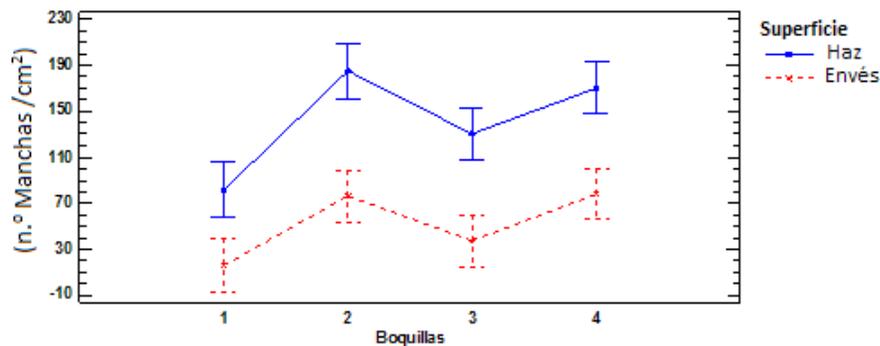


En la figura 45, se muestra la interacción entre factores para la variable q de Rosin-Rammler, en donde se aprecia la presencia de dos grupos, similares a los del numeral anterior. En los cuales se observa que las boquillas 1 y 2 (grupo uno), poseen los mayores valores medios de q, los cuales son significativamente diferentes a los valores medios de q de las boquillas 3 y 4 (grupo dos). Lo cual indica, que las boquillas de baja descarga, con tamaños de gota fina y media, tienen una distribución de tamaños mancha más uniforme. Lo cual se relaciona con reportado por Barber et al. (2003).

Además, en la figura 45, se observa que los valores de q para todos los casos, están entre 2,7 y 3,7. Lo cual indica que, los valores de q se encuentran dentro del rango señalado por Lefebvre (1989), como típico para las distribuciones de tamaños producidos por las boquillas hidráulicas. En cuanto a la boquilla 4, se tiene el valor medio de q por el envés de las hojas, es significativamente mayor que el valor de q por el haz. Este comportamiento puede ser atribuido a que, esta boquilla es de gota gruesa, y el patrón de abanico plano no genera la suficiente turbulencia para que las gotas gruesas lleguen al envés de las hojas, y esto ocasiona que se tengan menos gotas, y por ende el patrón de distribución será más uniforme.

- **Comportamiento de la densidad de manchas**

Figura 46. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable densidad de manchas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



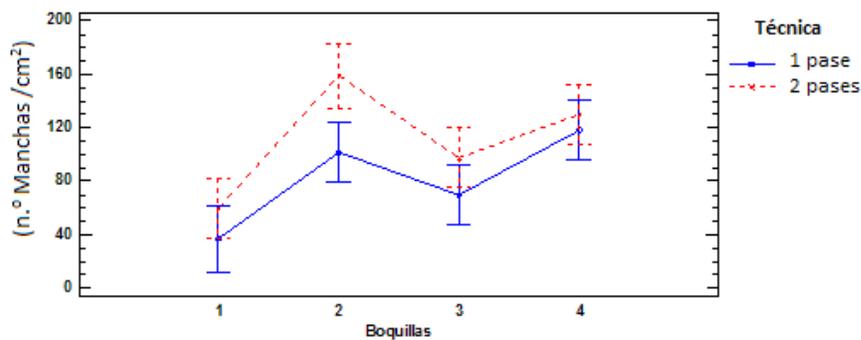
Al examinar el comportamiento descrito por los intervalos LSD en la figura 46, se observa que por el haz de las hojas, la densidad de manchas es significativamente mayor que la densidad de manchas por envés, para todas las boquillas. Lo cual concuerda con lo esperado, y lo reportado por Garavito y Riveros (2003).

Entre tanto, por el haz, se observa que la boquilla 1 tiene una densidad de manchas media significativamente menor que la densidad de manchas media de las otras boquillas. Este comportamiento es contrario a lo esperado, pues normalmente se genera un mayor número de impactos o manchas, con un menor tamaño de gota. Esta particularidad se da por el hecho de que se están aplicando diferentes tasas de aplicación, pues las boquillas 2, 3 y 4 son de mayor caudal que la boquilla 1, y por tanto está cayendo más volumen de líquido sobre las hojas cuando se usan estas boquillas.

Ahora, la boquilla 2 tiene una densidad de manchas media significativamente mayor que la boquilla 3, pero entre la boquilla 4 y la boquilla 2, no hay diferencia significativas. Lo cual puede ser atribuido a que la pulverizadora de espalda manual y el operario influenciaron de manera perjudicial sobre la densidad de manchas.

Con respecto al envés, se observa que la boquilla 1 tiene una densidad de manchas media significativamente menor que la densidad de manchas media de las boquilla 2 y 4. En contraste, entre las boquillas 2, 3 y 4, no se presentan diferencias significativas. Estos comportamientos se explican por las razones anteriores.

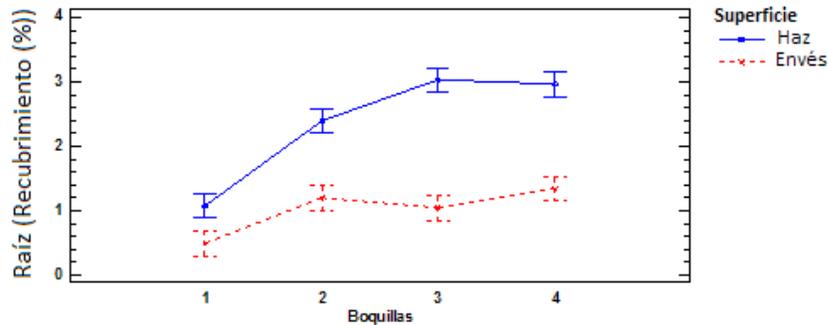
Figura 47. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable densidad de manchas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



En la figura 47, se muestra la interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación sobre la variable, y al confrontar los intervalos LSD, se observa que la técnica de dos pases, para la boquilla 2, tiene una densidad de manchas media significativamente mayor que cuando se aplica un pase. Las demás boquillas no presentan diferencias significativas. Lo cual puede indicar que para la boquilla 2, un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento del número de manchas por unidad de área.

▪ **Comportamiento del porcentaje de recubrimiento de las hojas**

Figura 48. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.

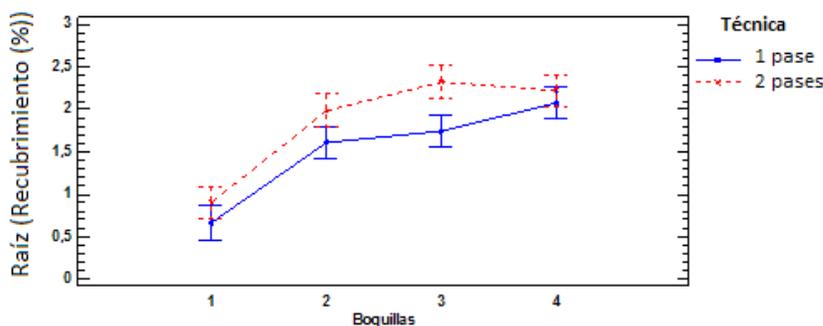


Al confrontar los intervalos LSD, en la figura 48, se aprecia que el porcentaje de recubrimiento por el haz de las hojas es significativamente mayor que el porcentaje de recubrimiento por el envés. Lo cual, concuerda con lo reportado por Derksen et al. (2001), Derksen et al. (2007a) y Olivet (2009).

Entre tanto, para el porcentaje de recubrimiento por el haz de las hojas, se observa que, las boquillas 3 y 4 (de alta descarga) tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor que las boquillas 1 y 2 (de baja descarga). De igual forma, la boquilla 2 tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor la boquilla 1. Mientras, las boquillas 3 y 4 no presentan diferencias significativas. Este comportamiento indica que a mayor caudal aplicado, se produce un mayor recubrimiento. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Derksen et al. (2001), Derksen et al. (2007a).

Por otra parte, por el envés, se observa que la boquilla 1 tiene un valor de recubrimiento medio significativamente menor que las boquillas 2, 3 y 4. Pero en contraste, las boquillas 2, 3 y 4, no presentan diferencias significativas. Lo cual indica que por el envés de las hojas de espinaca, se logra un mayor porcentaje de recubrimiento con boquillas de gota media y gruesa. Lo cual indica que por el envés de las hojas de espinaca, se logra un mayor porcentaje de recubrimiento con boquillas de gota media y gruesa. Una posible explicación a este comportamiento es que, la espinaca al ser un cultivo de porte bajo, y con un follaje poco denso (± 10 hojas por planta) para el momento de hacer las fumigaciones, impone menos restricciones para que las gotas gruesas y medianas se depositen eficientemente por el envés de las hojas. No obstante, la boquilla 1 pudo estar sujeta a pérdidas por deriva, lo cual incidió sobre el recubrimiento.

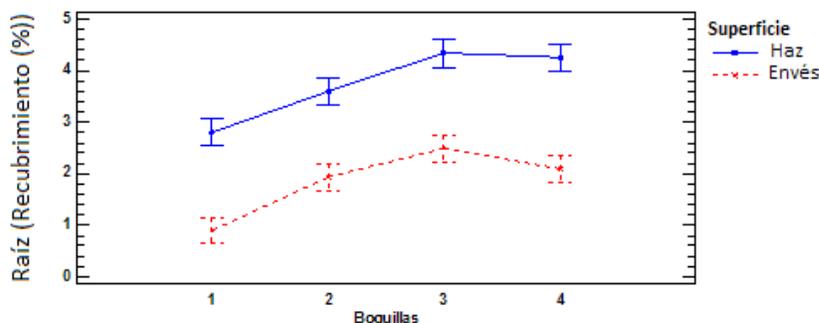
Figura 49. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



Ahora, en la figura 49, se presenta el efecto de interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación sobre el porcentaje de recubrimiento, y al confrontar los intervalos LSD, se observa que la boquilla 3, para dos pases, tiene un porcentaje de recubrimiento medio mayor que cuando se aplica un pase. Las demás boquillas no presentan diferencias significativas. Este comportamiento indica que para la boquilla 3, un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento en el porcentaje de recubrimiento.

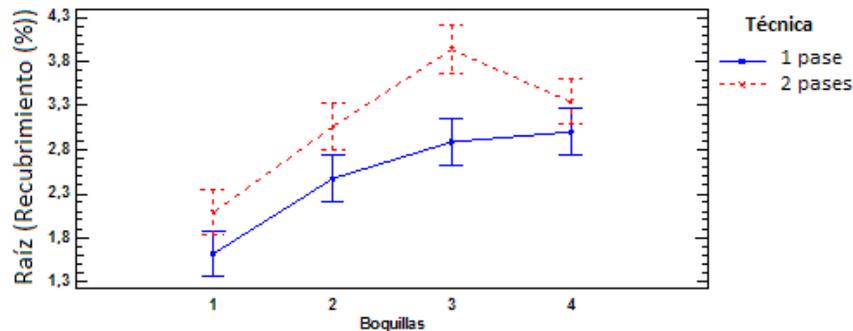
▪ **Comportamiento del porcentaje de recubrimiento de los colectores**

Figura 50. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



Al examinar el comportamiento descrito por los intervalos LSD en la figura 50, se observa que los colectores que se ubicaron el haz de las hojas tuvieron un porcentaje de recubrimiento significativamente mayor, que los colectores que se ubicaron el envés. Lo cual concuerda con lo esperado, y con la teoría. Entre tanto, por el haz, se observa que las boquillas de alta descarga, tienen un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor que las boquillas de baja descarga, y a su vez, la boquilla 2 tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor que la boquilla 1. Lo cual indica, a mayor caudal aplicado, se produce un mayor recubrimiento, lo que concuerda con el comportamiento presentado por el porcentaje de recubrimiento en las hojas. Ahora bien, por el envés se observa que la boquilla 1 tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente menor que las boquillas 2, 3 y 4, las cuales no difieren significativamente entre sí. Lo cual, revalida lo visto en el numeral anterior, o sea, que en la espinaca se puede lograr mejores porcentaje de recubrimiento por el envés de las hojas con boquillas de gota media y gruesa.

Figura 51. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



Entre tanto, en la figura 51, se observa que las boquillas 2 y 3 presentan diferencias significativas entre las técnicas de aplicación. Ya que, cuando se aplicaron dos pases, se obtuvo un porcentaje de recubrimiento medio mayor, que cuando se aplicó un pase. En contraste las boquillas 1 y 4, no muestran diferencias significativas entre sí. Este comportamiento indica que para las boquillas 2 y 3, un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento en el porcentaje de recubrimiento. Lo cual concuerda con lo visto en las hojas, para el caso de la boquilla 3.

3.1.6 Discusión: Selección de la boquilla y del tratamiento adecuado.

En este ensayo se requiere controlar la enfermedad **Mildeo Velloso**, la cual inicialmente ataca el envés de las hojas. Para el control de esta enfermedad se usó el fungicida “Ridomil Gold”, el cual es un producto que contiene dos ingredientes activos, uno de acción sistémica (Mefenoxam) y otro de contacto (Mancozeb), y según Niño et al. (2009), este fungicida puede inhibir el 100% de la germinación del patógeno. Ahora, con base en los resultados obtenidos y usando a las variables de respuesta del método de los colectores y el método del trazador fluorescente, como parámetros de selección, se tiene que:

Para seleccionar el tamaño de gota a usar, se emplearon los resultados obtenidos del método de los colectores, ya que, para el método del trazador fluorescente no se cuenta con un factor de expansión que permitiera relacionar las manchas, con las gotas que generan las manchas. Ahora bien, Hipkins et al. (2009), proponen que para aplicar un fungicida sistémico o de contacto se usen boquillas con un DMV entre 226 μm y 325 μm (ver tabla 7). Dentro de este rango se tiene que la boquilla 2 sería la indicada para realizar la aplicación.

Por otra parte, en la tabla 4, se establece que para un fungicida de contacto la densidad de gotas mínima requerida es de 50 a 70 gotas/cm², y 30 a 40 gotas/cm² para un fungicida sistémico. Ahora, como el objetivo está en ofrecer un control curativo (por acción del ingrediente activo sistémico), y de protección (por acción del ingrediente activo de contacto), se tomará como rango mínimo de 50 a 70 gotas/cm². Entonces, para el método de los colectores se tiene que por el envés, las boquillas 1 y 2, de baja descarga, tienen una densidad de gotas media menor al rango mínimo, pero al aplicar los dos pases, ambas boquillas presentan una densidad de gotas media dentro del rango mínimo. Entre tanto, por el envés, las boquillas 3 y 4, de alta descarga, presentaron densidades mayores al rango mínimo, aunque sin diferencias significativas. En cuanto a la densidad de manchas, las cuatro boquillas presentan valores medios superiores al rango

minimo, por el haz. Sin embargo, se tiene que la boquilla 2 presenta una densidad de manchas significativamente mayor que las boquillas 1 y 3. Además la boquilla 2, presentó una diferencia significativa entre uno y dos pases, ya que obtuvo una densidad de manchas mayor cuando se aplicó el segundo pase.

Entre tanto, para el método de los colectores, los parámetros de uniformidad SPAN y el coeficiente de q de Rosin-Rammler, no presentaron diferencia significativas. En contraste, el coeficiente de q de Rosin-Rammler de las manchas indica que las boquillas de baja descarga, o sea 1 y 2, tienen mayor uniformidad que las boquillas 3 y 4, que son de alta descarga.

Con base en los valores del porcentaje de recubrimiento en los colectores, algunos autores (Castillo, 2005; Magdalena, 2004; Holownicki et al., 2002) han planteado algunas pautas de referencia para valorar el recubrimiento. Se considera que un recubrimiento del 30%, o mayor, como bueno, entre el 30% y el 20%, como aceptable, y del 20% al 10% como insuficiente, y menor del 10%, sería malo. Entonces, considerando estas pautas para los colectores, se tiene que por el haz, las boquillas de alta descarga, o sea la 3 y 4, presentan un recubrimiento bueno. Aunque para un pase el recubrimiento fue excesivo (mayor al 60%) para ambas boquillas, y para los dos pases, el recubrimiento estuvo cerca al punto de saturación, con señales de escurrimiento en las hojas. En cambio la boquilla 1 presentó un recubrimiento (18,6%) insuficiente para un pase, y aceptable (27,2%), para dos pases. Entre tanto, la boquilla 2 tiene recubrimientos buenos para un pase (41,2%), y dos pases (55,0%). Además, se tiene que la boquilla 2 y 3 presenta diferencias significativas entre los recubrimientos de un pase y dos pases. Ahora, por el envés se destaca que para los dos pases, la boquilla 3 presenta un recubrimiento bueno (39,4%), y la boquilla 2 y 4 un recubrimiento aceptable (14,6% y 15,7%, respectivamente).

En cuanto al porcentaje de recubrimiento en las hojas, se considera conveniente emplear las pautas más fiables de la escala de clasificación del porcentaje de recubrimiento desarrollada por Fox et al. (2003). Dentro de estas pautas se asume que un recubrimiento mayor al 17% como alto, un recubrimiento entre el 17% y el 7,7% como medio o aceptable, y un recubrimiento del 7,7% al 2,4% como bajo o insuficiente, entre tanto un recubrimiento menor al 2,4% será malo. Considerando estas pautas se tiene que por el haz, las boquillas de alta descarga presentan un recubrimiento bueno, para un pase y dos pases. No obstante, la boquilla 3 presenta una diferencia significativa entre los recubrimientos de un pase y dos pases. Entre tanto, el recubrimiento de la boquilla 2 para un pase (13,0%) y dos pases (16,1%) es aceptable, y el de la boquilla 1 para un pase (1,2%) y dos pases (1,7%) es malo. En cuanto al envés se tiene que en términos generales las boquilla de baja descarga obtuvieron recubrimientos malos, salvo por la boquilla 2, con dos pases, la cual presenta un recubrimiento (3,9%) insuficiente. Igualmente, las boquillas de alta descarga presentan recubrimientos insuficientes por el envés.

Por lo mencionado antes se considera que la boquilla 3, con la técnica de aplicación de dos pases, logro los mejores porcentajes de recubrimiento por el haz y el envés, en los colectores y en las hojas. No obstante, estas características las consigue con una tasa de aplicación alta (951,1 L/ha), la cual genera señales de escurrimiento, lo cual es resultado indeseable. Por lo tanto, se cree que la boquilla de cono hueco TX- Royal condor, o boquilla 2, con la técnica de aplicación de dos pases, logra la mejor aplicación del fungicida sobre un cultivo de espinaca. Ya que, esta boquilla presenta el DMV indicado para la aplicación, es uniforme, y cuenta con una densidad de manchas mayor que las boquillas 1 y 3, y tuvo buenos recubrimientos en los colectores con una tasa de aplicación (272,7 L/ha) menor a la boquilla 3.

3.2 ENSAYO 2

3.2.1 Calibración de la pulverizadora de espalda

En la tabla 27, se presentan los resultados de la calibración de la pulverizadora de espalda manual.

Tabla 27. Resumen de los volúmenes aplicados en el ensayo 2, donde los valores de volumen y velocidad, corresponden a los promedios de los ensayos realizados en campo.

ENSAYO 2								
Boquilla	TXA800050VK		TX-Royal Condor		TXA8004VK		XR8004VS	
Técnica de aplicación	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES	1 PASE	2 PASES
Presión (Bar)	3,8 - 4,1	3,8 - 4,1	3,8 - 4,1	3,8 - 4,1	2,0 - 2,4	2,0 - 2,4	2,0 - 2,4	2,0 - 2,4
Tasa de aplicación (L/ha)	101,1	188,9	151,1	272,2	550,2	1014,4	537,8	1025,6
Velocidad (km/h)	1,756	1,765	1,731	1,765	1,718	1,769	1,711	1,743
Caudal aplicado (L/min)	0,266	0,250	0,392	0,360	1,418	1,346	1,380	1,341

Al igual que en el ensayo 1, los mayores caudales aplicados para un pase y dos pase, se produjeron con la boquilla de abanico plano (XR8004VS) y la boquilla de cono hueco (TXA8004VK), en un rango de presión de 2,0 a 2,4 Bares. Lo cual corresponde con lo planificado. En cuanto a las diferencias entre los caudales aplicados, se observa que las 4 boquillas aplicaron un 6,1%, 8,2%, 5,1% y 2,8% más líquido para un pase, que cuando se aplicó el doble pase. Estas diferencias están causadas por los restos de líquido que quedan en la bomba y el sistema de tuberías del equipo.

Por otra parte, la boquilla de cono hueco (TXA800050VK), de baja descarga, produjo caudales por encima de lo esperado en ambos ensayos, ya que, con base en la información de la tabla 9, a 4,1 bares, la boquilla proporcionaría un caudal de 0,225 L/min, y para un pase se obtuvo un caudal 15,5% mayor, y para dos pases un 10,0% mayor. Estas diferencias debieron ser causadas por los restos de líquido que quedan en la bomba y el sistema de tuberías del equipo. Además, pudo influir el hecho de que la boquilla tenía muchas horas de trabajo acumuladas, y que las lecturas del manómetro en campo, no son tan precisas como las lecturas de presiones que se hacen en laboratorio.

En este ensayo, la velocidad promedio con la que se realizan los ensayos para dos pases, con las boquillas TX-Royal Condor, TXA8004VK y XR8004VS, fueron un 1,9%, 2,9% y 1,8% mayores, respectivamente, y para la boquilla TXA800050VK la velocidad del segundo pase, fue un 0,5% mayor. Por lo cual, se considera que la velocidad para uno y dos pases fue uniforme, pues las diferencias no son considerables.

Por último, comparando las tasas de aplicación entre un pase y dos pases, se tiene que la boquilla TX-Royal Condor tuvo un aumento en la tasa de aplicación del 53,9%, la boquilla TXA800050VK tuvo un incremento del 46,5%, y las boquillas TXA8004VK y XR8004VS, tuvieron incrementos del 45,8% y 47,6%, respectivamente.

3.2.2 Análisis descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores

En la tabla 28, se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos del método de los colectores de papel hidrosensible.

Tabla 28 .Promedio de los datos experimentales para cada una de variables respuesta del método de los colectores de papel hidrosensible del ensayo 2. Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación en porcentaje.

