

Universidad Autónoma Agraria
“Antonio Narro”

División de Ingeniería



Evaluación de la calidad y eficiencia de aplicación de boquillas de
aspersión en cultivos de espaldera

Por:

Juan José Vázquez Martínez

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Agrícola

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de la calidad y eficiencia de aplicación de boquillas de aspersión en
cultivos espaldera

Por:

Juan José Vázquez Martínez

Tesis

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado

Presidente del Jurado

Ing. Blanca E. De la Peña Casas

Sinodal

Sinodal

Dr. Martín Cadena Zapata

M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Coordinador de la División de Ingeniería

M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre de 2004

I.	Introducción	
	Antecedentes	1
	Procedimientos para tratamientos fitosanitarios	4
	Importancia de las actividades de evaluación de la maquinaria agrícola	6
	Objetivo e hipótesis	8
II.	Revisión de literatura	
	Plagas de las plantas hortícolas	9
	Plagas y enfermedades de los principales cultivos de espaldera	10
	El control químico en cultivos de espaldera	12
	Métodos de aplicación de pesticidas por aspersión	15
	Funciones de las boquillas de aspersión	17
	Importancia del tamaño de gota	23
	Métodos modernos para analizar el espectro de gota y eficiencia de boquillas de aspersión	30
	Determinación del tamaño de gotas por un método práctico	37
	Importancia de la calidad y eficiencia de aplicación de boquillas de aspersión	40
III	Materiales y métodos	
	Descripción del banco de pruebas	43
	Metodología de evaluación en laboratorio	44
	Descripción de la evaluación de boquillas	46
	Cálculo del Diámetro Volumétrico Medio y del Diámetro Medio	47
IV	Resultados y discusión	
	Valores del Diámetro Medio y número medio de gotas tomados manualmente de las tarjetas asperjadas	52
	Valores del Diámetro Medio y Diámetro Volumétrico Medio resultantes por medio de análisis gráfico	52
	Resultados del análisis gráfico de las tarjetas asperjadas	56
	Resultados de la uniformidad en el tamaño de las gotitas	56
	iii	
	Resultados del tamaño óptimo de gotitas según los objetivos de los pesticidas	63
V	Conclusiones y recomendaciones	
	Conclusiones	70
	Recomendaciones	71
VI	Literatura citada	72
VII	Anexos	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 2.5-a	Elementos de las boquillas de aspersión 17
Fig. 2.5-b	Características de las boquillas de aspersión 18
Fig. 2.5.1-a	Boquilla Cono Hueco 18
Fig. 2.5.1-b	Boquilla Cono Lleno 19
Fig. 2.5.1-c	Boquilla Chorro sólido 19
Fig. 2.5.1-d	Boquilla Abanico 19
Fig. 2.7.1-a	Analizador electrónico de proyección de imagen 32
Fig. 2.7.1-b	Componentes del analizador Malvern de partículas 34
Fig. 2.7.1-c	Espectrómetro PMS Modelo OAP-2D GA2 35
Fig. 2.7.1-d	Componentes del analizador Aerometrics PDPA 36
Fig. 2.8-a	Representación diagramática del Diámetro Volumétrico Medio 38
Fig. 2.8-b	Gráfica del porcentaje acumulado contra el diámetro medio de las gotitas para calcular el DM y el DVM 39
Fig. 3.1.1	Estructura para la colocación de la boquillas hidráulicas 43
Fig. 3.1.2	Elementos del sistema de aspersión 44
Fig. 3.2-a	Colocación de las tarjetas sobre la planta 45
Fig. 3.2-b	Aspersión realizada sobre la planta 45
Fig. 3.3.1-a	Posición de las tarjetas sobre la planta 47
Fig. 3.4.1	Tarjetas asperjadas escaneadas con denotación de los cuadros 49
Fig. 3.4.2	Denotación de 1 cm ² con 25 celdas de división 51

v

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.6.1 Velocidad de caída de las gotas	26
Tabla 2.6.2-a Exigencia en gotas por unidad de superficie y tamaño de las mismas según el tratamiento	27
Tabla 2.6.2-b Gotas con tendencia a la deriva	28
Tabla 2.8.1 Ejemplo de los cálculos requeridos para determinar el DM y DVM	39
Tabla 4.2-a Datos del 1er cm ² de la tarjeta 1111	53
Tabla 4.2-b Datos del 2º cm ² de la tarjeta 1111	54
Tabla 4.5.1 Escala de tamaños óptimos de gotitas para objetivos seleccionados.....	63
Anexo A-4 Valores de Diámetro Medio y número de gotas tomados manualmente de las tarjetas asperjadas para las dos boquillas	129
Anexo A-5 Datos resultantes del Diámetro Medio y Diámetro Volumétrico Medio para las dos boquillas	132