Boquilla	Técnica	Superficie	D _{v50} (µm)	D _{v50} (µm)	D _{v50} (µm)	SPAN	q	Recubrimiento (%)	n.º Gotas /cm ²	
Boquilla 1 Teeljet® TXA800050VK	1 pase	Haz	156,95 (15,1)	249,56 (19,4)	404,76 (31,3)	0,97 (29,9)	4,96 (15,9)	8,86 (75,6)	94,93 (67,6)	
		Envés	96,69 (34,5)	162,25 (41,0)	244,20 (48,5)	0,87 (25,1)	4,28 (13,6)	3,81 (147,5)	70,19 (117,0)	
	2 pases	Haz	158,49 (21,9)	312,37 (28,2)	480,30 (27,4)	1,03 (5,9)	3,90 (7,0)	21,15 (44,2)	274,73 (16,1)	
		Envés	108,30 (27,1)	176,84 (39,9)	277,00 (47,6)	0,91 (28,3)	4,33 (12,2)	4,17 (161,9)	78,47 (149,1)	
Boquilla 2 TX-Royal Condor	1 pase	Haz	245,41 (18,9)	452,92 (18,9)	632,18 (15,3)	0,86 (11,2)	3,89 (8,0)	25,69 (32,4)	125,08 (63,3)	
		Envés	130,51 (33,6)	233,99 (38,9)	347,41 (44,1)	0,88 (23,9)	3,69 (7,7)	4,31 (150,4)	57,93 (148,4)	
	2 pases	Haz	380,48 (9,7)	649,45 (8,8)	840,99 (4,9)	0,71 (7,7)	3,22 (9,8)	44,57 (25,9)	55,15 (35,6)	
		Envés	164,51 (20,1)	280,19 (35,0)	456,16 (39,3)	1,02 (44,8)	3,47 (11,4)	7,13 (122,4)	49,63 (79,1)	
Boquilla 3 Teeljet® TXA8004VK	1 pase	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo			Recubrimiento excesivo			65,17 (25,4)	
		Envés	178,09 (40,1)	325,09 (44,3)	530,85 (38,6)	1,11 (31,0)	3,99 (12,1)	8,78 (81,2)	116,90 (81,3)	
	2 pases	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo			Recubrimiento excesivo			92,39 (5,9)	
		Envés	287,02 (29,5)	529,37 (30,3)	743,35 (16,9)	0,95 (40,1)	3,57 (9,6)	22,96 (64,6)	62,61 (53,7)	
Boquilla 4 Teeljet® XR8004VS	1 pase	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo			Recubrimiento excesivo			72,63 (41,0)	
		Envés	219,98 (47,8)	419,04 (43,5)	649,39 (28,6)	1,12 (37,9)	3,64 (11,9)	11,77 (93,3)	69,64 (55,2)	
	2 pases	Haz	Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo - Recubrimiento excesivo			Recubrimiento excesivo			87,81 (15,9)	
		Envés	220,28 (48,4)	437,32 (45,8)	611,23 (41,1)	0,93 (16,5)	3,55 (12,6)	15,75 (104,1)	61,20 (70,3)	

En este ensayo, como era de esperar, se presentaron los inconvenientes con los colectores de papel hidrosensible para las boquillas 3 y 4. Ya que, los colectores que se ubicaron por el haz de las hojas, para un pase y dos pase, presentaron porcentajes de recubrimiento superiores al 60%. Así que, al igual que en el ensayo 1, se decidió trabajar con los colectores que tuvieran porcentajes de recubrimiento menores al 60%, para poder hacer estimaciones fiables de los tamaños y el número de impactos sobre los colectores.

Ahora, se espera que la influencia del trazador y el plaguicida, a las contracciones usadas, no afecten sustancialmente sobre el factor de expansión empleado.

▪ **Clasificación de tamaños de gota**

De igual forma que en el ensayo 1, para clasificar los tamaños de gota, solamente se consideraron los colectores que se ubicaron por el envés de las hojas, cuando se aplicó un solo pase. Por lo tanto, se elaboraron las curvas de distribución de tamaños promedio para cada boquilla, y se graficaron sobre el esquema de curvas de clasificación del BCPC, desarrollado por Nuyttens (2007). En la figura 52 se observan las curvas obtenidas.

En las tablas 29 y 30, se presentan los valores promedio de los tamaños representativos D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} , de cada uno de los grupos experimentales.

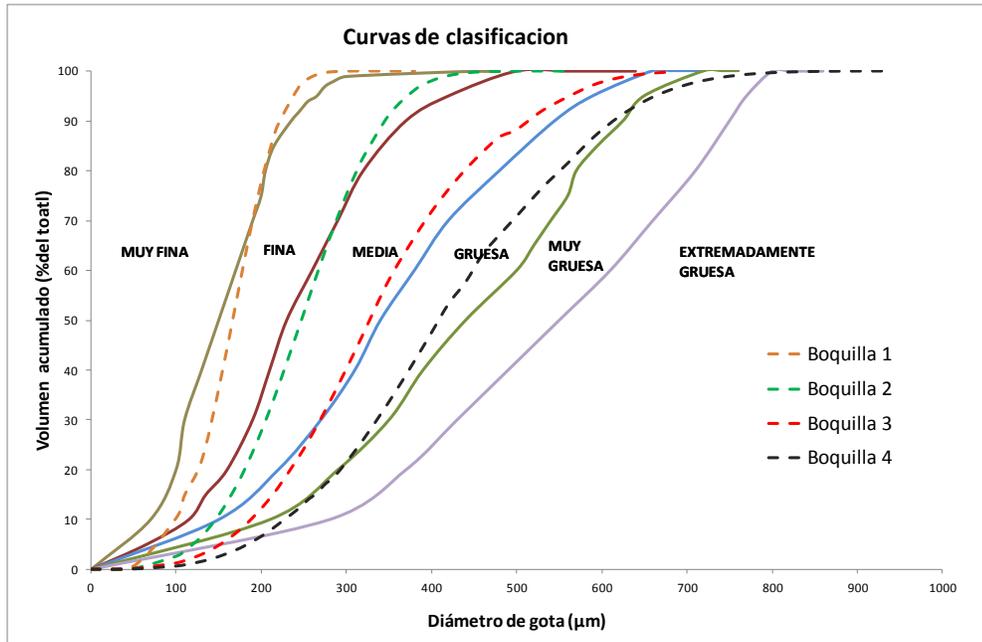
Tabla 29. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas de baja descarga del ensayo 2. El C.V. indica el coeficiente de variación de los datos.

Tamaño Representativo	Boquilla 1 (TXA800050VK)				Boquilla 2 (TX-Royal Condor)			
	1 Pase	C.V.(%)	2 Pases	C.V.(%)	1 Pase	C.V.(%)	2 Pases	C.V.(%)
D_{V10}	96,7	34%	108,3	27%	130,5	34%	164,5	20%
D_{V50}	162,2	41%	176,8	40%	234,0	39%	280,2	35%
D_{V90}	244,2	48%	277,0	48%	347,4	44%	456,2	39%

Tabla 30. Valores promedio de los tamaños representativos para las boquillas alta descarga del ensayo 2. El C.V. indica el coeficiente de variación de los datos.

Tamaño Representativo	Boquilla 3 (TXA8004VK)				Boquilla 4 (XR8004VS)			
	1 Pase	C.V.(%)	2 Pases	C.V.(%)	1 Pase	C.V.(%)	2 Pases	C.V.(%)
D_{V10}	178,1	40%	287,0	29%	220,0	48%	220,3	48%
D_{V50}	325,1	44%	529,4	30%	419,0	44%	437,3	44%
D_{V90}	530,8	39%	743,3	17%	649,4	29%	611,2	29%

Figura 52. Representación de las curvas de clasificación de los tamaños de gota para el ensayo 2.

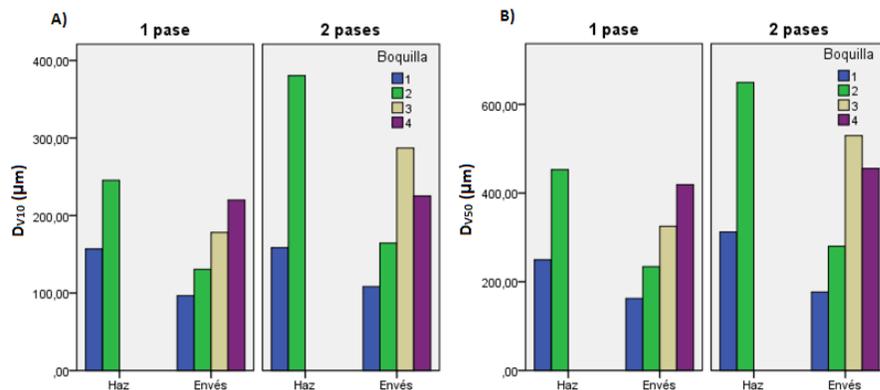


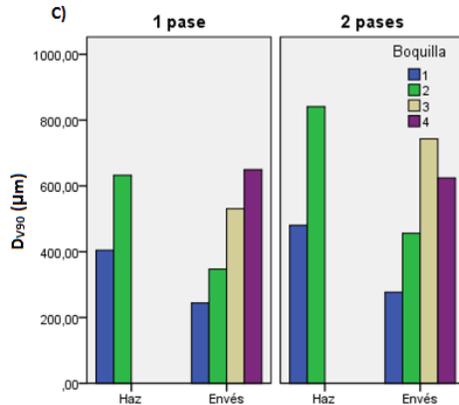
Por consiguiente, la boquilla 1 está en la categoría de gota muy fina y la boquillas 2 cae en la categoría de gota fina. Entre tanto la boquilla 3 están en la categoría de gota media, y la boquilla 4 está en la categoría de gota gruesa. Entre tanto, por términos pacticos, se maneja la siguiente clasificación de las boquillas, para este ensayo:

- Boquilla 1: La TeeJet TX800050VK, de cono hueco, de baja descarga, de gota muy fina.
- Boquilla 2: La TX-Royal Condor nacional, de cono hueco, de baja descarga, de gota fina.
- Boquilla 3: TeeJet TXA8004VK: de cono hueco, de alta descarga, de gota media.
- Boquilla 4: La TeeJet XR8004VS, de abanico plano de amplio espectro, de alta descarga, de gota gruesa.

▪ **Tamaños representativos de los colectores**

Figura 53. Gráficos de medias para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 2. A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} .

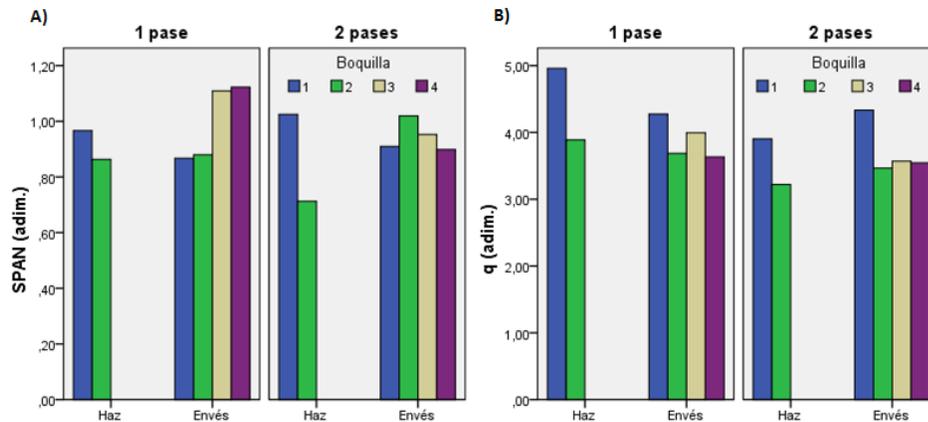




Por el envés, en las figuras 53.A, 53.B, 53.C, se puede apreciar que para un pase, la boquilla 4 tiene los mayores valores medios de D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} . Por otro lado, se destaca el hecho, de que la boquilla 3 para dos pases, presente los mayores valores medios de los tres tamaños representativos. Lo cual indica que por envés, para dos pases, la turbulencia en las gotas que genera el patrón de cono hueco de la boquilla 3, ocasiona que llegue más cantidad de aplicación.

▪ **Parámetros de uniformidad de los tamaños de gota**

Figura 54. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Ronsin-Rammler de los colectores del ensayo 2. A) SPAN; B) q de Ronsin-Rammler.

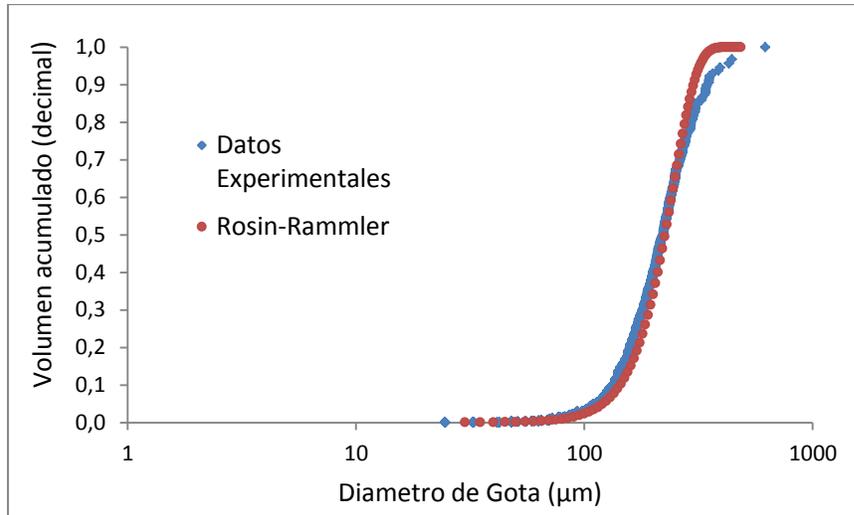


En la figura 54.A, se observa que los valores medios del SPAN para las boquillas de alta descarga, o sea 3 y 4, son mayores que los valores medios de las boquillas de baja descarga, o sea 1 y 2. Por ejemplo; para un pase, por el envés, las boquillas de baja descarga, tiene una diferencia entre medias del 1,5%, y entre las boquillas de alta descarga, la diferencia es del 1,2%. Ahora, para dos pases las medias de las boquillas 2 y 3 difieren un 6,5%, y entre las boquillas 3 y 4, la diferencia es del 2,7%.

Por otro lado, en la figura 54.B, se presentan los valores medios del coeficiente q de Rosin-Rammler, y se observa que las medias para las boquillas 2, 3 y 4 tienden a ser similares cuando se aplicó dos pases. En contraste, la boquilla 1 se destaca como el valor más alto, tanto para un pase, como para dos.

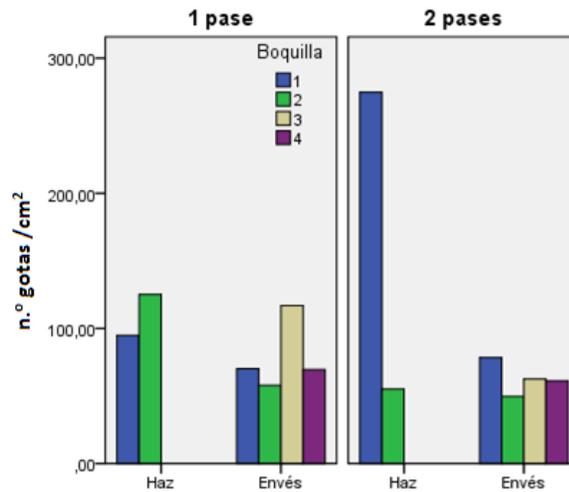
Ahora bien, para visualizar la capacidad de ajuste de la función de Rosin-Rammler, en la figura55, se presenta la distribución de tamaños de uno de los colectores del ensayo 2 (el cual fue elegido al azar) y la función de Rosin-Rammler desarrollada para este caso en estudio. En esta figura, se corrobora lo visto en el ensayo 1, o sea, la buena capacidad de ajuste de esta función.

Figura 55. Distribución acumulada de volumen por tamaños de gotas para la función de Rosin-Rammler, y los datos experimentales de una de las répeticiones de la boquilla 3, por el envés. Los parámetros de la función de Rosin-Rammler para este caso fueron: $q = 4,1831$, $D_{V63,2} = 246,45 \mu\text{m}$ y un R^2 de 0,987.



▪ **Densidad de gotas**

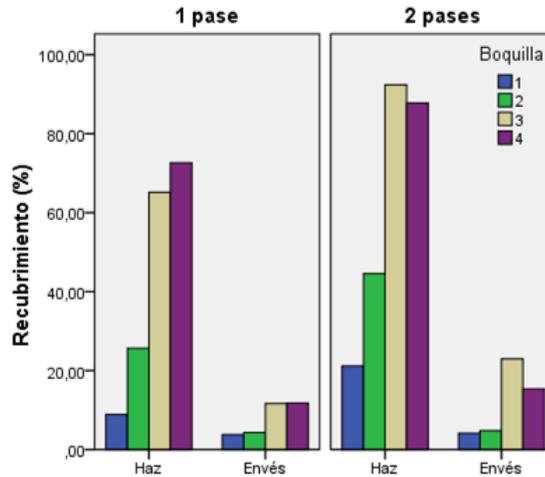
Figura 56. Gráfico de medias de la densidad de gotas en los colectores del ensayo 2.



En la figura56, se observa que cuando se aplicó un pase, por el haz, la boquilla 2 obtuvo el mayor valor medio del número de gotas por cm^2 , pero esta tendencia cambio cuando se aplicaron los dos pases, ya que la boquilla 1 pasó a tener el mayor valor medio. Ahora, esta tendencia también se observó por envés, en donde la boquilla 1 tiene el mayor valor medio.

- **Porcentaje de recubrimiento de los colectores**

Figura 57. Gráfico de medias del porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 2.



En general en la figura 57, se observa que los colectores que se ubicaron por el haz obtuvieron mayores valores medios de recubrimiento que los colectores que se ubicaron por envés. Además, para un pase, la boquilla 4 tiene la mayor media, y para dos pases, la mayor media la tiene la boquilla 3. Entre tanto, al comparar las medias de uno y dos pases, se tiene que por el haz, las medias de recubrimiento de las boquillas 1, 2, 3 y 4 se incrementaron un 58,1%, 42,4%, 29,5% y 17,3%, respectivamente.

En cuanto a los colectores que estuvieron por el envés, se presentan un incremento del 8,6%, 39,6%, 61,7% y 25,2% para las boquillas 1, 2, 3 y 4.

3.2.3 Análisis descriptivo de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente

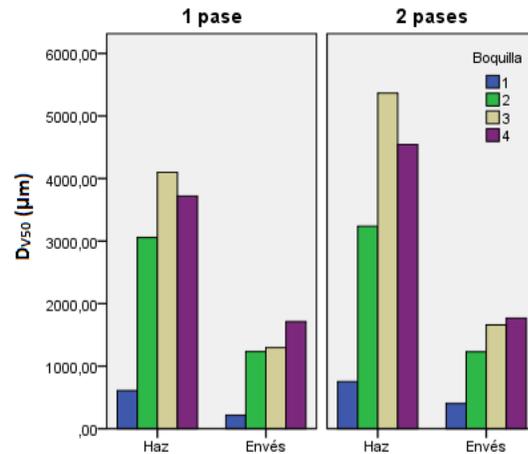
A continuación se presenta el análisis descriptivo de las variables del método del trazador fluorescente, el cual se usó para evaluar la calidad de aplicación de plaguicidas, mediante el estudio de las manchas secas dejadas por las gotas de mezcla sobre las hojas (método cualitativo), y el estudio de la cantidad de trazador depositado sobre las hojas de espinaca (método cuantitativo).

Tabla 31. Promedio de los datos experimentales para cada una de las variables respuesta del método del trazador fluorescente del ensayo 2. Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación en porcentaje.

	Técnica	Superficie	D _{v50} (µm)	D _{v50} (µm)	D _{v50} (µm)	SPAN	q	Recubrimiento (%)	n.º Manchas/cm ²	Depósitos (µg/cm ²)
Boquilla 1 Teeljet® TXA800050VK	1 pase	Haz	227,60 (24,1)	608,52 (20,6)	1199,06 (23,3)	1,62 (22,6)	3,35 (4,0)	2,18 (49,4)	98,47 (57,9)	3,59 (46,4)
		Envés	101,53 (24,9)	213,44 (13,9)	304,66 (31,6)	0,94 (24,09)	3,45 (5,3)	0,07 (86,5)	6,85 (68,5)	1,86 (2,0)
	2 pases	Haz	281,15 (19,3)	753,52 (26,7)	1611,41 (31,3)	1,76 (28,9)	3,44 (9,5)	3,79 (46,8)	126,27 (58,1)	5,49 (3,3)
		Envés	205,62 (19,6)	401,91 (17,4)	670,22 (37,6)	1,15 (42,4)	3,38 (6,0)	0,46 (117,3)	26,80 (121,4)	2,51 (37,6)
Boquilla 2 TX-Royal Condor	1 pase	Haz	1392,13 (32,1)	3056,95 (36,5)	5225,12 (39,1)	1,22 (10,9)	3,11 (12,4)	8,61 (51,4)	142,43 (32,7)	6,54 (22,3)
		Envés	673,58 (18,4)	1232,51 (17,6)	1526,65 (17,4)	0,69 (6,4)	3,17 (10,6)	0,52 (111,1)	19,79 (104,0)	2,92 (57,6)
	2 pases	Haz	1199,17 (21,1)	3235,83 (22,4)	5427,87 (21,8)	1,32 (18,9)	3,17 (6,8)	13,42 (29,7)	188,18 (27,1)	10,38 (28,7)
		Envés	712,74 (25,9)	1430,56 (39,7)	2146,14 (40,9)	0,95 (24,6)	2,83 (7,6)	3,11 (86,5)	58,73 (100,3)	4,19 (7,3)
Boquilla 3 Teeljet® TXA8004VK	1 pase	Haz	1417,81 (29,6)	4099,48 (20,7)	7014,59 (12,5)	1,41 (19,0)	3,08 (3,7)	20,94 (12,7)	123,93 (30,1)	25,69 (17,2)
		Envés	572,04 (47,9)	1296,95 (33,9)	1670,76 (30,6)	0,90 (31,9)	2,95 (24,6)	0,80 (104,5)	11,36 (58,6)	2,36 (9,2)
	2 pases	Haz	1967,91 (26,2)	5366,92 (16,0)	7525,90 (10,2)	1,05 (14,9)	2,94 (5,1)	29,95 (18,6)	133,80 (25,5)	31,32 (37,1)
		Envés	725,22 (31,9)	1837,29 (50,3)	2765,03 (59,7)	1,03 (24,6)	3,05 (2,1)	4,59 (134,3)	56,30 (107,7)	14,26 (27,1)
Boquilla 4 Teeljet® XR8004VS	1 pase	Haz	1452,77 (26,8)	3718,98 (28,0)	5632,67 (37,3)	1,09 (26,8)	2,91 (8,0)	20,96 (30,6)	169,54 (32,3)	20,10 (34,4)
		Envés	856,71 (76,6)	1693,80 (76,4)	2433,42 (68,6)	0,95 (28,4)	2,93 (13,3)	3,48 (96,4)	47,30 (87,2)	12,08 (25,9)
	2 pases	Haz	1910,74 (8,0)	4543,97 (6,2)	6958,50 (15,3)	1,11 (17,3)	2,78 (2,2)	28,03 (24,3)	156,36 (33,3)	22,53 (30,6)
		Envés	654,70 (19,7)	1697,96 (30,9)	2404,63 (35,1)	0,98 (23,2)	3,14 (9,2)	3,44 (83,7)	54,38 (101,5)	11,78 (33,5)

- **Tamaños representativos de las manchas**

Figura 58. Gráfico de medias para el D_{V50} de las manchas sobre hojas del ensayo 2.

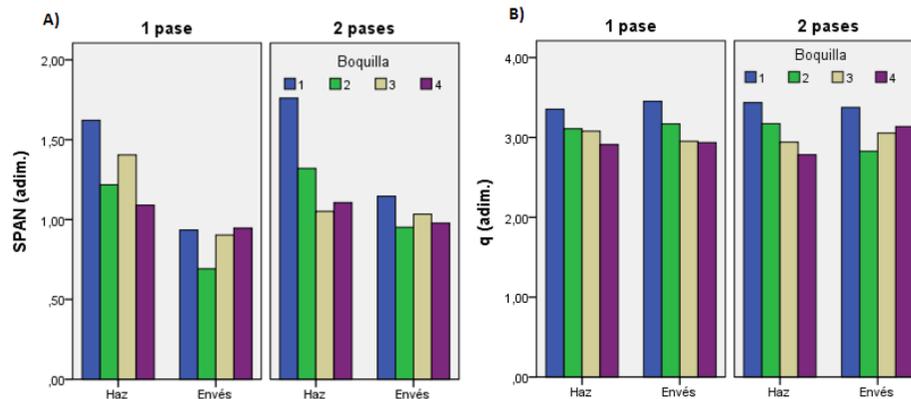


Como se ha visto en ocasiones anteriores, los gráficos de medias de los tamaños representativos D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} , aportan la misma información de interés, porque muestran las mismas tendencias. Por lo cual, en esta ocasión será tomado como caso representativo la variable D_{V50} .

Entonces en la figura 58, se aprecia que los valores de las medias de D_{V50} por el haz de las hojas, son mayores que los valores de las medias por el envés. Además, se observa que la boquilla 3 tiene la media de mayor valor para un pase y dos pases, lo cual concuerda con lo visto en el ensayo 1. Entre tanto, por el haz, todas las boquillas presentaron incrementos con la aplicación del segundo pase. Y en la tabla 31, se observa que para esta variable los coeficientes de variación tienden a hacer altos, pues están dentro de un rango del 13,9%, a 77,8%.

- **Parámetros de uniformidad de los tamaños de mancha**

Figura 59. Gráficos de medias para las variables SPAN y el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre hojas del ensayo 2: A) SPAN; B) q de Rosin-Rammler.

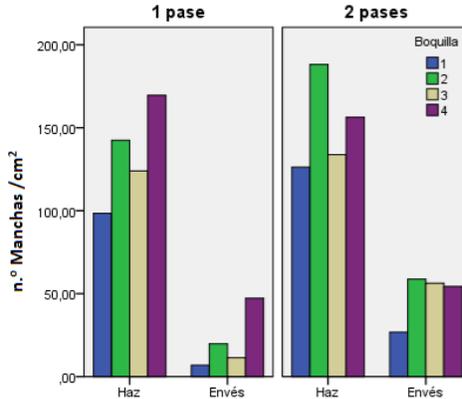


En la figura 59.A, se observa que para uno y dos pases, por el haz, la boquilla 1 tiene el mayor valor medio de SPAN, y la boquilla 4 tiene el menor valor medio. En cuanto a la figura 59.B, se aprecia que la boquilla 1 obtiene los mayores valores medios de q, tanto por el haz como por el envés. En contraste, los valores medios de q para las boquillas 3 y 4, tienden a ser similares por el

envés, pues las diferencias entre medias son del 0,6% y 2,6%, para un pase y dos pases, respectivamente.

▪ **Densidad de manchas**

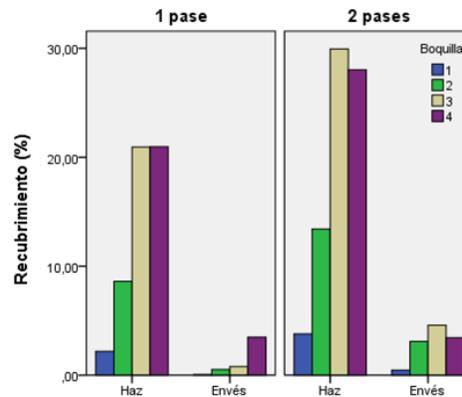
Figura 60. Gráficos de medias para la densidad de manchas en las hojas del ensayo 2.



Al observar las medias, en la figura 60 se aprecia claramente que los valores medios del número de manchas por cm^2 , por el haz son mayores que los valores medios por el envés. Además, sobre esta misma superficie se destaca, que cuando se aplica los dos pases, las boquillas 1, 2 y 3 presentan incrementos del 22,0%, 24,3% y 7,4%. En contraste la boquilla 4 presentó una reducción del valor de la media del 7,8%, lo cual puede ser atribuido al traslape de las manchas. Por otro lado, se observa en la tabla 31, que esta variable tiene una alta variabilidad, pues los coeficientes de variación tienen valores entre 25,5% y el 121,4%.

▪ **Porcentaje de recubrimiento de las hojas**

Figura 61. Gráficos de medias para los porcentajes de recubrimiento en las hojas del ensayo 2.



En la figura 61, se corrobora de nuevo que por el haz se obtiene un mayor recubrimiento que por el envés, además, se aprecia que las boquillas 3 y 4 (de alta descarga) obtienen los mayores valores medios de recubrimiento por el haz. Ahora, por el envés, se tiene que la aplicación de los dos pases, produjo un incremento del 84,9%, 83,3%, 82,7% en los valores medios de las boquillas 1, 2, 3, respectivamente.

Entre tanto, en la tabla 31, se observa que los coeficientes de variación de los datos por el envés, tienen valores entre el 83,7% y 134,3%, lo cual es alto, mientras por el haz los coeficientes de variación toman valores entre 12,7% y el 51,5%, lo que puede ser más tolerable.

▪ **Depósitos**

Tabla 32. Promedios del volumen de trazador depositado sobre las hojas. Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación.

Boquilla	Técnica	Superficie	Tasa de aplicación (L/ha)	Dosis de trazador aplicada ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Deposito ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	% de trazador retenido
1	1 pase	Haz	101,10	10,110	3,59 (46,4)	35,5
		Envés			1,86 (2,0)	18,4
	2 pases	Haz	188,88	18,888	5,49 (3,3)	29,1
		Envés			2,51 (37,6)	13,3
2	1 pase	Haz	151,11	15,111	6,54 (22,3)	43,3
		Envés			2,92 (57,6)	19,3
	2 pases	Haz	272,22	27,222	10,38 (28,7)	38,1
		Envés			4,19 (7,3)	15,4
3	1 pase	Haz	550,22	55,022	25,69 (17,2)	46,7
		Envés			2,36 (9,2)	4,3
	2 pases	Haz	1014,44	101,444	31,32 (37,1)	30,9
		Envés			14,26 (27,1)	14,1
4	1 pase	Haz	537,78	53,778	20,10 (34,4)	37,4
		Envés			12,08 (25,9)	22,5
	2 pases	Haz	1025,56	102,556	22,53 (30,6)	22,0
		Envés			11,78 (33,5)	11,5

En la tabla 32, se observa que la cantidad promedio de trazador que se depósito por el haz de las hojas, es mayor que la cantidad promedio depositada por el envés. Por ejemplo, para un pase, la diferencia entre los promedios del haz y el envés es del 48,1% y 55,3% para las boquillas 1 y 2, y del 90,8% y 39,9% para las boquillas 3 y 4. Entre tanto, para dos pases las diferencias son del 54,2%, 59,6%, 54,5% y 47,7%, para las boquillas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Este comportamiento se puede considerar como lógico, ya que, como lo mencionan Del Castillo (2012) y Al-Sarar (2003), la morfología del cultivo hace que sea más difícil para las gotas depositarse por el envés de las hojas.

En términos generales, se aprecia la aplicación del segundo pase generó un incremento en las cantidades promedio de los depósitos, destacándose la boquilla 3 con dos pases, al obtener los mayores depósitos, tanto por el haz como por el envés. No obstante, al tener diferentes tasas de aplicación, se tienen mezclas de pulverizado con diferentes concentraciones de trazador, y como no se ajustó la dosis de trazador por unida de superficie a un valor estándar, no se puede aseverar que las diferencia entre los depósitos son producto de la combinación de factores en estudio. Por lo cual, no se realizarán comparaciones entre los depósitos presentados por cada grupo experimental, ni el análisis de variabilidad. Paralelamente, se aprecia que los depósitos obtenidos tienen baja uniformidad, ya que los valores del coeficiente de variación se ubican dentro de un amplio rango (del 2% al 57,6%).

Por otra parte, en la tabla 32, se presenta el porcentaje de trazador retenido por las superficies de hoja de espinaca luego de la pulverización. La retención se calcula como la diferencia entre la cantidad aplicada y la cantidad depositada en las hojas, y se expresa en porcentaje. Ahora, si se suman los porcentajes de retención del haz y el envés para cada uno de los grupos experimentales, se tiene que las boquillas 1, 2, 3 y 4 logran un porcentaje de retención del 54,0%, 62,6%, 51,0% y 59,9% para un pase, y del 42,4%, 53,4%, 44,9% y 33,4% para dos pases, respectivamente.

Entre tanto, estos porcentajes de retención ofrecen una estimación de la cantidad de pulverizado que no está llegando al objetivo, por lo que se consideran como pérdidas. Por ejemplo, en el caso de un pase, se tiene que las pérdidas están entre el 48,4% y el 37,4%, y para dos pases las pérdidas están entre 66,6% y el 46,6%. Lo cual indica que las pérdidas son altas, y posiblemente se presenten porque en el momento de realizar la pulverización el follaje de las espinacas es relativamente escaso (± 10 hojas por planta). Sin embargo, requiere hacer un estudio más completo que incluya los depósitos en el suelo para tener una estimación más certera de las pérdidas y como se presentan.

Ahora, al confrontar los porcentajes de retención para uno y dos pases se tiene que, el incremento de las cantidades promedio de los depósitos, producto del segundo pase, no generó el incremento en el porcentaje de retención que se esperaba, ya que el porcentaje retenido fue menor en todos los casos. Este comportamiento posiblemente se debe a una discrepancia entre la tasa de aplicación que se usó en los ensayos, y la que se estimó previamente cuando se hizo la calibración del equipo, pues con estos datos se realizan los cálculos presentados. Aunque, para las boquillas de alta descarga, posiblemente parte del volumen aplicado con el doble pase se escurre, lo cual podría indicar que la capacidad de retención de las hojas de espinaca es limitada luego que se presente escurrimiento. Este comportamiento concuerda con los estudios de Panneton et al. (2000), Beinum y Beulke (2010).

3.2.4 Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método de los colectores

En la tabla 33, se presentan los resultados de significancia estadísticas obtenidas a partir del ANOVA multifactorial, para los resultados de los colectores que se ubicaron por el envés de las hojas. Entre tanto, al igual que en el ensayo 1, la variable porcentaje de recubrimiento, será analizada con las variables respuesta del método del trazador fluorescentes, ya que esta variable no se le impuso ninguna limitación.

Ahora, antes de efectuar cada uno de los ANOVAS se evaluó el cumplimiento de la hipótesis del modelo mediante las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, y la prueba de homocedasticidad de Levene. Así pues, En el caso de las variables D_{V10} , D_{V50} y SPAN fue necesario realizar una transformación logarítmica (con base 10), y en el caso de la densidad de gotas se transformaron los datos por la raíz cubica. Para D_{V90} y q de Rosin-Rammler, se cumplieron las hipótesis del modelo. En el anexo 2.1, se presentan de estas comprobaciones.

Tabla 33. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN, q de Rosin-Rammler y la densidad de gotas de los colectores del ensayo 2. El nivel de confianza es del 95%.

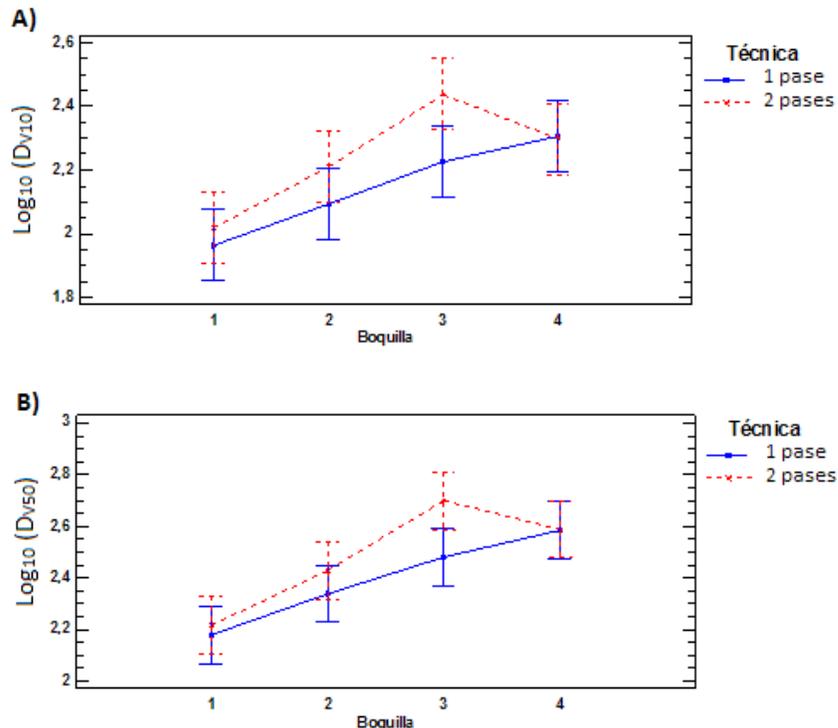
FACTOR	D_{V10}		D_{V50}		D_{V90}		SPAN		q		Densidad de gotas	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
A: Boquilla	11,503	,000	11,765	,000	13,260	,000	,584	,629	6,826	,001	1,089	,365
B: Técnica	4,084	,050	2,548	,119	2,158	,150	,243	,625	1,678	,203	,010	,921
D: Repetición	,231	,634	,277	,602	,766	,387	,732	,397	,072	,790	,588	,448
INTERACCIONES												
AB	1,043	,384	,746	,531	,811	,496	,601	,618	,619	,607	,270	,846

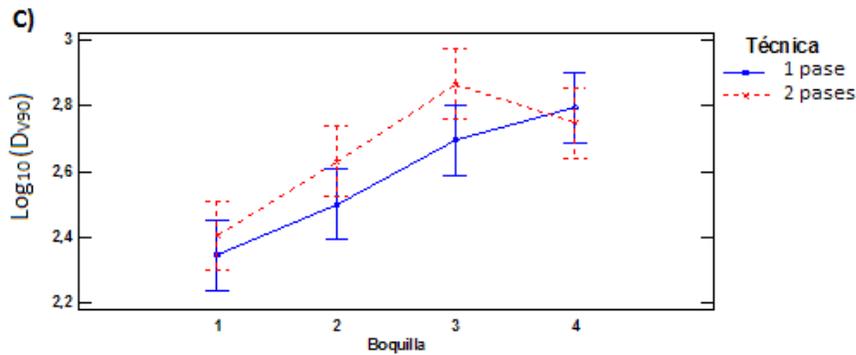
En la tabla 33, se observa que el tipo de boquilla influye significativamente sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , y el coeficiente q de Rosin-Rammler. En contraste la técnica de aplicación, no tiene efecto significativo sobre las variables. En cuanto a las variables SPAN y densidad de gotas, los factores boquilla y técnica de aplicación no resultaron ser significativos. Lo cual, puede ser atribuido, en el caso de la densidad de gotas, a la alta variabilidad de los datos, ya que, en la tabla 31 se observa que los coeficientes de variación están dentro de un rango del 67,7%, al 134,3%.

Por último, el factor repetición no tiene efecto significativo sobre las variables, por lo cual no tienen incidencia sobre las variables analizadas.

▪ **Comportamiento de los tamaños representativos**

Figura 62. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para los tamaños representativos de los colectores del ensayo 2. A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} . Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



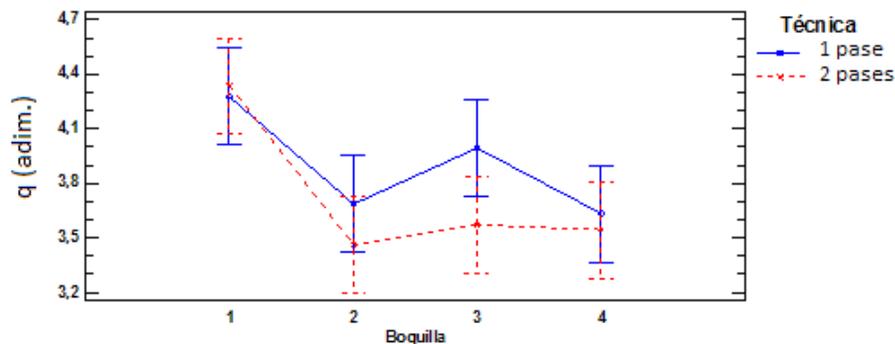


En las figura 62.A, 62.B y 62.C, se presenta el efecto de la interacción entre factores para el tamaño representativo, y al confrontar los intervalos LSD, se observa que para uno y dos pases, el tamaño medio de la boquilla 1 es significativamente menor que el tamaño de medio de las boquillas 3 y 4. Además, para un pase, en las tres figuras se observa que el tamaño medio de la boquilla 2 es significativamente menor que el tamaño medio de la boquilla 4, pero entre las boquillas 3 y 4, no se presentan diferencias significativas. Estos comportamientos corresponden con lo esperado, pues la boquilla 1 es de gota muy fina, la boquilla 2 es de gota fina y la boquilla 4 de gota gruesa.

Por otra parte, se puede apreciar que la técnica de aplicación no es una variable que afecte significativamente a los tamaños representativos. Lo cual puede indicar que un aumento en la tasa de aplicación, no tiende a generar un aumento en el tamaño de las gotas por el envés.

▪ **Comportamiento de la q de Rosin-Rammler**

Figura 63. Interacción entre los factores boquilla y técnica de aplicación para la variable q de Rosin-Rammler de los colectores del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



En la figura 63 se muestra el comportamiento de q con respecto a las boquillas y las técnicas de aplicación, y se observa que para dos pases, la media de q de la boquilla 1 es significativamente mayor que las medias de las boquillas 2, 3 y 4. Ahora, para un pase, la media de la boquilla 1 es significativamente mayor que la media de las boquillas 2 y 4. Por otro lado, se observa que las boquillas 2, 3 y 4, no presenta diferencia significativas entre sí. Lo cual puede indicar que una boquilla 1, de gota muy fina tiende a generar un patrón de distribución de tamaños más uniforme por en el envés de las hojas que las boquillas de gota media y gruesa. Este comportamiento concuerda con lo reportado Barber et al. (2003).

3.2.5 Análisis de variabilidad de los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del método del trazador fluorescente

Se usó un ANOVA multifactorial para determinar el efecto de los factores en estudio sobre las variables respuesta. Ahora, para el cumplimiento de las hipótesis del modelo, el caso de las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , SPAN fue necesario realizar una transformación logarítmica (con base 10), y las variables densidad de manchas, porcentaje de recubrimiento para las hojas y los colectores se transformaron por la raíz cubica. En el anexo 2.2, se presentan estas comprobaciones.

En las tablas 34 y 35, se presentan los resultados de significación estadística obtenidos a partir de ANOVA multifactorial para cada una de las variables. En el anexo 2.2, se pueden consultar los análisis de las varianzas en su totalidad.

Tabla 34. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} y SPAN del ensayo 2. El nivel de confianza es del 95%.

FACTOR	D_{V10} manchas		D_{V50} manchas		D_{V90} manchas		SPAN manchas	
	F	P	F	P	F	P	F	P
A: Boquilla	117,052	<u>,000</u>	115,729	<u>,000</u>	78,606	<u>,000</u>	4,948	<u>,003</u>
B: Técnica	9,551	<u>,003</u>	12,090	<u>,001</u>	13,126	<u>,001</u>	1,708	<u>,195</u>
C: superficies	108,770	<u>,000</u>	164,918	<u>,000</u>	192,330	<u>,000</u>	45,195	<u>,000</u>
D: Repetición	,834	,364	2,808	,098	2,485	,119	,119	,731
INTERACCIONES								
AB	2,140	,102	,709	,550	,794	,501	1,184	,321
AC	2,307	,083	1,205	,314	,463	,709	2,812	<u>,045</u>
BC	,261	,611	,491	,485	1,991	,162	3,451	,067
ABC	1,256	,296	,481	,696	,554	,647	,833	,480

Tabla 35. Significancia estadística de cada uno de los factores y sus interacciones sobre las variables q, densidad de manchas, y porcentaje de recubrimiento de las hojas y los colectores del ensayo 2. El nivel de confianza es del 95%.

FACTOR	q		Densidad de Manchas		Recubrimiento de hojas		Recubrimiento de colectores	
	F	P	F	P	F	P	F	P
A: Boquilla	10,479	<u>,000</u>	3,907	<u>,012</u>	42,770	<u>,000</u>	27,991	<u>,000</u>
B: Técnico	,231	,632	5,383	<u>,023</u>	18,311	<u>,000</u>	7,865	<u>,006</u>
C: superficies	,055	,815	132,592	<u>,000</u>	297,712	<u>,000</u>	168,255	<u>,000</u>
D: Repetición	1,406	,239	,754	,388	,759	,386	,330	,567
INTERACCIONES								
AB	,393	,759	0,865	,463	1,001	,397	,435	,729
AC	1,230	,304	,189	,904	7,413	<u>,000</u>	2,343	,079
BC	,000	,994	1,670	,200	,100	,753	1,406	,239
ABC	1,977	,124	0,270	,847	,627	,600	,323	,809

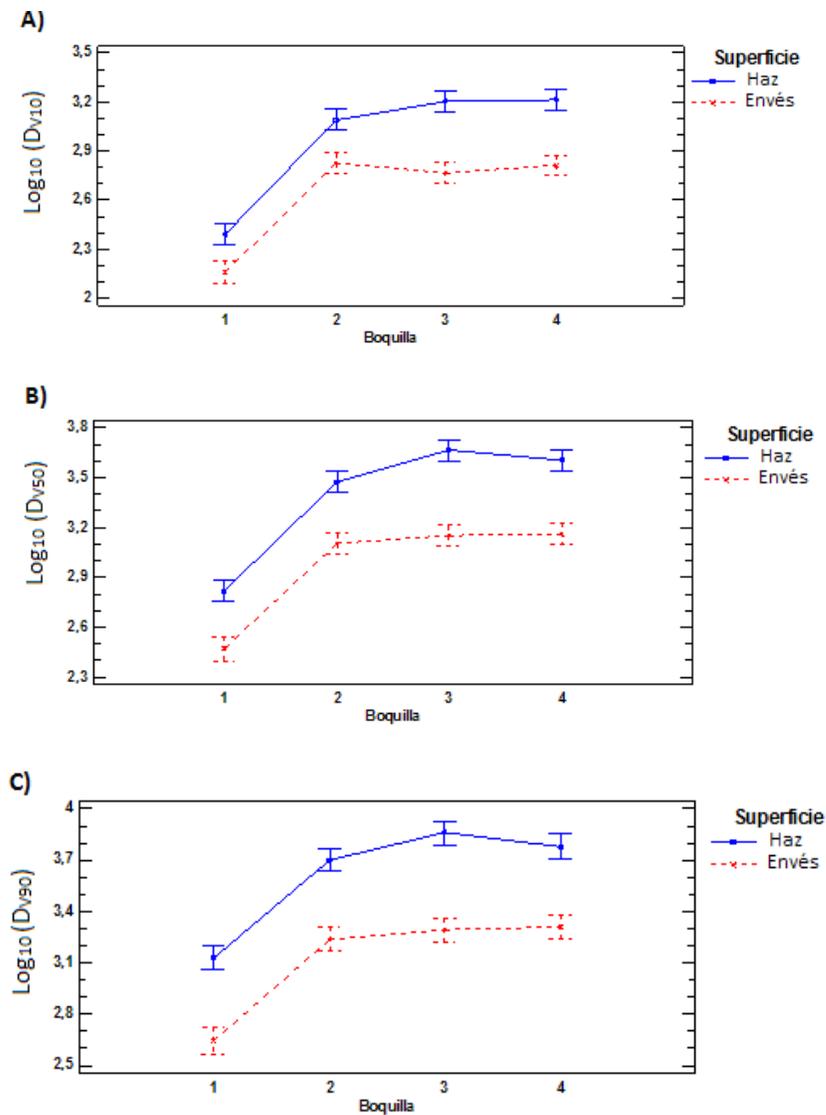
En la tabla 34, se aprecia que los factores boquilla, técnicas de aplicación y superficies de la hoja influyen significativamente en los tamaños representativos D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} . En cambio, el SPAN solo se ve influenciado significativamente por los factores boquilla y superficies de la hoja.