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 4.2-c Valores del Diámetro Medio para los centímetros cuadrados de la tarjeta 1111	55
Gráfica 4.2-d Valores del Diámetro Volumétrico Medio para los centímetros cuadrados de la tarjeta 1111	55
Anexo A-2 Gráficas de datos de DVM y DM para la boquilla 1 (Cono hueco)	79
Anexo A-3 Gráficas de datos de DVM y DM para la boquilla 2 (Abanico)	104

RESUMEN

Esta Investigación se realizó con el fin de aportar información a cerca de cómo evaluar boquillas de aspersión bajo diversos factores que simulan operaciones agrícolas cotidianas en aplicaciones de pesticidas; estos factores son: presión, tipo de boquillas, gotas y alturas, se llegó a esta determinación ya que la influencia que tienen estos interactúa en la calidad y eficiencia de aplicación de productos químicos.

Se evaluaron dos boquillas, las que presentaron mejor uniformidad de distribución en referencia a aplicaciones en cultivos de espaldera en la investigación realizada por Mellado G. (2003), dichas boquillas son: Disco D-2, con núcleo DC31 (cono hueco) y AI110015VS (abanico).

Este proyecto da continuidad a la propuesta de evaluar boquillas de aspersión, pero ahora tomando en cuenta la eficiencia de aplicación, en referencia a los dos tipos de boquillas antes determinadas como las mejores, para comprobar la veracidad de resultados que se obtuvieron, además de comprobar que tan eficiente es la metodología de prueba que se utilizó.

Los resultados obtenidos demuestran que la boquilla más eficiente para aplicaciones de insecticidas y funguicidas es la Disco D-2, con núcleo DC31 (cono hueco) ya que está diseñada para trabajar a presiones más altas de las que se utilizaron y por consiguiente se puede aumentar la presión y regular la separación de boquillas si se desea, para obtener un tamaño determinado de gotitas en relación al objetivo al que se desea aplicar.

Se pone énfasis en la calidad en la aplicación de las boquillas en cultivos de espaldera por que es la principal dificultad que se presenta cuando estos cultivos son invadidos por alguna plaga o enfermedad sobre todo en la etapa de fructificación; aunado a que la mayor parte de los usuarios ponen poca o nula atención al tamaño de las gotitas que son los principales activos para el combate de plagas, provocando esto que en la época de aplicación se pierda en el suelo hasta un tercio de la sustancia que va dirigida al cultivo.

Además una mala calidad en la aspersión trae como consecuencia que los pesticidas no surtan efecto, lo que conduce a realizar dos o más aplicaciones de un producto; y dichas aplicaciones ejercen una presión de selección sobre una plaga, eliminando los individuos más susceptibles y los más resistentes se convierten en los progenitores de las próximas generaciones, provocando eventualmente el problema de resistencia a los pesticidas disponibles en el mercado.

Existen muchos diferentes tipos de boquillas hidráulicas disponibles para pulverizar pesticidas. Los mayores fabricantes de boquillas ofrecen una amplia gama de rangos, cada uno disponible con un extensivo conjunto de diferentes caudales, perfiles de distribución y ángulos de pulverización; pero en todos los casos los usuarios son los que deben deducir cual es la boquilla correcta para una aplicación específica.

I. INTRODUCCIÓN

En México, la mecanización agrícola ha tenido un gran auge ya que hoy en día el uso de implementos ha traído como consecuencia una mejor calidad e incremento significativo en la producción de cultivos.

Una de las áreas que sin duda representa gran importancia en la agricultura es el control de plagas, animales y vegetales que atacan a los cultivos evitando su óptimo desarrollo y provocando grandes pérdidas a los productores y con la invención de equipos pulverizadores se ha hecho más eficiente el combate de las plagas y malezas (Balam, 1997).

1.1 ANTECEDENTES

El avance conseguido en la mecanización agraria, sobre todo después de la segunda guerra mundial, ha sido espectacular, prácticamente el 80% de los trabajos agrícolas se realizan mediante medios mecánicos, en los países más avanzados (Stone, 1970).