Ahora, en la tabla 35, se observa que los factores boquilla, técnicas de aplicación y superficies de la hoja influyen significativamente sobre las variables densidad de manchas, porcentaje de recubrimiento en las hojas y porcentaje de recubrimiento en los colectores. Por su parte, el coeficiente q de Rosin-Rammler, solo se ve influenciado por el factor boquilla. En cuanto al factor repeticiones, se observa en las tabla 34 y 35, que este factor no tuvo efecto significativo sobre ninguna variable.

Por otra parte, para visualizar el efecto de los factores principales y de sus interacciones se emplearon las gráficas de interacción con intervalos LSD, tal como se hizo en el ensayo 1.

▪ **Comportamiento de los tamaños representativos**

Figura 64. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para los tamaños representativos de las manchas sobre las hojas del ensayo 2. A) D_{V10} ; B) D_{V50} ; C) D_{V90} . Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



En las figuras 64.A, 64.B y 64.C, se tiene que al confrontar los intervalos LSD, se observan tres situaciones de interés:

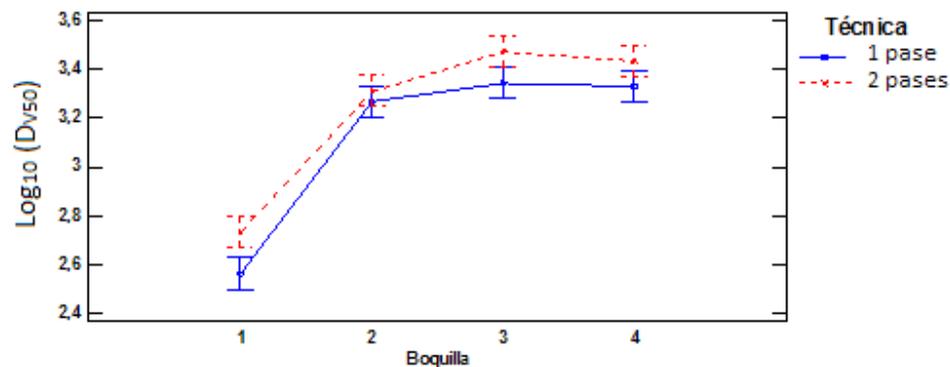
Primera: Se observa que para las cuatro boquillas, por el haz, los tamaños representativos D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} tiene tamaños medios significativamente mayores que los tamaños medios que obtienen por el envés. Este comportamiento concuerda con lo visto en el ensayo 1, y lo reportado por Garavito y Riveros (2003).

Segunda: En la figura 64.B, se observa que por el haz se presenta una relación entre el tamaño de D_{V50} y el caudal aplicado. Ya que, la boquilla 3 con un caudal promedio de 1,382 L/min, tiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente mayor que la boquilla 1, con un caudal promedio de 0,258 L/min. Igualmente, la boquilla 2 con un caudal promedio de 0,379 L/min, obtiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente mayor que la boquilla 1, con un caudal promedio de 0,259 L/min. Este comportamiento concuerda con los esperado y lo visto en el ensayo 1. Ahora, las boquillas 3 y 4, no se presenta diferencias significativas, lo puede estar causado porque estas boquillas tienen caudales similares.

Tercera: Por el envés, se observa se observa que los tamaños medios de D_{V10} , D_{V50} y D_{V90} , de la boquilla 1 son significativamente menores que los tamaños medios de las boquillas 2, 3 y 4. Lo cual corresponde con lo esperado.

Por otro lado, para observa el efecto la técnica de aplicación, para cada una de las boquillas se seleccionó el caso más característico. Ya que, los tamaños representativos siguen las mismas tendencias.

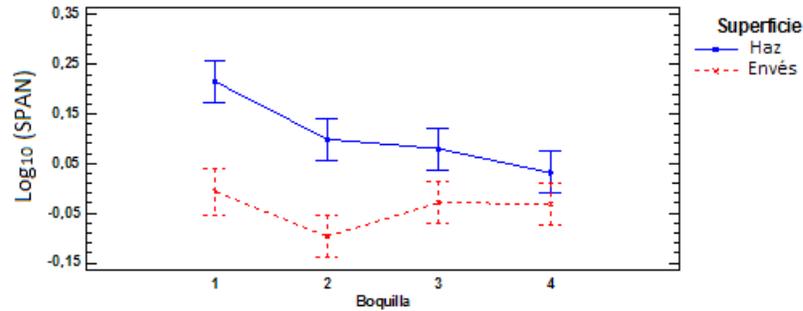
Figura 65. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para D_{V50} . Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



En la figura 65, al confrontar los intervalos LSD, se tiene que cuando se aplican dos pases, con la boquilla 1, obtiene un tamaño medio de D_{V50} significativamente mayor que cuando se aplica un pase. Lo cual puede indicar que para la boquilla 1, un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento en D_{V50} y por consiguiente en D_{V10} y D_{V90} . No obstante, se considera que este aumento es productor del traslape de manchas, más que del aumento real del tamaño de la gota.

- **Comportamiento de SPAN**

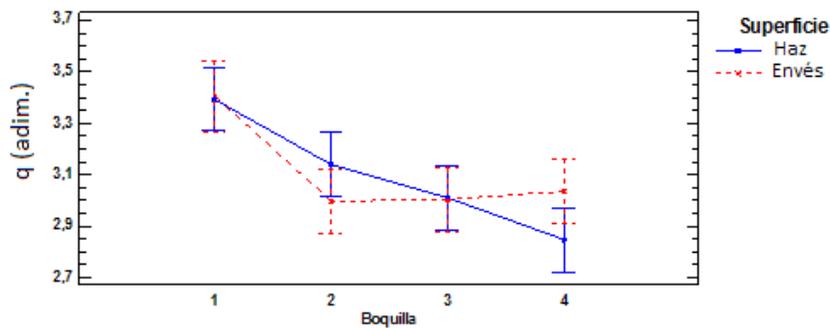
Figura 66. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el SPAN del espectro de manchas del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



Al examinar los intervalos LSD en la figura 66, se observa que para las boquillas 1, 2 y 3 (todas de cono hueco), el SPAN, obtiene valores medios significativamente mayores por haz de las hojas que por el envés. Lo cual indica que por el haz, las boquillas de cono hueco obtiene una mayor dispersión de tamaños que por el envés de las hojas. En cuanto, al envés, se observa que no hay diferencias significativas entre las boquillas. Lo cual concuerda con lo observado en el ensayo 1, y puede ser atribuido a que por el envés, habitualmente se depositan una menor cantidad de gotas, razón por la cual se tendrá una menor dispersión de tamaños.

- **Comportamiento del coeficiente q de Rosin-Rammler**

Figura 67. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para el coeficiente q de Rosin-Rammler de las manchas sobre las hojas del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



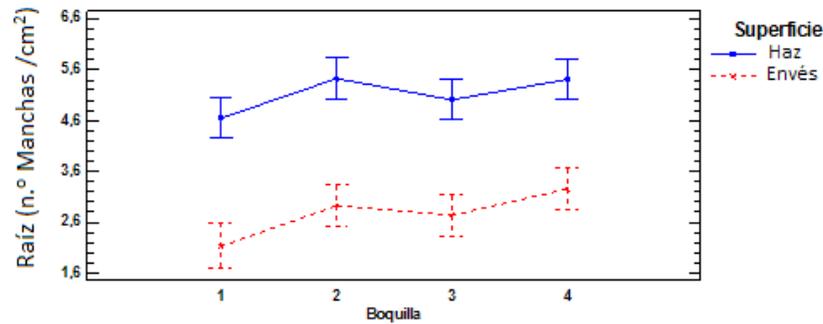
En la figura 67, se muestra la interacción los factores para el coeficiente q de Rosin-Rammler, y se observa que la boquilla 1 posee los mayores valores medios de q, los cuales son significativamente diferentes con los valores medios de q de las boquillas 2, 3 y 4. Lo cual puede indicar, que la boquilla de gota muy fina, tienen una distribución de tamaños más uniforme. Lo cual concuerda con reportado por Barber et al. (2003).

Por otro lado, en la figura 67 se observa que los valores de q, están entre 2,7 y 3,7. Lo cual muestra que los valores de q se encuentran dentro del rango señalado por Lefebvre (1989), como típico para las distribuciones de tamaños producidos por las boquillas hidráulicas. Entre tanto, se tiene por el haz, el valor medio de q (2,84) para la boquilla 4, es un tanto menor que el

valor de $q(3,2)$ reportado por Baetens (2009), para boquillas de abanico plano, con un tasa de 1,2 L/min, a 3 bares. Esta discrepancia puede ser atribuida, a que la presión de operación de la pulverizadora de espalda fue menor (de 2 a 2,4 bares).

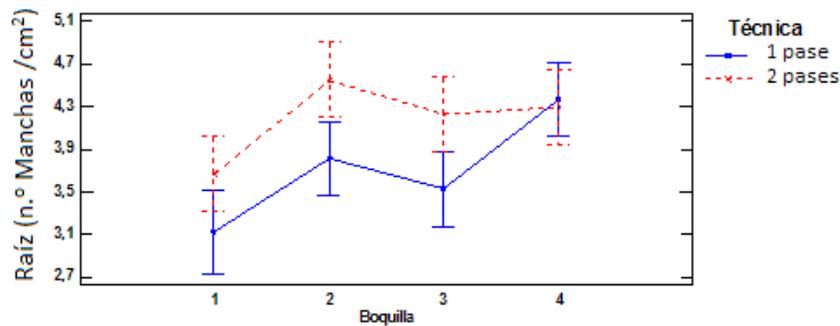
▪ **Comportamiento de la densidad de manchas**

Figura 68. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable densidad de manchas del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



Revisando los intervalos LSD en la figura 68, se observa que por el haz de las hojas, la densidad de manchas es significativamente mayor que la densidad de manchas por el envés. Lo cual concuerda con lo esperado, y lo reportado por Garavito y Riveros (2003). Ahora, por el haz, se observa que las boquilla 2 y 4 tienen una densidad de manchas media significativamente mayor que la boquilla 1. Mientras, por el envés se observa que la boquilla 1 tiene una densidad de manchas media significativamente menor que la densidad de manchas media de las boquillas 4. Este comportamiento no corresponde con lo esperado, pues se esperaba una mayor cantidad de impactos con la boquilla 1. Una explicación a este comportamiento es que las pulverizaciones hechas estuvieron sujetas al fenómeno de la deriva, ya que esta boquilla genera un espectro de gotas de tamaño muy fino. Además, hay que tener en cuenta que no está cayendo el mismo volumen, pues son diferentes las tasas de aplicación.

Figura 69. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable densidad de manchas del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.

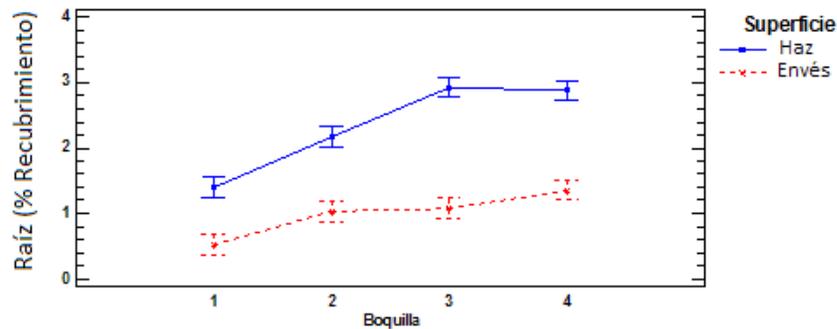


En la figura 69, se observa que para la boquilla 2, se tiene una densidad de manchas media significativamente mayor cuando se aplican dos pases que cuando se aplica un pase. Lo cual

puede indicar que para la boquilla 2, un aumento en la tasa de aplicación ocasiona un aumento del número de manchas por unidad de área.

▪ **Comportamiento del porcentaje de recubrimiento de la las hojas**

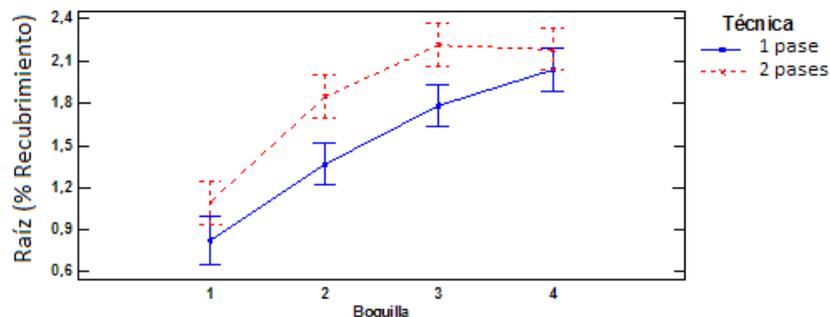
Figura 70. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



En la figura 70, se presenta la interacción entre los factores, y al examinar los intervalos LSD, se observa que el porcentaje de recubrimiento por el haz de las hojas es significativamente mayor que el porcentaje de recubrimiento por el envés. En cuanto al porcentaje de recubrimiento por el haz de las hojas, se tiene que las boquillas 3 y 4 tienen un recubrimiento significativamente mayor que la boquilla 2, y la boquilla 1, pero entre las boquillas 3 y 4 no hay diferencias significativas. Mientras tanto, la boquilla 2 tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor la boquilla 1. Este comportamiento indica que a mayor caudal aplicado se produce mayor recubrimiento. Lo cual, concuerda con lo esperado y con lo reportado por Derksen et al. (2001), Derksen et al. (2007a) y Olivet(2009).

Entre tanto, por el envés se observa que la boquilla 2 tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente menor que la boquilla 4, y de igual forma, la boquilla 1 tiene un valor de recubrimiento medio significativamente menor que las otras boquillas. Lo cual indica que las boquillas de gota media y gruesa lograron mejores porcentaje de recubrimiento por el envés de las hojas de espinaca. Ahora, una explicación plausible a este comportamiento fue presentado en el numeral 3.1.5 del ensayo 1.

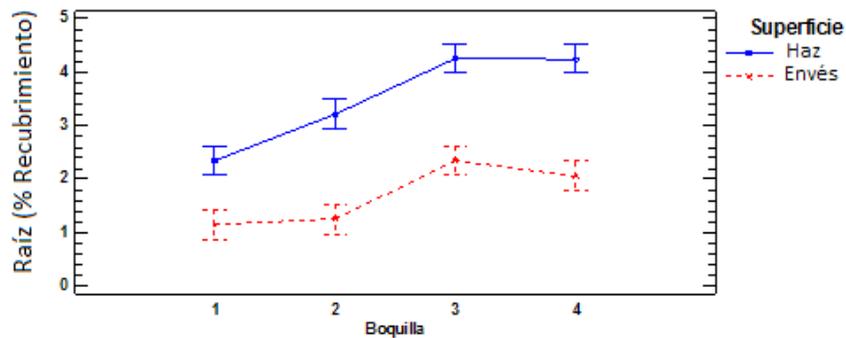
Figura 71. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de las hojas del ensayo 1. Se muestra el intervalo LDS para un nivel de confianza del 95%.



Por otra parte, al confrontar los intervalos LDS en la figura 71, se observa que las boquilla 2 y 3, para dos pases, tiene un porcentaje de recubrimiento medio mayor que cuando se aplica un pase. Lo cual indica que, salvo para las boquillas 2 y 3, un aumento en la tasa de aplicación, no necesariamente llega a ocasiona un aumento significativo en el porcentaje de recubrimiento. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Olivet(2009).

▪ **Comportamiento del porcentaje de recubrimiento de los colectores**

Figura 72. Interacción entre los factores boquilla y superficies de la hoja para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 2. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.

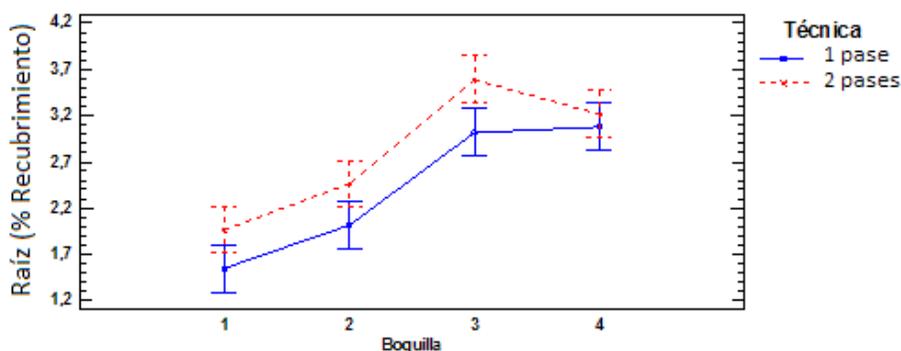


Al examinar el comportamiento descrito por los intervalos LSD en la figura 72, se aprecia que los colectores que se ubicaron el haz de las hojas obtuvieron un porcentaje de recubrimiento significativamente mayor que los colectores que se ubicaron el envés.

Ahora, por el haz, se observa que la boquilla 2 tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor que la boquilla 1, y de igual forma, las boquillas 3 y 4 presentan un porcentaje de recubrimiento medio significativamente mayor que las boquillas 2 y 1. Este comportamiento concuerda con lo observado en el porcentaje de recubrimiento de las hojas, por lo cual corrobora que a mayor tasa de aplicación se produce mayor recubrimiento.

En cuanto al envés, se observa la presencia de dos grupos con características similares. Un grupo lo conforman las boquillas 1 y 2 (de baja descarga), entre las cuales no hay diferencias significativas. Pero este grupo tiene un porcentaje de recubrimiento medio significativamente menor que el grupo dos, el cual lo conformado por las boquillas 3 y 4 (de alta descarga), entre las cuales no hay diferencias significativas. Este comportamiento corrobora que por el envés de las hojas de espinaca se lograron mejores porcentaje de recubrimiento con las boquillas de gota media y gruesa.

Figura 73. Interacción entre los factores boquilla y técnicas de aplicación para la variable porcentaje de recubrimiento de los colectores del ensayo 1. Se muestra el intervalo LSD para un nivel de confianza del 95%.



En la figura 73, se observa que la boquilla 3 tiene un porcentaje de recubrimiento significativamente mayor cuando se aplican los dos pase, que cuando se aplica un pase. Este comportamiento indica que para la boquilla 3, un aumento en la tasa de aplicación, ocasiona un aumento en el porcentaje de recubrimiento. Lo cual, concuerda con lo observado en el numeral anterior.

3.2.6 Discusión: Selección de la boquilla y del tratamiento adecuado.

En este ensayo la plaga a controlar es el **Minador** (*Liriomyza huidobrensis* Blanchard), y para su control normalmente se usan dos tipos de insecticidas. Ya que, para controlar la larva, la cual es la que causa el mayor daño, se deben usar insecticidas sistémicos, pues esta se ubica en el parénquima de las hojas. Pero cuando se quiere controlar el adulto, conviene usar un producto de contacto, pues esta plaga está en movimiento entre las hojas, y puede ser controlada más fácilmente con este tipo de insecticidas.

Ahora, si lo que se quiere hacer es un control preventivo (situación que se presentó en este ensayo), se debe tener en consideración, a la larva y al adulto. Por lo cual, la técnica de aplicación que se use, debe permitir el control de ambos. Así que, con base en los resultados obtenidos y teniendo a las variables respuesta del método de los colectores y el método del trazador fluorescente como parámetros de selección, se tiene que:

La selección del tamaño de gota a usar, se hará con base en los resultados obtenidos del método de los colectores. Ahora bien, según las recomendaciones de Hipkins et al. (2009), para aplicar un insecticida de contacto se usen boquillas con un DMV entre 226 μm y 325 μm (ver tabla 7). Así que, las boquillas 2 y 3 serían las indicadas. No obstante, el uso de gotas finas es más recomendado (Grisso et al., 2013; Matthews, 2004; Johnstone, 1973; Teiseira, 2010), ya que estas favorecen el recubrimiento y penetran mejor en los cultivos, por lo que Anaya y Romero (1999), sugieren un tamaño de gota alrededor de 200 μm . La boquilla 1 (DMV=162,2 μm) y la boquilla 2 (DMV = 234 μm) presenta valores cercanos a 200 μm , pero no hay una diferencia significativa entre ellos.

Por otra parte, algunos autores (Grisso et al., 2013; Bost et al., 2005; Anaya y Romero, 1999) recomiendan emplear boquillas de cono hueco para aplicar fungicidas e insecticidas.

Entre tanto, en la tabla 4, se establece que para un insecticida de contacto la densidad de gotas mínima requerida es de 40 a 50 gotas/cm², y para un insecticida sistémico es de 20 a 30 gotas/cm². No obstante, se tomara como rango mínimo 40 a 50 gotas/cm², para garantizar el doble efecto. Para este rango, en los colectores se tiene que las cuatro boquillas, para uno y dos pases, por el envés presentan un número de gotas por unidad de superficie superior al rango al mínimo. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas, por lo cual no se tiene en cuenta como parámetro de selección. En cuanto, a la densidad de manchas, se tiene que por el haz, las 4 boquillas, para uno y dos pases, lograron un número de manchas por unidad de superficie mayor al rango mínimo. Sin embargo, las boquillas 2 y 4 presentaron una densidad de manchas significativamente mayor que la boquilla 1. Entre tanto, por el envés, la boquilla 1, presenta un número de manchas menor al rango mínimo, para uno y dos pases.

Con respecto a los parámetros de uniformidad se tiene que en el método de los colectores el SPAN no presento diferencias significativas, y el coeficiente q de Rosin-Rammler reporta que la boquilla 1, tiene una distribución de tamaños más uniforme. De igual forma, el coeficiente de q de Rosin-Rammler de las manchas indica que la boquilla 1 tiene una distribución de tamaños uniforme.

Ahora, retomando las pautas de referencia del ensayo 1, para el porcentaje de recubrimiento se tiene que; Para el método de los colectores, por el haz, las boquillas 3 y 4 tendrían un recubrimiento bueno, para uno y dos pases. Aunque estas boquillas obtuvieron recubrimientos excesivos (mayor al 60%), y en algunos casos, cerca al punto de saturación, con señales de escurrimiento en las hojas. Entre tanto, la boquilla 1 presento un recubrimiento malo para un pase (8,8%) y aceptable para dos pases (21,1%), y la boquillas 2, que es significativamente mayor a la boquilla 1, tiene un recubrimiento bueno (44,5%) para dos pases, y aceptable (25,6%) para un pase.

Con respecto al envés se observa que cuando se aplican los dos pases, la boquilla 3 tiene un recubrimiento (22,9%) aceptable, y este recubrimiento es significativamente mayor al recubrimiento (8,8%) malo presentado por esta boquilla cuando se aplica un pase. Por otra parte, se tiene que las boquillas de baja descarga (boquillas 1 y 2) presenta un recubrimiento malo por el envés.

En cuanto al porcentaje de recubrimiento de las hojas, se considera que por el haz, las boquillas 3 y 4 presentan un buen recubrimiento en todos los caso, pero se destaca una diferencia significativa entre uno y dos pases para la boquilla 3. De igual forma, la boquilla 2 obtiene un recubrimiento (13,4%) significativamente mayor cuando se aplican los dos pases. En cuanto a la boquilla 1, esta presenta recubrimientos bajos por el haz, y malos por el envés. Ahora, cuando se aplican los dos pases, las boquillas 2, 3 y 4 obtuvieron recubrimientos insuficientes por el envés.

Por lo mencionado antes se considera que las boquillas 2 y 3, de cono hueco, con la técnica de aplicación de dos pases, la mejor opción para la aplicación del insecticida sobre un cultivo de espinaca. Sin embargo, la boquilla de cono hueco TX- Royal condor, presenta el DMV y la densidad de manchas indicadas para la aplicación, además los recubrimientos logrados en los colectores fueron buenos, con una menor tasa de aplicación que la boquilla 3. Por lo cual, se considera como la opción ideal.

3.3 ANÁLISIS DE CORRELACIONES

Para averiguar si entre los parámetros de evaluación de la calidad de aplicación hay alguna relación, se realizó un análisis de correlación por medio del coeficiente de rho de Spearman. Ahora, de igual forma que en las secciones anteriores, para el método de los colectores de papel hidrosensible solo se consideran los colectores que se ubicaron por él en envés de las hojas, y la variable porcentaje de recubrimiento en los colectores, será estudiada con las variables del método del trazador fluorescente.

3.2.7 Análisis de correlaciones para el ensayo 1

Tabla 36. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables de los colectores del ensayo 1.

	D_{V10} gotas	D_{V50} gotas	D_{V90} gotas	SPAN gotas	q	Densidad de gotas
D_{V10} gotas	1,000	,908**	,827**	-,158	-,533**	,401*
D_{V50} gotas		1,000	,937**	-,034	-,607**	,416**
D_{V90} gotas			1,000	,196	-,521**	,459**
SPAN gotas				1,000	,052	,234
q					1,000	-,149
Densidad de gotas						1,000

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

En la tabla 36, se observa que entre D_{V10} y D_{V50} , D_{V10} y D_{V90} , D_{V50} y D_{V90} , se tiene un alto valor del coeficiente de correlación, lo cual resulta coherente, pues estos parámetros son estimados a partir de la misma población de datos.

En cuanto a los tamaños representativos (D_{V10} , D_{V50} y D_{V90}) y el coeficiente q de Rosin-Rammler se aprecia una correlación negativa, lo cual se traduce en que cuanto más grandes sean los tamaños representativos, mayor será la dispersión de los tamaños de gota, ya que menor será el valor de q. Esta relación concuerda con lo mencionado por Salyani (2003), el cual indica que las pulverizaciones con gotas finas son más uniformes.

Por otro lado, se observa que existe una correlación baja, pero positiva entre el D_{V50} y la densidad de gotas, lo cual indica que a mayor tamaño de D_{V50} , mayor densidad de gotas, lo cual es contrario a la teoría. Sin embargo, el hecho de que estén llegando a los colectores más gotas con mayor tamaño, es porque está cayendo un mayor volumen, pues el volumen de líquido aplicado no es el mismo para todos los ensayos. Por ejemplo, para las boquillas de mayor tamaño de gota, se tienen las mayores tasas de aplicación.

Tabla 37. Resumen de las correlaciones derho de Spearman para las variables del método del trazador fluorescente y el porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 1.

	D _{V10} manchas	D _{V50} manchas	D _{V90} manchas	SPAN manchas	q	Recubrimiento de hojas	Densidad de Manchas	Recubrimiento de colectores
D _{V10} manchas	1,000	,987**	,968**	,004	-,760**	,929**	,649**	,760**
D _{V50} manchas		1,000	,983**	,052	-,755**	,931**	,683**	,781**
D _{V90} manchas			1,000	,181	-,699**	,954**	,749**	,785**
SPAN manchas				1,000	,269*	,200	,500**	,064
q					1,000	-,601**	-,296**	-,585**
Recubrimiento de hojas						1,000	,821**	,780**
Densidad de Manchas							1,000	,613**
Recubrimiento de colectores								1,000

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

En cuanto, a las variables del método del trazador fluorescente, en la tabla 37, se observan correlaciones positivas entre D_{V10} y D_{V50}, D_{V10} y D_{V90}, D_{V50} y D_{V90}. También, se observa una correlación negativa entre el coeficiente q de Rosin-Rammler y los tamaños representativos de las manchas. Ahora, estas relaciones fueron explicadas previamente, y es razonable que se presenten estas analogías, pues se están evaluando los mismos ensayos, con las mismas características.

De igual forma, es coherente que se presente la correlación positiva entre el D_{V50} de las manchas y la densidad de manchas, ya que también está cayendo más volumen sobre las hojas.

Entre tanto, se aprecia una alta correlación positiva entre el porcentaje de recubrimiento en las hojas y el D_{V50} de las manchas, como entre el porcentaje de recubrimiento en los colectores y el D_{V50} de las manchas. Lo cual no concuerda con la teoría. No obstante, es razonable que se estén presentado mayores porcentajes de recubrimiento, con mayores tamaños de D_{V50}, ya que está cayendo mayor volumen de líquido sobre las hojas, pues son diferentes las tasas de aplicación.

Por otra parte, se aprecia una correlación negativa entre el coeficiente q de Rosin-Rammler y el porcentaje de recubrimiento en las hojas y los colectores, lo cual indica que a mayor recubrimiento, mayor dispersión de tamaños de manchas, pues el valor de q es menor.

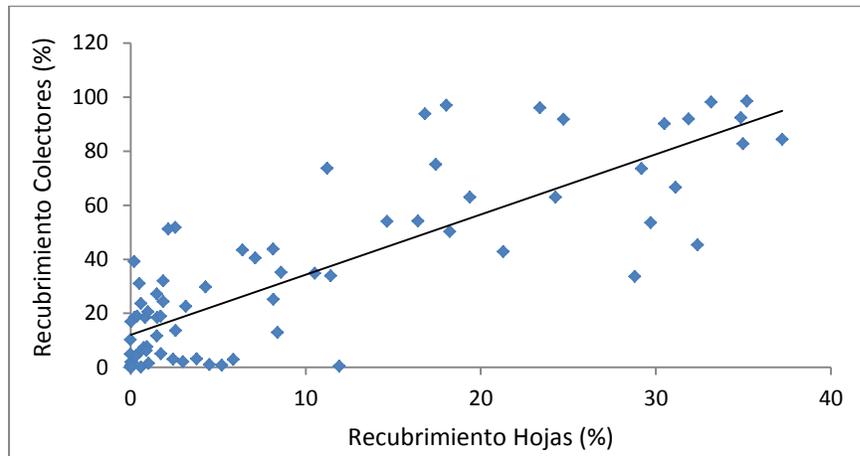
En la tabla 37, también se aprecia una alta correlación positiva entre la densidad de manchas y el porcentaje de recubrimiento en las hojas. Por lo tanto, a mayor cantidad de manchas por unidad de superficie (cm²), se obtiene un mayor recubrimiento en las hojas. Esta correlación concuerda con lo indicado por Teiseira (2010).

De igual forma, se aprecia que existe una alta correlación entre el porcentaje de recubrimiento en las hojas y el porcentaje de recubrimiento en los colectores. Lo cual puede indicar, que estos dos

parámetros están relacionados linealmente, así que, se realizó un regresión línea simple entre estos dos parámetros.

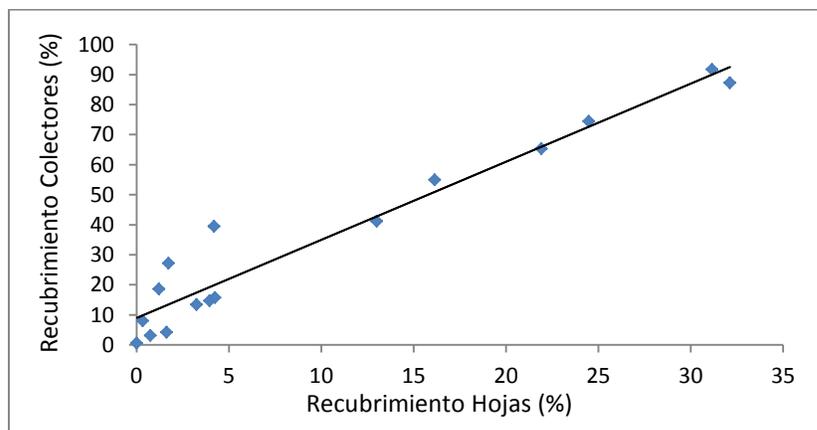
Entonces, con base en el análisis de regresión se puede afirmar que existe una relación lineal significativa ($P=0,000$) entre el porcentaje de recubrimiento de las hojas y el porcentaje de recubrimiento de los colectores. Además, el grado de ajuste ($R^2=0,679$) del modelo es bueno, pues explica el 67,9%. Esta relación concuerda con lo estudiado por Salyani y Whitney (1988), y se representa en la figura 75.

Figura 74. Diagrama de dispersión del recubrimiento en las hojas vs el recubrimiento en los colectores para el ensayo 1.



Ahora, si probamos el modelo lineal para los promedios del porcentaje de recubrimiento en las hojas y los colectores, se observa que el modelo lineal mejora, pues el coeficiente de determinación se incrementa ($R^2=0,930$), esto se ve con más claridad en la figura 75. En el anexo 3, se presentan los resultados de las regresiones realizadas.

Figura 75. Diagrama de dispersión de los promedios de recubrimiento en las hojas vs el promedio de recubrimiento en los colectores para el ensayo 1.



3.2.8 Análisis de correlaciones para el ensayo 2

Tabla 38. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables de los colectores del ensayo 2.

	D _{V10} gotas	D _{V50} gotas	D _{V90} gotas	SPAN gotas	q	Densidad de gotas
D _{V10} gotas	1,000	,959**	,933**	-,064	-,545**	,272
D _{V50} gotas		1,000	,970**	,038	-,534**	,327*
D _{V90} gotas			1,000	,164	-,457**	,415**
SPAN gotas				1,000	,272	,532**
q					1,000	,278
Densidad de gotas						1,000

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

En la tabla 38, se muestran las correlaciones encontradas para las variables de los colectores, y se observa que correlaciones positivas entre D_{V10} y D_{V50}, D_{V10} y D_{V90}, D_{V50} y D_{V90}. También se contempla la correlación negativa entre el coeficiente q de Rosin-Rammler y los tamaños representativos de las gotas, lo cual ratifica que las pulverizaciones con gotas finas son mas uniformes.

Por otro lado, de nuevo se aprecia correlación positiva entre el D_{V50} y la densidad de gotas, lo cual es coherente, ya que, al igual que en el ensayo 1, el volumen de líquido aplicado no es el mismo para todos los ensayos, pues las boquillas de mayor tamaño de gota son las de mayor tasa de aplicación.

Tabla 39. Resumen de las correlaciones de rho de Spearman para las variables del método del trazador fluorescente y el porcentaje de recubrimiento en los colectores del ensayo 2.

	D _{V10} manchas	D _{V50} manchas	D _{V90} manchas	SPAN manchas	q	Recubrimiento de hojas	Densidad de Manchas	Recubrimiento de colectores
D _{V10} manchas	1,000	,958**	,925**	-,019	-,568**	,811**	,520**	,656**
D _{V50} manchas		1,000	,971**	,081	-,501**	,871**	,606**	,706**
D _{V90} manchas			1,000	,260*	-,426**	,905**	,672**	,699**
SPAN manchas					,331**	,382**	,515**	,207*
q					1,000	-,358**	-,0145	-,278**
Recubrimiento de hojas						1,000	,826**	,744**
Densidad de Manchas							1,000	,617**
Recubrimiento de colectores								1,000

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

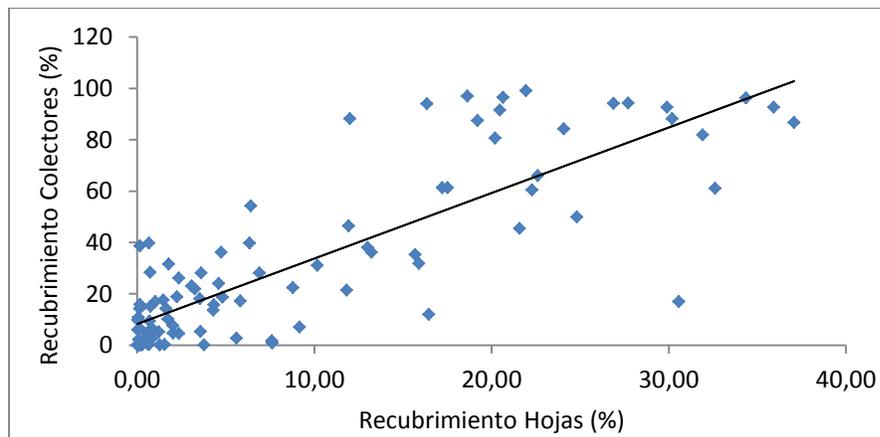
* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

De la misma forma que en el ensayo 1 en la tabla 39, se observa que una alta correlación positiva entre los tamaños representativos de las manchas, así como entre la densidad de manchas y el porcentaje de recubrimiento en las hojas. Por lo cual, se reitera que a mayor cantidad de manchas por unidad de superficie (cm^2), se obtiene un mayor recubrimiento en las hojas. También, se reitera que pulverizaciones con gotas finas son más uniformes, ya que se aprecia una correlación negativa entre la q de Rosin-Rammler y los tamaños representativos de las manchas.

Por otra parte, de nuevo se aprecia una alta correlación positiva entre el D_{V50} de las manchas y la densidad de manchas, y el D_{V50} con el porcentaje de recubrimiento en las hojas. Estas correlaciones están indicando que una mayor cantidad de manchas con tamaños más grandes, generan mayor recubrimiento.

Con respecto al alto valor del coeficiente de correlación entre el porcentaje de recubrimiento en las hojas y el porcentaje de recubrimiento en los colectores, se buscó determinar si existe una relación lineal, y para ello se realizó un análisis de regresión lineal simple, el cual corroboró que entre estos dos parámetros existe una relación lineal significativa ($P=0,000$). Por otra parte, el grado de ajuste ($R^2 = 0,693$) del modelo es bueno, pues explica el 69,3%. En el anexo 3, se incluyen los resultados.

Figura 76. Diagrama de dispersión del recubrimiento en las hojas vs el recubrimiento en los colectores del ensayo 2.



En resumen, de las regresiones probadas se resalta la presencia de una buena correspondencia entre el porcentaje de recubrimiento medido en las hojas y el porcentaje de recubrimiento medido en los colectores, lo cual indica que el método de los colectores de papel hidrosensible y el método cualitativo del trazador fluorescente, son métodos que tienen afinidad en cuanto a la cuantificación del recubrimiento.

3.4 CONSIDERACIONES GENERALES

Como se pudo observar en los apartados anteriores, algunos parámetros de evaluación de la calidad de aplicación del ensayo 1 y del ensayo 2 presentan similitudes, lo cual es debido a que

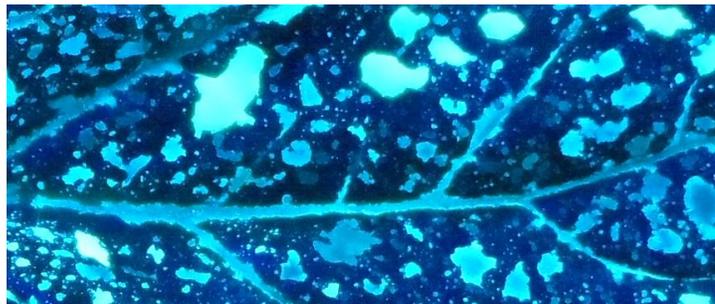
factores como las boquillas usadas, las técnicas de aplicación empleadas y el equipo de pulverización utilizado son los mismos para ambos ensayos. No obstante, diferencias como la época de siembra, el clima, el plan de fertilización, actividades de labranza y deshierbe aportan una variabilidad importante, por lo cual no se analizaron conjuntamente los ensayos 1 y 2.

En los dos ensayos realizados se observa una baja uniformidad de los parámetros de evaluación de las aplicaciones, pues la mayoría de los coeficientes de variación son altos. Este aspecto puede ser atribuido a dos razones: La primera es la eficiencia de operación de la pulverizadora de espalda manual, ya que estos equipos presentan una inestabilidad de consideración en la presión, lo cual es intrínseco al funcionamiento del equipo. La segunda es la incidencia del operario, pues este, es el encargado de mantener la presión de operación, la velocidad, la altura y posición de la lanza, y de acuerdo a Kromann et al. (2008), Rodríguez et al. (1994), Beltran et al. (1994), Garavito y Riveros (2003), factores como el adiestramiento, la fatiga, o el estado de ánimo influyen significativamente sobre la calidad de aplicación. Por ejemplo, se observa que la boquilla TX-Royal Condor para el ensayo 1 presentó un tamaño de gota medio, y en el ensayo 2, presentó un tamaño de gota fino, es comportamiento es atribuido a las dos razones expuestas.

Por otra parte, se observa que los coeficientes de variación del porcentaje de recubrimiento en las hojas, son más altos por el envés de las hojas, lo cual posiblemente se origina, por la dificultad que presentan los cultivos para que las gotas alcancen el envés de las hojas. Este comportamiento coincide con lo reportado por Magdalena (2004), Boller y Schosser (2010).

El aumento del volumen de aplicación afecto significativamente el porcentaje de recubrimiento logrado por las boquillas de cono hueco TX-Royal Condor y TeeJet TXA8004VK. Entre tanto, la boquilla TXA800050VK de cono hueco y la boquilla XR80004VS de abanico plano, presentaron diferencias en el recubrimiento, pero estas diferencias no afectaron significativamente el recubrimiento. En el caso de la boquilla TXA800050VK de baja descarga, este comportamiento pudo presentarse porque la variabilidad de los datos anulo la significación de las diferencias, y en el caso de la boquilla XR80004VS, al ser de alta descarga y de gota gruesa, presento perdidas por escurrimiento, lo cual posiblemente afecto el recubrimiento. Ya que, en los casos en donde se presentaron colectores con recubrimientos mayores al 80%, se observaron señales de escurrimiento en las hojas, en donde las gotas se iban acumulando sobre la hoja, hasta el punto de generar depósitos que se escurrían por las nervaduras de las hojas hacia el suelo. Por lo cual nunca se género una capa de líquido que mojara toda la superficie de la hoja. En la figura 50, se presenta una foto donde se ilustra este comportamiento.

Figura 77. Representación del fenómeno de escurrimiento en las hojas.



Paralelamente se observó que por el envés de las hojas de espinaca, se logran mayores porcentajes de recubrimiento con las boquillas de gota media y gruesa. Lo cual indica, que en condiciones de campo y con follajes poco densos, las boquillas de gotas media y gruesa logran depositar cantidades adecuadas de mezcla en esta superficie de la hoja.

También se obtuvo que el porcentaje de recubrimiento medido en los colectores tiene una relación directa (lineal) con el porcentaje de recubrimiento medido en las hojas de espinaca. Esta relación es muy importante, porque indica que la estimación del recubrimiento hecha por un método puede ser obtenida por el otro método. No obstante, los porcentajes de recubrimiento en las hojas fueron menores a los porcentajes de recubrimiento en los colectores, lo cual se explica, porque el fenómeno de retención de las gotas es un proceso muy complejo, en donde las particularidades de una superficie afectan el comportamiento de la retención de las gotas y la formación del depósito, lo que afecta también el factor de expansión. Además, se tomó una mayor área de estudio para las hojas, ya que estas eran más grandes que los colectores.

El coeficiente q de Rosin-Rammler permitió comprobar que la boquilla 1 (TXA800050VK) de gota muy fina, generan una distribución de tamaños de mancha más uniforme que las boquillas de gota media y gruesa. Lo cual se relaciona con lo reportado por Barber et al., (2003) y Salyani (2003). Además, gracias a que se ajustó adecuadamente a las poblaciones de manchas o impactos en los colectores, la función de Rosin Rammler permitió representar fácilmente la distribución de tamaños de gotas.

Desde el punto metodológico se pueden señalar los siguientes aspectos:

En esta tesis se corroboraron los inconvenientes de los colectores de papel hidrosensible con tasas de aplicación superiores a 500 L/ha. Ya que, todos los colectores que se ubicaron por el haz de las hojas presentaron recubrimientos superiores al 60%, lo cual, impidió evaluar correctamente el diámetro y el número de impactos, o manchas sobre los colectores, pues tenían muchas manchas sobrepuestas. Lo cual coincide con los trabajos de Magdalena (2004), Fox et al., (2001), Garavito y Riveros (2003). Sin embargo, para tasas de aplicación menores a 500 L/ha, estos colectores siguen siendo una buena herramienta para medir las gotas depositadas sobre la planta, luego de una pulverización.