Durante los últimos veinte años los fabricantes han desarrollado equipos, cada vez más sofisticados, donde los componentes electrónicos van sustituyendo a los sistemas mecánicos en el control de las variables de trabajo. Por otro lado la seguridad y ergonomía en el manejo de las máquinas agrícolas toma un papel relevante en el diseño, sin duda impuesto por los continuos accidentes que año tras años se vienen produciendo entre los agricultores (Gulvin, 1975).

Desde hace mucho tiempo, cuando pulverizadores se volvieron más sofisticados las boquillas son los elementos fundamentales que influyen en la uniformidad de la distribución, tamaño de las gotas, uniformidad de dicho tamaño en el tiempo a lo largo de todo tratamiento, etc. Las funciones que siempre han desarrollado las boquillas son (Thornhill 1996):

- a) Romper la vena líquida que circula por los conductos y convertirla en gotas de pequeño tamaño.
- b) Limitar la cantidad de líquido que sale según la presión que le suministran los equipos de bombeo.
- c) Imprimir al chorro de gotas una determinada dirección y forma que será en función del tipo de boquilla utilizada.

Típicamente la mayoría de las puntas de boquillas usadas en agricultura se fabrican hoy en plástico duro resistente al desgaste. “Kematal” es un ejemplo de material usado. Si se utiliza un plástico inapropiado, el agua es absorbida por el plástico afectando el caudal por el cambio en el tamaño del orificio. Las boquillas de plástico moldeado son más baratas de fabricar que las de bronce y en general poseen una duración similar. Sin embargo, la duración de cualquier punta de boquilla dependerá del líquido y de las partículas que son forzadas a través de ella bajo presión.

Existe un amplio rango de diferentes tipos de boquillas hidráulicas disponibles para pulverizadores mecanizados. Las boquillas de abanico son usadas principalmente para pulverizar herbicidas y también otros pesticidas en cultivos tales como trigo. Las boquillas de cono son usadas principalmente para insecticidas y funguicidas cuando se pulveriza el follaje de cultivos de hoja tales como papas. Las boquillas de abanico uniforme son usadas para aplicar una estrecha banda de pulverizado. Las boquillas preorificio son empleadas cuando la derivación debe ser minimizada, pero debe entenderse que un cambio en el diámetro de volumen medio no elimina todas las pequeñas gotas derivables.

La calidad de pulverizado es importante para lograr la cobertura adecuada del objetivo, ya sea este el follaje o el suelo y para minimizar la derivación del pulverizado hacia otros organismos. Las boquillas se desgastan tal que la descarga de cada boquilla debería verificarse regularmente y reemplazarse las boquillas gastadas para evitar caudales de aplicación excesivos. El tamaño del orificio de la boquilla debería ser seleccionado para un determinado caudal a la presión requerida y así obtener la calidad de pulverizado recomendable. La cobertura de pulverización puede verificarse con trozos de papel sensible al agua ubicados donde debería depositarse el pesticida (Bogliani 2000).

La organización para la agricultura y la alimentación de las naciones unidas (FAO), establece que la mecanización agrícola comprende la manufactura, distribución, operación, evaluación y adaptación de todo tipo de herramientas, implementos, máquinas y equipos para la incorporación de tierras al cultivo, producción agrícola cosecha y procesamiento primario de productos agrícolas. Esto incluye tres fuentes principales de potencia: humana, animal y mecánica. Basados en estas tres fuentes principales de potencia, los niveles tecnológicos de mecanización han sido clasificados en: Tecnología de herramientas manuales, tecnología para tracción animal y tecnología de potencia mecánica.

Se considera a México dentro de la cuarta y más elevada categoría de países en desarrollo, pues su sector agropecuario proporciona ocupación al 40% de la población económicamente activa y aporta alrededor del 22% del producto interno bruto (PIB) nacional, por lo que a pesar de contar con regiones de alta productividad agrícola como el Noroeste y el bajío, es en términos generales, un país con baja productividad agrícola. Por lo que se debe procurar encausar los esfuerzos hacia la obtención de más altos rendimientos por unidad de superficie cultivada, es decir, un aumento de la productividad (FAO 1996).

1.2 Procedimientos para tratamientos fitosanitarios

Dentro de las prácticas culturales, está comprendida la protección de cultivos contra las malas hierbas y la lucha contra plagas, enfermedades, y riesgos meteorológicos, que inciden de forma negativa sobre la producción. Esta lucha puede realizarse por procedimientos químicos, físicos y biológicos. Además de estas plagas, existen otras de animales superiores, tales como roedores, aves, etc., cuya forma de combatirlas es totalmente diferente y no vamos a referirnos a ellas.