No obstante, las técnicas de análisis de imagen para el método de los colectores de papel hidrosensible poseen ambigüedades en sus mediciones, ya que, no se tiene un consenso en pautas como el factor de expansión, la resolución de las imágenes, el software o los algoritmos para el procesamiento de las imágenes. Por ejemplo, de acuerdo con Cunha et al., (2011), Leiva y Araujo (2009), Marcal y Cunha (2008) y Fox et al., (2003), el mejor software, es el que mejor pueda individualizar cada una de las manchas, y en torno a esto, se han desarrollado varios softwares, los cuales, presentan grandes diferencias en los valores de parámetros como los tamaños característicos (D_{V10} , D_{V50} , D_{V90}), o el número de manchas por cm^2 . En cuanto a la resolución de las imágenes, se tiene que una resolución de 600 dpi, puede ser la opción más adecuada (Marcal y Cunha, 2008), pero una resolución de 1200 dpi permite una mayor precisión (Garavito y Riveros, 2003). Adicionalmente a esto, se reportan diferentes formas (Fox et al., 2001; Hoffmann & Hewitt, 2005, Zhu, et al., 2011; Garavito y Riveros, 2003) de estimar el factor de expansión, lo cual le aporta más variabilidad al método. Por lo cual se considera que parámetros como el número de manchas por cm^2 , y los tamaños característicos están sujetos a incertidumbres e imprecisiones. En contraste, el porcentaje de recubrimiento es un parámetro que sirve para determinar de manera sencilla y fiable la calidad de aplicación de los plaguicidas.

Ya que, al ser una estimación del área cubierta por las manchas en los colectores, no requiere de factores de corrección y ni se ve influenciado sustancialmente por las manchas sobrepuestas.

Por otro lado, el aumento del volumen de aplicación, producto de la aplicación del segundo pase, género que las boquillas 2 y 3 en el ensayo 1, y la boquilla 1 en el ensayo 2, presentaran tamaños medios de D_{V50} y D_{V90} significativamente mayores a los de un pase. No obstante, se considera que este aumento es producto de las manchas sobrepuestas, más que del aumento real del tamaño de las gotas. Pues como lo indica Jiang y Derksen (1995a), las manchas sobrepuestas, producto de como las gotas se expanden sobre las hojas, sesga la medición de parámetros como el tamaño de mancha y la densidad de manchas.

Entre tanto, se observó que los valores del coeficiente de regresión de la distribución de Rosin-rammler (q) para la distribución de tamaños manchas sobre las hojas están dentro del rango (2,7 a 3,7) señalado por Lefebvre (1989) como típico para las distribuciones de tamaños producidos por las boquillas hidráulicas.

Ahora, dado que se usan las hojas de espinaca como colectores, se requiere establecer una factor de expansión para estas. Lo cual es un ejercicio complejo, ya que según Cunha et al., (2011) y Castillo (2005), el factor de expansión depende de la tensión superficial, el ángulo de impacto, la energía de impacto y de las características superficiales del colector. De ahí que, este aspecto sea una limitación para el uso del método cualitativo de los trazadores fluorescentes, pues no se puede explicar en detalle las variaciones en los tamaños de las gotas.

De igual forma, el uso de las hojas como colectores para evaluar la cantidad de trazador depositado luego de una pulverización, resultó ser un asunto engorroso, ya que normalmente las hojas poseen partículas de polvo o tierra, y por lo tanto se requiere usar un proceso de decantación, el cual es demorado y tedioso.

Con respecto a las limitaciones del método del trazador fluorescente, la fotodegradación del trazador, resultó ser un factor determinante que aporta un error experimental considerable a la estimación de los depósitos, pues con base en los resultados de esta investigación, para 30 minutos de exposición solar, este factor está aportando un error del 18% en la estimación de la absorbancia. Ahora, si hubiera tomado más tiempo la recolección de las muestras, por ejemplo, 90 minutos. El error en la lectura de la absorbancia sería del 28,9%. Por lo cual, no se recomienda el uso del tinopal CBS-X, para evaluar la cantidad de trazador depositado.

Entre tanto, la metodología empleada para extraer el trazador depositado por el haz y el envés de las hojas, se considera que no tiene el grado de desarrollo necesario para proporcionar datos de alta calidad, ya que se presentaron varios datos atípicos. Lo cual es atribuido a que por error, se puede extraer parte del trazador depositado en la cara opuesta a la de estudio, cuando se realiza el lavado.

CONCLUSIONES

Para las condiciones en las que llevo a cabo este estudio, los resultados llevaron a las siguientes conclusiones:

El aumento del volumen de aplicación, producto de la aplicación del segundo pase, genero un aumento significativo en el porcentaje de recubrimiento logrado por las boquillas de cono hueco TX-Royal Condor y TeeJet TXA8004VK, pero el volumen aplicado con la boquilla TXA8004VK resulto ser excesivo, ya que se presentaron signos de escurrimiento por el haz de las hojas de espinaca.

La técnica de aplicación de dos pases con la boquilla TX-Royal Condor, de baja descarga y de gota fina presenta las mejores características para la aplicación de fungicidas e insecticidas de acción sistémica y de contacto con una pulverizadora de espalda de accionamiento manual. Estas características se manifiestan con la consecución de recubrimientos buenos por el haz, aceptables por el envés y una densidad de gotas adecuada.

El uso de una cámara fotográfica digital, junto con el programa de análisis de imagen "ImageJ", constituyen un sistema sencillo, práctico y eficaz para cuantificar el área cubierta y la distribución de los tamaños de las manchas sobre los colectores de papel hidrosensible y las hojas de espinaca luego de una pulverización.

En este estudio se observó que el método de los colectores de papel hidrosensible es adecuado para evaluar la calidad de aplicación con tasas de aplicación menores a 500 L/ha.

La correlación lineal entre el porcentaje de recubrimiento medido en las hojas y el porcentaje de recubrimiento medido en los colectores, indica que los métodos que tienen afinidad en la estimación del porcentaje de recubrimiento.

El uso de trazador tinopal CBS-X, a la concentración adoptada (10 g de trazador por litro agua) permitió obtener imágenes con un gran contraste de los depósitos secos de mezcla (agua + trazador + plaguicida) sobre las hojas de espinaca al ser expuestos a luz ultravioleta, o luz negra. Lo cual permitió realizar una evaluación relativamente simple y precisa de las características de la pulverización mediante el programa de análisis de imagen "ImageJ".

Para tasas de aplicación superiores a 500 L/ha, la evaluación del porcentaje de recubrimiento con un trazador fluorescente, resulta ser un método adecuado para evaluar la calidad de aplicación de una pulverización.

La fotodegradación del trazador fluorescente Tinopal CBS-X, aporta un error experimental considerable a la estimación de los depósitos, así que no se recomienda su uso.

En esta tesis se plantea un procedimiento para el uso de los trazadores fluorescentes, el cual servirá de punto de partida para futuras investigaciones, ya que los aciertos y desaciertos pueden servir para que otros obtengan datos de la más alta calidad que permitan una mejor comprensión de las pulverizaciones.

RECOMENDACIONES

Sería interesante desarrollar un estudio para determinar el algoritmo más adecuado para la umbralización de las imágenes y así obtener una imagen binaria con la mejor segmentación de las manchas sobre los colectores, sean estas naturales o artificiales.

Para estudios posteriores, sería deseable evaluar el efecto de control de los plaguicidas en relación con el porcentaje de recubrimiento, ya que esta relación permitiría determinar de manera sencilla y objetiva la calidad de un tratamiento.

En cuanto a las pulverizadoras de espalda, se recomienda la utilización de dispositivos como reguladores de presión, con el objetivo de mejorar la uniformidad de las gotas que está generando el equipo.

Es imprescindible efectuar estudios sobre las pérdidas que se llegan a generar por las pulverizaciones, y para ellos se puede emplear el método cuantitativo de los trazadores fluorescentes, pues permite estimar la cantidad de pulverizado que se deposita al interior de la masa vegetal y en el suelo.

Para poder evaluar el efecto de diferentes tasas de aplicación sobre los depósitos es necesario realizar una normalización de la concentración de trazador por unidad de superficie de terreno a pulverizar.

Para estudios posteriores, se recomienda usar un trazador que sea o no fotosensible a la luz solar, pues es la mejor forma de evitar los errores asociados a la fotodegradación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adams, A. J., Hall, F. R., Reichard, D. L., Aj, A., Fr, H., & DI, R. (1988). Effect of Interaction Between Nozzle Orientation and Crop Canopy Architecture Upon Distribution of Charged and Uncharged Spray Droplets. *ASTM STP 980*, 8, 155–171.
2. Akesson, N. B., & Yates, W. E. (1964). Problems relating to application agricultural chemicals and resulting drift residues. *Annu. Rev. Entomol.*, 9(May), 285–318. Retrieved from www.annualreviews.org/aronline.
3. Alfonso, S.Y., (2000). *Evaluación de la eficiencia física y biológica de diferentes técnicas de aplicación para el control de ácaros (tetranychus urticae Koch), en un cultivo de rosa (Rosa sp.)*. Tesis de pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional De Colombia - Bogotá.
4. Al-Gaadi, K. A. (2010). Effect of nozzle height and type on spray density and distribution for a ground field sprayer. *J. Saudi Soc. for Agric. Sci.*, 9(1), 1–22.
5. Al-Sarar, A. S. (2003). *The Impact Of The Variable Flow Rate Application System On Pesticide Dose-Transfer Processes And Development Of Resistance To Insecticides In Fall Armyworm Spodoptera Frugiperda (J.E. Smith)*. Ph.D. Thesis, EE. UU. Ohio State University - Ohio.
6. Anaya Rosales, S., & Romero Nápoles, J. (1999). *Hortalizas: plagas y enfermedades*. México, Trillas. 544 p.
7. ANDI. (2003). *Guías Ambientales para el Subsector de Plaguicidas*. (C. de la I. para la P. de C. ANDI, Ed.) ANDI (Primera., p. 104). Bogotá, Colombia.
8. Arauz Cavallini, Luis Felipe. 1998. Fitopatología: Un enfoque agroecológico. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica. p 470.
9. ASAE S327.2 FEB03. Terminology and Definitions for Agricultural Chemical Application. (2006). *ASABE STANDARDS*, 197–201.
10. Baetens, K. (2009). Development And Application Of Drift Prediction. Ph.D. Thesis. Nederlands, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, KU Leuven – Leuven.
11. Beinum, W. van, & Beulke, S. (2010). Collection and evaluation of relevant information on crop interception for the revision of the Guidance Document on Persistence in Soil (pp. 1–41). Sand Hutton YO41 1LZ York UK.
12. Barber, J. A. S., Parkin, C. S., & Chowdhury, A. B. M. N. . (2003). Effect of application method on the control of powdery mildew (*Bulmeria graminis*) on spring barley. *Crop Protection*, 22(Elsevier Science), 949–957. doi:10.1016/S0261-2194(03)00110-8
13. Barber, J.A.S., 2001. Development of assessment techniques to facilitate reduced dose pesticide applications, Ph.D. Thesis, UK. Cranfield University, Silsoe.
14. Barber, J.A.S., 2001. Development of assessment techniques to facilitate reduced dose pesticide applications, Ph.D. Thesis, Cranfield University, Silsoe, UK.
15. Bauer, F.C., & Raetano, C.G. (2000). Air-assisted boom sprayer and spray deposition on bean plants. *Scientia Agricola*, 60, 211–215.
16. Beltran, Y. R., Rodriguez, C. A., & Leiva, F. R. (1994). Evaluación de técnicas de aplicación de plaguicidas en un cultivo de estatiche (*limonium sinuatum mili*), en la sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 11(1), 73–82.

17. Benez, S. H., & Berton, R. S. (2004). Depósitos de calda obtidos com a aplicação aérea de defensivos na cultura da banana. *Bragantia*, 63(1), 121–128.
18. Bertola, V. (2008). Some Applications of Controlled Drop Deposition on Solid Surfaces. *Bentham Science Publishers Ltd.*, 1, 167–174.
19. Bierman, E. P. B., Brouwer, D. H., & Hemmen, J. J. V. A. N. (1998). Implementation and evaluation of the fluorescent tracer technique in greenhouse exposure studies. *Elsevier Science*, 42(7), 467–475.
20. Bócoli, M. A. (2009). *Quantifying the deposits from the cannon-type sprayer in the coffee (Coffea arabica L.) crop at conventional spacing*. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Sul de Minas Gerais, Muzambinho Campus, MG.
21. Boller, W. y Schlosser, J., 2010. “Consideraciones operativas de las boquillas pulverizadoras” en Magdalena, J. (comp), Tecnología de aplicación de agroquímicos. Argentina. CYTED.
22. Bost, S., Hale, F., Robinson, D., Straw, R. A., & Wills, J. (2005). *Commercial Vegetable Disease, Insect and Weed Control Guide Tennessee: The University of Tennessee*. p 157.
23. Caicedo, G.A., Ruiz, A. (1995). *Análisis de crecimiento y desarrollo para dos genotipos de espinaca (Spinacia oleracea L.) en variedad monstruosa de Viroflay y el híbrido 424*. Tesis de pregrado. Colombia, Departamento Agronomía, Universidad Nacional de Colombia - Bogotá.
24. Camacho Tamayo, J.H., 2000. Manejo y calibración de pulverizadoras terrestres. , pp.1–36.
25. Cañedo V., Alfaro A., Kroschel J. (2011). Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas. Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 48p.
26. Castaño Zapata, Jairo. 2002. Principios básicos de fitoepidemiología. Manizales, Colombia: Universidad de Caldas, Centro editorial. pp 398 (151-167)
27. Castillo, B., 2005. *Modelización de la pulverización de aceites minerales y su relación con el control del piojo rojo de California*. Tesis de doctorado. España. Departamento de mecanización y tecnología agraria. Universidad Politécnica de Valencia – Valencia.
28. Castillo, B., 2010. “Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas” en Magdalena, J. (comp), Tecnología de aplicación de agroquímicos. Argentina. CYTED.
29. Chabur, M. I. (2008). *Identificación de razas y estudio preliminar de la diversidad genética de peronospora farinosa f. sp. spinaciae agente causal del mildew velloso en cultivos de espinaca en la sabana de Bogotá*. Tesis de pregrado. Colombia, Facultad de ciencias básicas microbiología agrícola y veterinaria, Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá.
30. Chaim, A., Sherholdz, V. Lucia, Corrales, F. M., Haddad, J. A., Rodrigues, O. M., & Nicolella, G. (1999). Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura de tomate 1. *Pest. Agropec. Bras.*, 34, 741–747.
31. Cilgi, B. T., & Jepson, P. C. (1992). The use of tracers to estimate the exposure of beneficial insects to direct pesticide spraying in cereals. *Association of Applied biologists*, 121(Ecotoxicology Research Group), 239–247.
32. Cross, J. V., & Berrie, A. M. (1995). Field evaluation of a tunnel sprayer and effects of spray volume at constant drop size on spray deposits and efficacy of disease control on apple. *Ann. Appl. Biol.*, 127, 521–532.
33. Cunha, M., Carvalho, C., & Marcal, A. R. S. (2011). Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. *Biosystems Engineering*, 111(1), 11–23.
34. Del Castillo L, N. (2012). “*Comparación De Diferentes Equipos De Pulverización En Cultivo De Tomate Bajo Plástico*”. Tesis de pregrado. Almería, España, Universidad de Almería.

35. Del Castillo, N. (2012). *Comparación De Diferentes Equipos De Pulverización En Cultivo De Tomate Bajo Plástico*. Tesis de pregrado, Escuela Superior De Ingeniería, Universidad De Almería - Almería.
36. Derksen, R. C., Engineer, A., Miller, S. A., & Fox, R. D. (2001). Spray deposition characteristics on tomatoes and disease management as influenced by droplet size , spray volume , and air-assistance. *ASAE, 0300*, 1–16.
37. Derksen, R. C., Zhu, H., Fox, R. D., Brazee, R. D., & Krause, C. R. (2007a). Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. *ASABE, 50*(ISSN 0001-2351), 1493–1501.
38. Derksen, R. C., Vitanza, S., Welty, C., Miller, S., Bennett, M., & Zhu, H. (2007b). Field evaluation of application variables and plant density for bell pepper pest management. *ASABE, 50*(6), 1945–1953.
39. Dobson, H. & King, W. (2002). Pesticide Application: Mastering And Monitoring. In I. F. G. and C. C. D. Tingle, ed. *Ecological Monitoring Methods for the Assessment of Pesticide Impact in the Tropics*. Chatham, UK: Natural Resources Institute, pp. 1–20.
40. Dow AgroSciences. (2014). “*Etiqueta: Latigo* EC*”. [En línea], Colombia, disponible en: <http://www.insagrín.co/FICHAS%20dOW/LATIGO.pdf> [Accesado el día 15 de marzo de 2014].
41. Etiennot, A., & Piazza, A. (2010). Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones. *Acta Toxicol. Argent.*, 18, 40–53.
42. FAO. (2001). PARTE UNO. In *GUÍAS SOBRE LOS ESTÁNDARES PARA EQUIPOS DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS AGRÍCOLAS Y PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS RELACIONADOS*. pp. 1–107.
43. FAO. (2011). “faostat3.fao.org”. [En línea]. disponible en: <http://193.43.36.221/site/339/default.aspx> [Accesado el 19 de diciembre de 2013].
44. Ferreira, T. and Rasband, W. (2011). The ImageJ User Guide 1.44. <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/guide/index.html>.
45. Ficha técnica Nº 37043-16M. “VK CERAMIC VISIFLO CONEJET HOLLOW CONE SPRAY TIPS DROP SIZE DATA IN MICROMETERS VERSUS PRESSURE (METRIC)”. Spray nozzle and accessories, Spraying Systems Co. Available at: <http://www.teejet.com/PDFS/37043-16M.pdf>
46. Ficha técnica Nº 37043-5M. “XR TEEJET EXTENDED RANGE FLAT SPRAY TIP DATA IN MICRONS VERSUS PRESSURE CAPACITIES”. Spray nozzle and accessories. Spraying Systems Co. Available at: <http://www.teejet.com/PDFS/37043-5M.pdf>
47. Ficha técnica Nº 38010M. “VK CERAMIC VISIFLO CONEJET TIPS (METRIC)”. Spray nozzle and accessories, Spraying Systems Co. Available at: <http://www.teejet.com/PDFS/38010M.pdf>
48. Firveda, M. C., Canatalogo-JR, A., Ramos, H. H., Lino, A. C. L., & Corrêa, I. M. (2002). Uso de software para análise de imagem na avaliação da cobertura de pulverização. *Bragantia, Campinas*, 61(1), 305–310.
49. Flores Faura, Rafael y Segura Abril, Mariela. (2010). Espinaca (*Spinacia oleracea* L.): producción y manejo poscosecha. Colombia: Corredor Tecnológico Agroindustrial, Cámara de Comercio de Bogotá, 104 p.
50. Foqué, D., & Nuyttens, D. (2011). Effects of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants. *Pest Management Science*, 67(2), 199–208.
51. Fox, R. D., Derksen, R. C., Cooper, J. A., Krause, C. R., & Ozkan, H. E. (2003). Visual And Image System Measurement Of Spray Deposits Using Water–Sensitive Paper. *ASAE, 19*(5), 549–552.
52. Fox, R. D., Salyani, M., Cooper, J. A., & Brazee, R. D. (2001). Spot size comparisons on oiland water sensitive paper. *ASAE, 17*(2), 131–136.
53. Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Jank, P., Devisetty, B., & Dean, S. W. (2011). A Fluorescent Tracer Method for Evaluating Spray Transport and Fate of Field and Laboratory Spray Applications. *Journal of ASTM International*, 8(3), 9 p.

54. Garavito, A. L., & Riveros, P. L. (2003). *Evaluación Física De Técnicas De Aplicación De Productos Fitosanitarios Para Control De Gota (Phytophthora Infestans Sp) En Un Cultivo De Papa (Solanum Phureja)*. Tesis de pregrado, Departamento De Ingeniería Civil Y Agrícola, Universidad Nacional De Colombia - Bogotá.
55. Gil, R., Carrillo, D. & Jiménez, J. (2007). Determinación de las principales plagas de la espinaca (*Spinacia oleracea*) en Cota, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(2), pp.124–128.
56. Gómez Salgado, O. (2000). *Estudio de la variabilidad espacial de la conductividad hidráulica no saturada en suelos salinos*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
57. Gooden, D. (2011). *Responsible Pesticide Application*. Australia: Nuffield Farming Scholars.
58. Goulson, D., Derwent, L. C., Penagos, D. I., & Williams, T. (2003). Effects of optical brighteners included in biopesticide formulations on the growth of crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(1), 235–240.
59. Grisso, R., Hipkins, P., Askew, S. D., Hipkins, L., & Mccall, D. (2013). *Nozzles : Selection and Sizing*. Virginia, USA: Virginia Polytechnic Institute and Virginia State University. Retrieved from www.ext.vt.edu
60. Guaitero, L.B., (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de la sabana de bogotá*. Tesis de Maestría. Colombia, Departamento Agronomía, Universidad Nacional de Colombia - Bogotá.
61. Hall, F. R., Klirchner, L. M., Downer, R. A., & Kirchner, L. M. (1993). Some Practical Limitations of Fluorescent Tracers Used to Measure Off-Target Pesticide Deposition. *ASTM 1146*, 12, 247–256.
62. Harris, Daniel C. (1948). *Análisis químico cuantitativo*; tr. Vicente Berenguer Navarro, Ángel Berenguer Murcia. Barcelona: Reverté, 2007.
63. Hernández, H., González, L. (1981). Influencia de diferentes presiones de trabajo en aspersiones de plaguicidas con pulverizadoras terrestres en el control de plagas en el cultivo de papa. *Cienc. Tec. Agric.* 4(2-3): 29-37.
64. Hernández, L., González, C. (2002). *Introducción al análisis instrumental*. Barcelona: Ariel, S.A.
65. Herrera Prat, M.I., Gilton Rodrigues, J. & Martins Teixeira, M., (2008a). Características operacionales de las boquillas de pulverización hidráulica de chorro plano y cónico hueco. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(3), pp.61–67.
66. Herrera Prat, M., González, P. S. J., Ramos, V. M., & Milán, H. de la C. (2009). Efecto de la cantidad de solución de líquido en el espectro de gotas de un pulverizador de frutales. *Ciencias técnicas agropecuarias*, 18(1), 15–20.
67. Hewitt, a. J. (2008). Droplet size spectra classification categories in aerial application scenarios. *Crop Protection*, 27(9), 1284–1288. doi:10.1016/j.cropro.2008.03.010
68. Hipkins, P., Grisso, R., Wolf, B., & Reed, T. (2009). *Droplet Chart / Selection Guide* (p. 2). Virginia, USA: Virginia Polytechnic Institute and Virginia State University. Retrieved from http://pubs.ext.vt.edu/442/442-031/442-031_pdf.pdf.
69. Hoffmann, W.C., and A.J. Hewitt. (2005). Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers. *American society of agricultural Engineers* 21(6). pp 961–964.
70. Hofman, V. L., Panigrahi, S., Secor, G., Preston, D., Gudmestad, N., & Suranjan, P. (1999). Spray Coverage of Potato Plants Using Various Types of Applicators. *ASTM STP 1373*, 19, 15–28.
71. Holownicki, R., Doruchowski, G., Swiechowski, W., & Jaeken, P. (2002). Methods of evaluation of spray deposit and coverage on artificial targets. *Electronic journal of polish agricultural universities*, 5(1), 10.

72. Holownicki, R., G. Doruchowski, W. Swiechowski, and P. Jaeken. 2002. Methods of evaluation of spray deposit and coverage on artificial targets. *Electronic journal of polish agricultural universities* 5(1). pp 1-10: 2-3.
73. IDEAM, Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de "la niña". 2011, Colombia: Boletín número 30 (6 de abril de 2011).
74. IDEAM, Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de "la niña". 2011, Colombia: Boletín número 32 (12 de mayo de 2011).
75. Johnstone, D.R. (1973). Insecticide Concentration for Ultra-Low Volume crop Spray Application. *Pest. Sci.* 4, 77-82.
76. Iraide, S., & Soares, B. (2008). *Avaliação qualitativa e quantitativa na deposição de calda de pulverização em quatro espécies do genero*. Universidade Estatal paulista.
77. Iraide, S., & Soares, B. (2008). *Avaliação qualitativa e quantitativa na deposição de calda de pulverização em quatro espécies do genero*. Tesis de Maestría, Botucatu, Brazil, Universidade estadual paulista "julio de mesquita filho", faculdade de ciências agronômicas.
78. Jiang, C., & Derksen, R. C. (1995a). Morphological image processing for spray deposit analysis. *ASAE*, 38(5), 1581–1591.
79. Jiang, C., & Derksen, R. C. (1995b). Automated detection of fluorescent spray deposits with a computer vision system. *ASAE*, 38(6), 1647–1653.
80. Khot, L. R., Salyani, M., & Sweeb, R. D. (2010). Degradation of Oil- and Water-Soluble Fluorescent Dyes. *ASABE*, 0300(09), 1–12.
81. King, R. P. (2001). *Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems*. (Elsevier, Ed.) (Utha, USA., p. 416). Department of Metallurgical Engineering, University of Utha.
82. Kromann, P., Leon, D., Taipe, A., Andrade-Piedra, J. L., & Forbes, G. a. (2008). Comparison of two strategies for use of translaminar and contact fungicide in the control of potato late blight in the highland tropics of Ecuador. *Crop Protection*, 27(7), 1098–1104. doi:10.1016/j.cropro.2008.01.006.
83. Lefebvre, A.H. (1989), *Atomization and Spray*. Hemisphere Publishing Corporation, New York.
84. Leiva, P. D. (2011). Pastillas para pulverización agrícola, su correcta selección y uso para una óptima calidad de aplicación. *INTA*. Pergamino, Argentina: INTA Pergamino. Retrieved from pdleiva@pergamino.inta.gov.ar
85. Leiva, P. D., & Araujo, E. C. (2009). Comparación de programas de computación para recuento y tipificación de impactos de aspersión sobre tarjetas sensibles. Pergamino: INTA, 7.
86. Linagraph, K., & Kodabromide, K. (1978). Determination of Dynamic Spread Factor of Water Droplets Impacting on Water-Sensitive Paper Surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 63(1), 1–2.
87. Liu, T., Stansly, P. A., & Conner, J. M. (1995). Deposition of spray material on tomato foliage as influenced by volume and pump pressure. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 108, 212–216.
88. Luskar, S. (2007). *Determination of spray deposit on different collectors*. Master Thesis, Eslovenia, University of Nova Gorica- Nova Gorica.
89. MacIntyre-Allen, J. K., Tolman, J. H., Scott-Dupree, C. D., & Harris, C. R. (2007). *Confirmation by fluorescent tracer of coverage of onion leaves for control of onion thrips using selected nozzles, surfactants and spray volumes*. *Crop Protection*, 26(11), 1625–1633. doi:10.1016/j.cropro.2007.02.001
90. Magdalena, J.C. et al., 2010. "Equipos para la aplicación de agroquímicos-Denominación y clasificación" en Magdalena, J. (comp), Tecnología de aplicación de agroquímicos. Argentina. CYTED.
91. 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*.

- Tesis de doctorado. España, Departamento de mecanización y tecnología agraria, Universidad Politécnica de Valencia – Valencia.
92. Marçal, A. R. S., & Cunha, M. (2008). Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. *ASABE*, 51(3), 811–821.
 93. Márquez, L. (2008). *Buenas Prácticas Agrícolas En La Aplicación De Los Fitosanitarios*. (M. . D. L. Hernández, Ed.) (1st ed., p. 128). España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Secretaría General Técnica.
 94. Masiá, G. y Cid, R., 2010. “Las boquillas de pulverización” en Magdalena, J. (comp), Tecnología de aplicación de agroquímicos. Argentina. CYTED.
 95. Matthews, G. A. (2008). Attitudes and behaviours regarding use of crop protection products—A survey of more than 8500 smallholders in 26 countries. *Crop Protection*, 27(3-5), 834–846.
 96. Matthews, G. A. (2004). How was the pesticide applied?. *Crop Protection*, 23(7), 651–653.
 97. Matthews, G.A., Thronhill, E.W., (1996). “Equipo portátil de aplicación de pesticidas para uso en agricultura: Equipo impulsado mecánicamente”, Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, Volumen 112/2. [En línea]. disponible en: http://books.google.com.co/books?id=l_wkGeE8lp0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.
 98. Meier, U., Blei holder, H., Weber, E., Feller, C., Hess, M., Wicke, H., Van den Boom, T., Lancashire, P.; Hack, H., Klose, F. J., Stausss, R., Gonzales, E., Guerra, J. (2001). Monografía BBCH: Estadios de las plantas mono-y dicotiledóneas, 2ª Edición en español. Centro federal de investigaciones biológicas para agricultura y silvicultura, Alemania (BBA).
 99. MinAgricultura. (2012). “Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y sus calendarios de siembra y cosechas - Resultados evaluación agropecuaria municipal municipales 2011”. En “agronet”. [En línea]. disponible en: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/ANUARIO%20ESTADISTICO%20DE%20FRUTAS%20Y%20HORTALIZAS%202011.pdf>.
 100. Moya, H.J. et al., 2002. Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas. Medidas para la temporada invernal. , pp.1–47.
 101. Murcia Contreras, G. A. (2004). Evaluación y calibración de algunas máquinas e implementos usados en la mecanización del sistema maíz - soya. Bogotá D.C. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA.
 102. Murcia, G. A. M. (2004). Evaluación y calibración de algunas máquinas e implementos usados en la mecanización del sistema maíz - soya. Bogotá D.C. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA.
 103. Murray R.A., Cross J.V. and Ridout M.S. 2000. The measurement of multiple spray deposits by sequential application of metal chelate traces. *Ann. App. Biol.* 137 (3):245-252.
 104. Niño, N. E., Espinosa, L., Gil, R., Menza, G., & Jimenez, J. A. (2009). Enfermedades de la espinaca (*Spinacia oleracea* L.) en Cota (Cundinamarca) y el manejo del mildew veloso (*Peronospora farinoza*, Byford). *Revista Colombiana de Ciencias Horticolas*, 3(2), 161–174.
 105. Nuyttens, D. (2007). “Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means”. Ph.D. Thesis, Netherlands, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, KU Leuven - Leuven.
 106. Nuyttens, D., Baetens, K., De Schampheleire, M., & Sonck, B. (2007). Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*, 97(3), 333–345.
 107. Olivet Martinez, J. J. (2009). *Optimización de los tratamientos fitosanitarios en cultivos de invernadero en Uruguay*. Tesis doctoral, Valencia, España, Universidad Politecnica de Valencia.

108. Olsen, E.D. 1990. Métodos ópticos de Análisis. Barcelona: Reverte, S.A., 1990.
109. Ozkan, H. E., Zhu, H., Derksen, R. C., Guler, H., & Krause, C. (2006). Evaluation of various spraying equipment for effective application of fungicides to control Asian soybean rust 1. *Aspects of Applied Biology*, 77, 1–8.
110. Panagiota, A., & Hewitt, G. F. (2000). Drop size distributions in horizontal oil-water dispersed flows. *Chemical Engineering Science*, 55, 3133-3143.
111. Panneton, B., Bélanger, a., Vincent, C., Piché, M., & Khelifi, M. (2000). Effects of water volume rates on spray deposition and control of tarnished plant bug [Hemiptera : Miridae] in strawberry crops. *Phytoprotection*, 81(3), 115. doi:10.7202/706205ar
112. Pergher, G. (2001). Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. *ASAE*, 44(4), 787–794.
113. Pergher, G., & Petris, R. (2008). The Effect of Air Flow Rate on Spray Deposition in a Guyot-trained. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal.*, 10, 1–15.
114. Porrás Soriano, A. (2006). “*Mejora de la tecnología de la pulverización de productos fitosanitarios sobre plantaciones de vid en espaldera*”. Tesis de doctorado. Córdoba, España, UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.
115. PROGEN S.A. (2014). “Royal Condor – Tecnicas de aplicación”. [En línea]. Colombia, disponible en: http://www.royalcondor.com/index.php?option=com_content&view=article&id=332&Itemid=200120.
116. Puican, C. (2011). Análisis instrumental. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional Del Santa, Departamento Académico De Energía Y Física. Disponible en http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/002_clase_1.pdf.
117. Ramalingam, N., Ling, P. P., & Derksen, R. C. (2003). Dynamic segmentation for automatic spray deposits analysis on uneven leaf surfaces. *ASAE*, 46(ISSN 0001-2351i), 893–900.
118. Ramos, H., Yanai, K., Corrêa, I. M., Bassanezi, R. B., & Garcia, L. C. (2007). Características Da Pulverização Em Citros Em Função Do Volume De Calda Aplicado Com Turbopulverizador, 27(Eng. Agríc.), 56–65.
119. Rayner, R.W. (1960). Separate determination of copper fungicide dosage on the upper and lower surfaces of leaves. *Journal of Agric. Engin. Res.* 5: 441-442.
120. Rodríguez, J. A., Suarez, O. F., & Leiva, F. R. (1994). Evaluación de técnicas de aplicación de plaguicidas en un cultivo de clavel (*Dianthus Caryophyllus L.*) en la sabana de bogota. *Agronomia Colombiana*, 11(2), 175–183.
121. Rodríguez, L. M. (2008). *Reconocimiento y fluctuación poblacional arvense en el cultivo de espinaca (spinacea oleracea l.) para el municipio de cota*. Tesis de pregrado. Colombia, Departamento Agronomía, Universidad Nacional de Colombia - Bogotá.
122. Rojas J.H., De Nigrinis, L.S. (1992). Introducción al análisis químico instrumental. Bogotá: Univ. Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Departamento de Farmacia.
123. Rojas, S. R., & Pedroza, A. S. (2001). *Manual de plagas y enfermedades del jitomate , tomate de cáscara y cebolla en el estado de Morelos* (pp. 1–128). Zacatepec, Morelos, México.
124. Romero, M. et al. (2005). Transferencia interactiva para la evaluación de estrategias de manejo integrado de plagas en el municipio de cota, cundinamarca, Bogotá, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, Universidad Jorge Tadeo Lozano. pp.1–14.
125. Romero, M., Barreto, C., Carrillo, D., Espinosa, L., Fuentes, L. S., Jiménez, J., & Ubaque, H. (2005). Transferencia interactiva para la evaluación de estrategias de manejo integrado de plagas en el municipio de cota, Cundinamarca. Bogotá, Colombia: Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales.

126. Salyani, M. & Whitney, J.D. (1988). Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. *ASAE*, 31(2), pp.390–395.
127. Salyani, M. (1993). Degradation of Fluorescent Tracer Dyes Used in Spray Applications. *ASTM STP 1183*, 13, 215–226.
128. Sánchez Prado, Lucía. (2007). Estudio de la fotodegradación de compuestos orgánicos mediante microextracción en fase sólida, cromatografía de gases y espectrometría de masas. Santiago de Compostela: Universidade. Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.
129. Sánchez-Hermosilla, J. & R. Medina. (2004). Adaptive threshold for droplet spot analysis using water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 20 (5): 547- 551. St. Joseph, MI: ASAE.
130. Sanz Albert, F., Abril Muñoz, I., & Delgado Cobos, P. (1997). Productos fitosanitarios: medidas preventivas en los equipos de aplicación. *Notas Técnicas de Prevención*, 883, 1–8.
131. Sayinci, B. & Bastaban, S. (2011). Spray distribution uniformity of different types of nozzles and its spray deposition in potato plant. *African Journal of Agricultural Research*, 6(2), pp.352–362.
132. Salyani, M. (2003). Droplet Size Affects Durability of Spray Deposits. *ASTM STP 1449*, 23(International Symposium), 221–233.
133. Schick, R. J. (1997). Spray Technology Reference Guide: Understanding Drop Size Preface. In *47th Chemical Processing Industry Exposition* (p. 6). New York, USA: Spraying Systems Co. Retrieved from www.spray.com
134. Sharp, R. B. (1974). Spray Deposit Measurement by Fluorescence. *Pesticide Science*, 5(November 1973), 197–209.
135. Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J., Crouch, S.R. (2005). fundamentos de Química Analítica, 8ª edición, México: International Thomson Editores. pp 1172.
136. Smith, D., Askew, S., Morris, W., Shaw, D., & Boyette, M. (2000). Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. *Transactions of the ASAE*. 43 (2): 255-259.
137. Smith, C. W. (2001). “*Insecticide Reduction Through Precision Foliar Banding With Various Spray Nozzles and Droplet Sizes*”. Master Thesis, USA, Biosystems Engineering Technology, University of Tennessee - Tennessee.
138. Spraying Systems Co. (2004). Guía del usuario de boquillas de pulverización. [En línea], Wheaton, Illinois. United States, disponible en: <http://www.teejet.com/media/350064/lms112%20users%20guide%20spanish.pdf>
139. Spraying Systems Co. (2011). TeeJet, Catalogo 51-ES. Spraying Systems Co. Weaton Illinois. United States. 148p.
140. Steven T. Koike, Peter Gladders, Albert O. Paulus. (2007). *Vegetable Diseases: A Color Handbook Plant protection handbook series*. London, Second impression, Gulf Professional Publishing. 448 p.
141. Sumner, H. R., Herzog, G. A., Sumner, P. E., Bader, M., & Mullinix, B. G. (2000). Chemical Application Equipment for Improved Deposition in Cotton. *The Journal of Cotton Science*, 27(June 1999), 19–27.
142. Syngenta. (2009). “*Etiqueta: RIDOMIL® GOLD MZ 68 WG*”. [En línea], Chile, disponible en: <http://www.syngenta.com/country/cl/cl/soluciones/proteccioncultivos/Documents/Etiquetas/RidomilGoldMZ68WG.pdf> [Accesado el día 15 de marzo de 2014].
143. Syngenta. (2012). “*Etiqueta: ENGEO® 247 SC*”. [En línea], Chile, disponible en: <http://www.syngenta.com/country/cl/cl/soluciones/proteccioncultivos/Documents/Etiquetas/Engeo.pdf> [Accesado el día 15 de marzo de 2014].
144. Syngenta. 2002. Water-sensitive paper for monitoring spray distributions. CH-4002. Basle, Switzerland: Syngenta Crop Protection.

145. Teixeira, M., 2010. "Estudio de la población de gotas de pulverización" en Magdalena, J. (comp), Tecnología de aplicación de agroquímicos. Argentina. CYTED.
146. Teske, M. E., Hewitt, A. J., & Valcore, D. L. (2004). Suggested Revisions to ASAE Standard S572 Aug99. *Transactions of the ASAE, 0300(04)*, 1–9.
147. Vázquez Minguela, J. (2000). Pulverización Termoneumática. *Agrotécnica, 4*, 74–78.
148. Tompkins, F. D., Canary, D. J., & Graduate, F. (1983). Effect of Liquid Volume , Spray Pressure , and Nozzle Arrangement on Coverage of Plant Foliage and Control of Snap Bean Rust with Chlorothalonil. *Plant Disease, 67(9)*, 952–953.
149. Washington, J.R., 1997. Relationship between the spray droplet density of two protectant fungicides and the germination of *Mycosphaerella fijiensis* ascospores on banana leaf surfaces. *Pest. Sci. 50*, 233–239.
150. Welty, C., Alcaraz, S., & Ozkan, H. E. (1995). Evaluating Insecticide Application Techniques to Control Aphids in Vegetable Leaf Crops. *HortTechnology, 5(4)*, 317–326.
151. Zhu, H., Derksen, R. C., Krause, C. R., Fox, R. D., Brazee, R. D., & Ozkan, H. E. (2005). Efect of solution ph conditions on fluorescent of spray deposition tracers. *ASAE, 21(3)*, 325–330.
152. Zhu, H., Dorner, J. ., Rowland, D. ., Derksen, R. ., & Ozkan, H. . (2004). Spray Penetration into Peanut Canopies with Hydraulic Nozzle Tips. *Biosystems Engineering, 87(3)*, 275–283. doi:10.1016/j.biosystemseng.2003.11.012
153. Zhu, H., Reichard, D. L., Fox, R. D., Brazee, R. D., & Ozkan, H. E. (1996). Collection Efficiency Of Spray Droplets On Vertical Targets. *American Society of Agricultural Engineers, 39*, 415–422.
154. Zhu, H., Rowland, D. L., Dorner, J. W., Derksen, R. C., & Sorensen, R. B. (2002). Influence of Plant Structure , Orifice Size , and Nozzle Inclination on Spray Penetration into Peanut Canopy. *ASAE, 45(5)*, 1295–1301.
155. Zhu, H., Salyani, M., & Fox, R. D. (2011). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture, 76(1)*, 38–43. doi:10.1016/j.compag.2011.01.003.

Anexo 1: Análisis estadístico para las variables evaluadas en el ensayo 1.

A.1.1. Análisis estadístico para las variables respuesta del método de los colectores

A.1.1.1 Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para los colectores

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Log ₁₀ D _{V10} (μm)	,087	39	,200*
Log ₁₀ D _{V50} (μm)	,095	39	,200*
Log ₁₀ D _{V90} (μm)	,125	39	,128
Log ₁₀ SPAN	,119	39	,173
q (adim.)	,085	39	,200*
Raíz 3 (n.o Gotas/cm2)	,099	39	,200*
Raíz 3 (Recubrimiento Col (%))	,080	79	,200*

a. Corrección de la significación de Lilliefors

A.1.1.2 Pruebas de homocedasticidad de Levene para los colectores

	F	gl1	gl2	Sig.
Log ₁₀ D _{V10} (μm)	1,041	7	31	,424
Log ₁₀ D _{V50} (μm)	1,504	7	31	,203
Log ₁₀ D _{V90} (μm)	0,885	7	32	,529
Log ₁₀ SPAN	1,811	7	32	,119
q (adim.)	2,152	7	31	,067
Raíz 3 (n.o Gotas/cm2)	2,603	7	32	,066
Raíz 3 (Recubrimiento Col (%))	1,013	15	62	,317

A.1.1.3. Análisis de varianza para los colectores

Diámetro representativo de las gotas: $\text{Log}_{10} D_{V50}$ (μm).

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	442502,338 ^a	8	55312,792	3,048	,012
Intersección	1119876,723	1	1119876,723	61,706	,000
Repeticiones	28406,764	1	28406,764	1,565	,220
Boquilla	282547,895	3	94182,632	5,189	,005
Técnica	70113,171	1	70113,171	3,863	,058
Boquilla * Técnica	61434,508	3	20478,169	1,128	,353
Error	562610,501	31	18148,726		
Total	5517611,682	40			
Total corregida	1005112,839	39			

Parámetro de dispersión de tamaños de gota: Log_{10} SPAN (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,119 ^a	8	,015	1,028	,437
Intersección	,026	1	,026	1,800	,190
Repeticiones	,032	1	,032	2,213	,147
Boquilla	,031	3	,010	,701	,559
Técnica	,000	1	,000	,019	,892
Boquilla * Técnica	,067	3	,022	1,545	,223
Error	,435	30	,015		
Total	,555	39			
Total corregida	,554	38			

Exponente de la función de Rosin-Rammler: q (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,246 ^a	8	,156	1,746	,127
Intersección	92,711	1	92,711	1039,297	,000
Repeticiones	,267	1	,267	2,995	,093
Boquilla	,323	3	,108	1,207	,324
Técnica	,061	1	,061	,682	,415
Boquilla * Técnica	,595	3	,198	2,224	,105
Error	2,765	31	,089		
Total	564,639	40			
Total corregida	4,011	39			

Numero de gotas por cm²: Raíz³ (n.º Gotas/cm²)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	35,943 ^a	8	4,493	3,005	,013
Intersección	89,954	1	89,954	60,173	,000
Repeticiones	,389	1	,389	,260	,614
Boquilla	17,914	3	5,971	3,994	,017
Técnica	12,731	1	12,731	8,516	,007
Boquilla * Técnica	4,186	3	1,395	,933	,437
Error	44,848	30	1,495		
Total	632,279	39			
Total corregida	80,791	38			

Porcentaje de recubrimiento en los colectores: Raíz³ (Recubrimiento Col (%))

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	109,190 ^a	16	6,824	23,530	,000
Intersección	102,705	1	102,705	354,118	,000
Repeticiones	,199	1	,199	,684	,411
Boquilla	27,193	3	9,064	31,253	,000
Técnica	7,239	1	7,239	24,961	,000
Superficie	69,692	1	69,692	240,292	,000
Boquilla * Técnica	1,242	3	,414	1,428	,243
Boquilla * Superficie	,612	3	,204	,704	,553
Técnica * Superficie	1,179	1	1,179	4,066	,048
Boquilla * Técnica * Superficie	2,048	3	,683	2,354	,081
Error	17,692	61	,290		
Total	732,169	78			
Total corregida	126,882	77			

A.1.2 Análisis estadístico para las variables respuesta del método del trazador fluorescente

A.1.2.1. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las manchas

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
1/Log ₁₀ D _{V10} (μm)	,093	77	,093
Log ₁₀ D _{V50} (μm)	,100	77	,053
Log ₁₀ D _{V90} (μm)	,100	77	,055
SPAN (adim.)	,090	77	,200*
q (adim.)	,091	77	,200*
Manchas/cm ²	,099	77	,061
Raíz ³ (Recubrimiento Hojas (%))	,100	77	,054

a. Corrección de la significación de Lilliefors

A.1.2.2. Pruebas de homocedasticidad de Levene para las manchas

	F	gl1	gl2	Sig.
1/Log ₁₀ D _{V10} (μm)	3,899	15	61	,052
Log ₁₀ D _{V50} (μm)	1,406	15	61	,240
Log ₁₀ D _{V90} (μm)	,973	15	61	,327
SPAN (adim.)	,220	15	61	,640
q (adim.)	1,982	15	61	,125
Manchas/cm ²	1,921	15	61	,134
Raíz ³ (Recubrimiento Hojas (%))	2,971	15	61	,089

A.1.2.3. Análisis de varianza de las manchas

Diámetro representativo de las Manchas: Log₁₀ D_{V50} (μm).

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	15,225 ^a	16	,952	23,629	,000
Intersección	124,259	1	124,259	3085,628	,000
Repeticiones	,002	1	,002	,049	,826
Boquillas	7,211	3	2,404	59,690	,000
Técnica	,216	1	,216	5,352	,024
Superficie	6,085	1	6,085	151,115	,000
Boquillas * Técnica	,281	3	,094	2,322	,084
Boquillas * Superficie	1,045	3	,348	8,650	,000
Técnica * Superficie	,000	1	,000	,010	,920
Boquillas * Técnica * Superficie	,145	3	,048	1,203	,316
Error	2,416	60	,040		
Total	691,272	77			
Total corregida	17,641	76			

Parámetro de dispersión de tamaños de mancha: SPAN (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,627 ^a	16	,289	4,525	,000
Intersección	23,069	1	23,069	360,895	,000
Repeticiones	,058	1	,058	,903	,346
Boquillas	1,307	3	,436	6,818	,000
Técnica	,177	1	,177	2,773	,101
Superficie	,882	1	,882	13,794	,000
Boquillas * Técnica	,634	3	,211	3,308	,026
Boquillas *	1,246	3	,415	6,499	,001
Superficie	,240	1	,240	3,750	,058
Técnica * Superficie	,240	1	,240	3,750	,058
Boquillas * Técnica *	,089	3	,030	,465	,708
Superficie	,089	3	,030	,465	,708
Error	3,835	60	,064		
Total	122,600	77			
Total corregida	8,463	76			

Exponente de la función de Rosin-Rammler: q (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,507 ^a	16	,219	5,231	,000
Intersección	142,967	1	142,967	3411,749	,000
Repeticiones	,000	1	,000	,008	,931
Boquillas	2,522	3	,841	20,065	,000
Técnica	,102	1	,102	2,434	,124
Superficie	,665	1	,665	15,881	,000
Boquillas * Técnica	,276	3	,092	2,194	,098
Boquillas * Superficie	,129	3	,043	1,027	,387
Técnica * Superficie	,010	1	,010	,232	,632
Boquillas * Técnica *	,059	3	,020	,466	,707
Superficie	,059	3	,020	,466	,707
Error	2,430	60	,042		
Total	760,529	77			
Total corregida	5,938	76			

Numero de gotas por cm²: n.º Manchas/cm²

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	267286,651 ^a	16	16705,416	6,391	,000
Intersección	156238,222	1	156238,222	59,774	,000
Repeticiones	1122,813	1	1122,813	,430	,515
Boquillas	81451,890	3	27150,630	10,387	,000
Técnica	17291,999	1	17291,999	6,616	,013
Superficie	154544,309	1	154544,309	59,126	,000
Boquillas * Técnica	5698,098	3	1899,366	,727	,540
Boquillas * Superficie	4853,792	3	1617,931	,619	,605
Técnica * Superficie	6393,185	1	6393,185	2,446	,123
Boquillas * Técnica * Superficie	2819,929	3	939,976	,360	,782
Error	156829,420	60	2613,824		
Total	1147035,210	77			
Total corregida	424116,071	76			

Porcentaje de recubrimiento de las hojas: Raíz³ (Recubrimiento Hojas (%))

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	65,698 ^a	16	4,106	23,894	,000
Intersección	42,910	1	42,910	249,698	,000
Repeticiones	,036	1	,036	,212	,647
Boquillas	21,412	3	7,137	41,534	,000
Técnica	2,089	1	2,089	12,157	,001
Superficie	34,630	1	34,630	201,517	,000
Boquillas * Técnica	,519	3	,173	1,006	,396
Boquillas * Superficie	5,010	3	1,670	9,719	,000
Técnica * Superficie	,294	1	,294	1,710	,196
Boquillas * Técnica * Superficie	,746	3	,249	1,446	,238
Error	10,311	60	,172		
Total	300,823	77			
Total corregida	76,009	76			

Anexo 2: Análisis estadístico para las variables evaluadas en el ensayo 2.

A.2.1. Análisis estadístico para las variables respuesta del método de los colectores

A.2.1.1 Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para los colectores

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Log ₁₀ D _{V10} (μm)	,116	48	,114
Log ₁₀ D _{V50} (μm)	,101	48	,200*
Log ₁₀ D _{V90} (μm)	,119	48	,087
Log ₁₀ SPAN	,105	48	,200*
q (adim.)	,103	48	,200*
Raíz 3 (n.o Gotas/cm ²)	,102	48	,200*
Raíz 3 (Recubrimiento Col (%))	,080	96	,144

a. Corrección de la significación de Lilliefors

A.2.1.2 Pruebas de homocedasticidad de Levene para los colectores

	F	gl1	gl2	Sig.
Log ₁₀ D _{V10} (μm)	0,995	7	40	,449
Log ₁₀ D _{V50} (μm)	0,749	7	40	,632
Log ₁₀ D _{V90} (μm)	0,953	7	40	,478
Log ₁₀ SPAN	0,386	7	40	,905
q (adim.)	,591	7	40	,760
Raíz 3 (n.o Gotas/cm ²)	1,259	7	40	,295
Raíz 3 (Recubrimiento Col (%))	2,063	15	80	,111

A.2.1.3. Análisis de varianza para los colectores

Diámetro representativo de los gotas: Log₁₀ D_{V50} (μm).

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,461 ^a	8	,183	5,045	,000
Intersección	56,279	1	56,279	1554,203	,000
Repeticiones	,010	1	,010	,277	,602
Boquilla	1,278	3	,426	11,765	,000
Técnica	,092	1	,092	2,548	,119
Boquilla * Técnica	,081	3	,027	,746	,531
Error	1,412	39	,036		
Total	288,540	48			
Total corregida	2,874	47			

Parámetro de dispersión de tamaños de gota: Log_{10} SPAN (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,081 ^a	8	,010	,566	,799
Intersección	6,762E-05	1	6,762E-05	,004	,951
Repeticiones	,013	1	,013	,732	,397
Boquilla	,031	3	,010	,584	,629
Técnica	,004	1	,004	,243	,625
Boquilla * Técnica	,032	3	,011	,601	,618
Error	,698	39	,018		
Total	,826	48			
Total corregida	,779	47			

Exponente de la función de Rosin-Rammler: q (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,922 ^a	8	,615	3,011	,010
Intersección	136,768	1	136,768	669,273	,000
Repeticiones	,015	1	,015	,072	,790
Boquilla	4,185	3	1,395	6,826	,001
Técnica	,343	1	,343	1,678	,203
Boquilla * Técnica	,379	3	,126	,619	,607
Error	7,970	39	,204		
Total	710,907	48			
Total corregida	12,892	47			

Numero de gotas por cm^2 : Raíz ³ (n.º Gotas/ cm^2)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10,990 ^a	8	1,374	,585	,784
Intersección	145,461	1	145,461	61,898	,000
Repeticiones	1,381	1	1,381	,588	,448
Boquilla	7,679	3	2,560	1,089	,365
Tratamiento	,023	1	,023	,010	,921
Boquilla * Tratamiento	1,906	3	,635	,270	,846
Error	91,650	39	2,350		
Total	732,381	48			
Total corregida	102,640	47			

Porcentaje de recubrimiento en los colectores: Raíz³ (Recubrimiento Col (%))

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	127,332 ^a	16	7,958	16,946	,000
Intersección	134,229	1	134,229	285,816	,000
Repeticiones	,155	1	,155	,330	,567
Boquilla	39,436	3	13,145	27,991	,000
Técnica	3,694	1	3,694	7,865	,006
Superficie	79,018	1	79,018	168,255	,000
Boquilla * Técnica	,613	3	,204	,435	,729
Boquilla * Superficie	3,301	3	1,100	2,343	,079
Técnica * Superficie	,661	1	,661	1,406	,239
Boquilla * Técnica *	,455	3	,152	,323	,809
Superficie					
Error	37,101	79	,470		
Total	820,454	96			
Total corregida	164,433	95			

A.2.2 Análisis estadístico para las variables respuesta del método del trazador fluorescente

A.2.2.1. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las manchas.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Log ₁₀ D _{V10} (µm)	,091	94	,052
Log ₁₀ D _{V50} (µm)	1,098	94	,179
Log ₁₀ D _{V90} (µm)	1,340	94	,055
Log ₁₀ SPAN	,071	94	,200*
q (adim.)	,055	94	,200*
Raíz ³ (n.º Manchas/cm ²)	1,149	94	,143
Raíz ³ (Recubrimiento Hojas (%))	,956	94	,320

a. Corrección de la significación de Lilliefors

A.2.2.2. Pruebas de homocedasticidad de Levene manchas y los depósitos

	F	gl1	gl2	Sig.
Log ₁₀ D _{V10} (µm)	,840	15	78	,362
Log ₁₀ D _{V50} (µm)	1,666	15	78	,200
Log ₁₀ D _{V90} (µm)	,697	15	78	,556
Log ₁₀ SPAN	1,705	15	78	,067
q (adim.)	0,868	15	78	,461
Raíz ³ (n.º Manchas/cm ²)	1,718	15	78	,169
Raíz ³ (Recubrimiento Hojas (%))	3,720	15	78	,057

A.2.2.3. Análisis de varianza de la manchas

Diámetro representativo de los manchas: $\text{Log}_{10} D_{V50}$ (μm).

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	12,869 ^a	16	,804	32,112	,000
Intersección	171,651	1	171,651	6853,142	,000
Repeticiones	,092	1	,092	3,687	,059
Boquilla	8,696	3	2,899	115,729	,000
Técnica	,303	1	,303	12,090	,001
Superficie	4,131	1	4,131	164,918	,000
Boquilla * Técnica	,053	3	,018	,709	,550
Boquilla *	,091	3	,030	1,205	,314
Superficie	,012	1	,012	,491	,485
Técnica * Superficie	,012	1	,012	,491	,485
Boquilla * Técnica *	,036	3	,012	,481	,696
Superficie					
Error	1,929	77	,025		
Total	976,411	94			
Total corregida	14,797	93			

Parámetro de dispersión de tamaños de manchas: SPAN (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,915 ^a	16	,057	5,134	,000
Intersección	,011	1	,011	1,020	,316
Repeticiones	,001	1	,001	,119	,731
Boquilla	,165	3	,055	4,948	,003
Técnica	,019	1	,019	1,708	,195
Superficie	,503	1	,503	45,195	,000
Boquilla * Técnica	,040	3	,013	1,184	,321
Boquilla *	,094	3	,031	2,812	,045
Superficie					
Técnica *	,038	1	,038	3,451	,067
Superficie					
Boquilla * Técnica *	,028	3	,009	,833	,480
* Superficie					
Error	,857	77	,011		
Total	1,884	94			
Total corregida	1,772	93			

Exponente de la función de Rosin-Rammler: q (adim.)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,935 ^a	16	,246	2,749	,002
Intersección	178,981	1	178,981	2000,737	,000
Repeticiones	,126	1	,126	1,406	,239
Boquilla	2,812	3	,937	10,479	,000
Técnica	,021	1	,021	,231	,632
Superficie	,005	1	,005	,055	,815
Boquilla * Técnica	,105	3	,035	,393	,759
Boquilla * Superficie	,330	3	,110	1,230	,304
Técnica * Superficie	4,669E-06	1	4,669E-06	,000	,994
Boquilla * Técnica * Superficie	,531	3	,177	1,977	,124
Error	6,888	77	,089		
Total	912,856	94			
Total corregida	10,823	93			

Numero de gotas por cm²: Raíz 3 (n.º Gotas/cm2)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	147,589 ^a	16	9,224	9,466	,000
Intersección	250,492	1	250,492	257,064	,000
Repeticiones	,735	1	,735	,754	,388
Boquilla	11,422	3	3,807	3,907	,012
Técnica	5,245	1	5,245	5,383	,023
Superficie	129,202	1	129,202	132,592	,000
Boquilla * Técnica	2,528	3	,843	,865	,463
Boquilla * Superficie	,551	3	,184	,189	,904
Técnica * Superficie	1,628	1	1,628	1,670	,200
Boquilla * Técnica * Superficie	,788	3	,263	,270	,847
Error	75,031	77	,974		
Total	1721,210	94			
Total corregida	222,621	93			

Porcentaje de recubrimiento de las hojas: Raíz 3 (Recubrimiento Hojas (%))

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	66,412 ^a	16	4,151	29,318	,000
Intersección	45,265	1	45,265	319,720	,000
Repeticiones	,108	1	,108	,759	,386
Boquilla	18,166	3	6,055	42,770	,000
Técnica	2,592	1	2,592	18,311	,000
Superficie	42,149	1	42,149	297,712	,000
Boquilla * Técnica	,425	3	,142	1,001	,397
Boquilla * Superficie	3,149	3	1,050	7,413	,000
Técnica * Superficie	,014	1	,014	,100	,753
Boquilla * Técnica *	,266	3	,089	,627	,600
Superficie					
Error	10,901	77	,142		
Total	348,124	94			
Total corregida	77,314	93			

Depósitos de trazador: Raíz ³ (Depósitos (µg/cm²))

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	16,377 ^a	16	1,024	17,235	,000
Intersección	32,484	1	32,484	546,981	,000
Repeticiones	,055	1	,055	,922	,345
Boquilla	8,433	3	2,811	47,331	,000
Técnica	1,650	1	1,650	27,779	,000
Superficie	4,510	1	4,510	75,941	,000
Boquilla * Técnica	,983	3	,328	5,518	,004
Boquilla * Superficie	1,018	3	,339	5,712	,003
Técnica * Superficie	,082	1	,082	1,383	,249
Boquilla * Técnica *	,611	3	,204	3,427	,030
Superficie					
Error	1,722	29	,059		
Total	223,133	46			
Total corregida	18,099	45			

Anexo 3. Modelos lineales de los parámetros de pulverización.

A.3.1. Regresión lineal de porcentaje de recubrimiento en los colectores en función del porcentaje de recubrimiento en las hojas del ensayo 1

El modelo es: $Y = 2,210 \cdot X + 12,424$

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,827 ^a	,684	,679	17,957

a. Variables predictoras: (Constante), Recubrimiento_Hojas

b. Variable dependiente: Recubrimiento_Coletores

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	51563,069	1	51563,069	159,901	,000 ^b
Residual	23862,674	74	322,469		
Total	75425,743	75			

a. Variable dependiente: Recubrimiento_Coletores

b. Variables predictoras: (Constante), Recubrimiento_Hojas

A.3.2. Regresión lineal del promedio del porcentaje de recubrimiento en los colectores en función del promedio del porcentaje de recubrimiento en las hojas del ensayo 1

El modelo es: $Y = 2,603 \cdot X + 8,924$

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,967 ^a	,935	,930	8,19176

a. Variables predictoras: (Constante), Recubrimiento_Hojas

b. Variable dependiente: Recubrimiento_Coletores

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	13410,175	1	13410,175	199,839	,000 ^b
Residual	939,468	14	67,105		
Total	14349,643	15			

a. Variable dependiente: Recubrimiento_Colectores

b. Variables predictoras: (Constante), Recubrimiento_Hojas

A.3.3. Regresión lineal de porcentaje de recubrimiento en los colectores en función del porcentaje de recubrimiento en las hojas del ensayo 2

El modelo es: $Y = 2,558 \cdot X + 7,496$

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,834 ^a	,696	,693	18,03092

a. Variables predictoras: (Constante), Recubrimiento_Hojas

b. Variable dependiente: Recubrimiento_Colectores

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	68533,471	1	68533,471	210,798	,000 ^b
Residual	29910,480	92	325,114		
Total	98443,951	93			

a. Variable dependiente: Recubrimiento_Colectores

b. Variables predictoras: (Constante), Recubrimiento_Hojas

Anexo 4. Especificaciones del espectrofotómetro



El espectrofotómetro SmartSpec Plus cuenta con una amplia gama de características y funciones que muchos espectrofotómetros de sobremesa otros, que ofrece el rendimiento, la estabilidad y funcionalidad a un precio asequible

Especificaciones:

Fuente de Luz	Lampara de Xenon
Detector	Matriz de fotodiodos
Pantalla	2 x 24 LCD alfanumerico
Impresora	Impresora Alfanumerico/grafica integrada
Interfaz	Puerto serial RS-232
Rango Longitud de onda	200–800 nm
Precisión de la longitud de onda (at 18–27°C)	<±1.0 nm desde 200 a 250, 300 a 800 nm <±0.5 nm desde 250 a 300 nm
Ancho de banda espectral	<5 nm
Precision de absorcion	±0.01 a 0.5 AU, ±0.02 a 1.0 AU
Repetibilidad de Absorción	±0.005 a 0.5 AU
Luz dispersa	<0.2% a 230 nm usando el estándar NaI
Temperatura de operabilidad	15–35°C
Altura del haz de luz (Eje Z)	8.5 mm
Voltaje	90–260 VAC, 47–63 Hz
Certificaciones	CE, TUV
Dimensiones	33 x 26 x 14 cm (Largo x Ancho x Alto)
Peso	~ 3.8 kg

Anexo 5: Características de la cámara



Resolución	12.40 Mega pixels
Resolución máxima	4000x3000
Resolución mínima	1024x768
Tamaño del sensor	1/2.33-pulgadas
Tipo de sensor	CCD
Zoom óptico	Si
Multiplicador focal	n/a
Angular (mm)	27
Teleobjetivo (mm)	135
Zoom Digital	Si
Autofocus	Si
Enfoque manual	No
Distancia de enfoque (cm)	80
Distancia de enfoque en macro (cm)	5
Modos de flash	anti ojos rojos automatico llenado Apagado Flash lento
Tipo de almacenamiento	microSD
Sensibilidad ISO	automatico, 80, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200
Prioridad de apertura	No
Apertura mínima en angular	f3.5
Apertura máxima en angular	Desconocido
Apertura mínima en tele	f5.9
Apertura máxima en tele	Desconocido
Prioridad de velocidad	No

Velocidad mínima (sec)	8
Velocidad máxima (sec)	1/2000
Disparo en ráfaga (fps)	Desconocido
Flash integrado	Si
Flash externo	No
Tipo de flash externo	n/a
Medición de luz	Centro Equilibrado Multiple En el punto
Compensación de exposición	-2EV - +2EV con avances de 1/3EV

Fuente: <http://www.samsung.com/latin/consumer/cameras-camcorders/cameras/compact/EC-PL150ZBPRPA-spec#toPrint>

Anexo 6: Ficha técnica del Tinopal CBS-X

CIBA SPECIALTY CHEMICALS CONSUMER CARE HOJA DATOS DE SEGURIDAD (91/155/CE)		Código del Producto: 29283 25 KG 156235 50 KG 2		
		Fecha: 17 04 1996 Sustituye HDS fecha 09 03 1996		
TINOPAL CBS - X				
1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA/PREPARADO Y LA EMPRESA				
Descripción Química:	Anionic Derivative of a distyryl biphenyl compound			
Fabricante:	Ciba Specialty Chemicals, CH-4002, Basel			
Departamento responsable:	Product Safety &Registration Fax 0049 7624 122884			
Proveedor:	Ciba Specialty Chemicals Inc, CH-4002, Basel			
Teléfono de emergencia:	0041 61 696 5151	Fax: 0041 61 6365463		
2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES				
Información sobre los componentes	%	No.CAS	Símbolo	Frases R
Derivado de diestirilobifenilo	80 - 90	27344-41-8	XI	41
3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS				
Riesgo de lesiones oculares graves.				
4. PRIMEROS AUXILIOS				
Inhalación:	Salir al aire libre. Acúdase a un medico en caso de no encontrarse bien o tras una exposición prolongada.			
Contacto con la piel:	Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las zonas del cuerpo afectadas con jabón y abundante agua.			
Contacto con los ojos:	Lávese inmediata y abundantemente con agua durante 10 minutos como mínimo. Acúdase a un medico.			
Ingestión:	Enjuáguese la boca con agua. Beber abundante agua.			
Información para para el medico:	Tratamiento sintomático.			
5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS				
Medios de extinción adecuados:	Agua, espuma, polvo seco, anhídrido carbónico.			
Medios de extinción que no deben utilizarse:	Sin restricciones.			
Riesgo de Fuego / explosión:	Ninguno.			

Gases de Combustión:	Oxidos de carbono azufre.	
Protección Personal:	Aparato de respiración autónoma.	
6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL		
Precauciones Individuales:	Gafas	
Precauciones para la protección del Medio Ambiente:	No son necesarias precauciones especiales.	
7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO		
Higiene Laboral:	Evítese su ingestión, inhalación y contacto con los ojos y la piel. Manipulación de acuerdo con los principios de higiene industrial y estipulaciones legales pertinentes.	
Prevención del fuego		
Medios de Almacenamiento:	Almacenar en lugar fresco y seco con adecuada ventilación.	
Segregación:	No son necesarias precauciones especiales.	
Condiciones de Almacenamiento:	Consérvese los envases cerrados.	
8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL		
Componentes con limites de exposición:	Ninguna. Asegurar una ventilación adecuada.	
Protección Personal:	Gafas.	
9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS		
Aspecto	Estado	Granulado
	Color	Amarillo verde
	Olor	Ninguno
DATOS DE SEGURIDAD IMPORTANTES		
Punto de Fusión	----	°C
Punto de Ebullición	----	°C
Punto de Destello	----	°C
Descomposición térmica	>300	°C
Temperatura de Inflamación	----	°C

Auto inflamabilidad	----			
Propiedades oxidantes	Ninguna			
Limites de exposición	Inferior	Superior		
Presión de vapor	No data			
Densidad	No data			
Solubilidad en agua	25	g/l	a	30 °C
	250	g/l	a	90 °C
pH	7-8,5			1 g/l
Coefficiente de reparto	log Pow			
Viscosidad				
10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD				
Condiciones a evitar	No dangerous reactions known.			
Materiales a evitar	Ninguno.			
11. INFORMACION TOXICOLOGICA				
Toxicidad aguda	(LD50)	>5000	mg/kg	Ratas (oral)
Irritación primaria	(Piel)	No irritante	EC 83	Conejos
	(Ojos)	Lesiones Oculares graves	EC 83	Conejos
Efectos Negativos en el hombre	No se conocen efectos negativos			
12. INFORMACIONES ECOLOGICAS				
Bioeliminación:	20 - 30 % TOC/DOC Analysis		OCDE 303A(mod)	
Resumen:	Moderada eliminación por absorción sobre lodo			
DATOS ECOTOXICOLOGICOS				
Toxicidad para el efluente:	BST	>300	mg/l	
Bacterias	Cl50			
Toxicidad para los peces:	CLO	56	mg/l	
	CL50	56	mg/l 96 h Zebra fish	
Resumen	Nocivo para los organismos acuáticos (ModeloCE)			
Comportamiento en las plantas de tratamiento	Nitrification inhibition test (ISO 9509), EC50>300 mg/l			
INFORMACION ECOLOGICA ADICIONAL				
DBO5	0	mgO2/g	DQO	1760 mgO2/g COT 50%
Contenido de fósforo	-			
Contenido de halógeno orgánico	-			
Contenido de metales	-			
Producto ensayado	Metal content under the ETAD-recommended limits			