Los procedimientos químicos, en la actualidad son los más utilizados, si bien se tiende cada vez más a buscar alternativas de lucha biológica que ofrecen menos riesgo de contaminación. Entre los productos químicos, si se refiere al cometido específico de los mismos, se puede distinguir los siguientes grupos (Monro, 1976):

- a) *Insecticidas*, contra insectos.
- b) *Funguicidas*, contra hongos.
- c) *Herbicidas*, contra las especies de plantas adventicias que compiten con el cultivo.
- d) *Acaricidas*, nematocidas, bactericidas, etc.
- e) *Defoliantes*, inducen la caída de las hojas del cultivo para favorecer su recolección mecánica.
- f) *Aclaradores*, actúan sobre flores y frutos para mejorar la calidad del producto final.

En general, un tratamiento fitosanitario debe satisfacer las siguientes premisas (Taylor, 1982):

- Distribución uniforme.
- Buena penetración en la masa vegetal.
- Retención por la planta.
- Un mínimo número de impactos por unidad de superficie de la planta o el suelo.
- Mínima deriva y pérdida de producto.
- Economía del proceso.
- No ocasionar riesgos de contaminación medioambiental.

Los especialistas en Ingeniería Mecánica Agrícola deben de poner aguda atención en la tecnología que engloba a toda la agricultura de precisión y los problemas que presentan las máquinas agrícolas aplicadas en la misma tecnología, principalmente en las máquinas de dosis variables como sistemas de siembra, fertilización y aplicación de pesticidas.

En las prácticas fitosanitarias, la calidad de aplicación de las boquillas en cultivos de vara alta es la principal dificultad que se presenta cuando estos cultivos son invadidos por alguna plaga o enfermedad. En la época de aplicación se puede perder en el suelo hasta un tercio de la sustancia aplicada al cultivo.

Para mantener el control de una plaga, a menudo se incrementan las dosis para compensar las pérdidas por arrastre, por ejemplo, si para matar un insecto se necesitan 3×10^{-2} gr. de insecticida, para matar una población de un millón de ellos se necesitarían solo 30 mg si todo el insecticida llegara al objetivo; sin embargo para lograr un control efectivo en el campo se emplean cantidades hasta 3,000 veces mayor (Brown 1951). Es por eso de la importancia que tiene la calidad de aplicación, para que la cantidad de aplicación sea la que le corresponde al tipo de cultivo.

Además, una mala calidad de aspersión trae como consecuencia que los pesticidas no surtan efecto, lo que conduce a realizar dos o más aplicaciones de un producto; y dichas aplicaciones ejercen una presión de selección sobre una plaga, eliminando los individuos más susceptibles y los más resistentes se

convierten en los progenitores de las próximas generaciones, provocando eventualmente el problema de resistencia a los pesticidas disponibles en el mercado. Todo esto implica una baja en la productividad debido a las actividades erróneas de aplicación de pesticidas utilizando boquillas de mala calidad y por consiguiente da como resultado pérdidas en las utilidades que perjudican al agricultor.

1.3 Importancia de las actividades de evaluación de la maquinaria agrícola.

Los productores agrícolas se interesan en la introducción de las máquinas agrícolas, sin embargo, tienen que correr mucho riesgo al intentar adquirirlas ya que no existe un sistema confiable de aseguramiento de la calidad y de la funcionalidad de las mismas.

En México, se consideran como tareas prioritarias de políticas agropecuarias, la modernización de la explotación agrícola y el mejoramiento del estatus social y económico de los habitantes de zonas rurales, a través del aumento de la productividad por el fomento de la mecanización de las labores agrícolas de los productores de pequeña escala. Por lo tanto, para promover la mecanización agrícola, es necesario establecer un sistema de pruebas y evaluación de las máquinas agrícolas, para asegurar la calidad, la durabilidad y la funcionalidad de estas máquinas que se usan en el campo, así como la seguridad de las mismas.

La realización de este trabajo nos garantiza que se puede determinar si la calidad y eficiencia de aplicación de boquillas de aspersión en cultivos de vara alta es buena o mala; además de aportar una nueva metodología para llevar a cabo evaluaciones de boquillas que se utilizan en labores fitosanitarias en cultivos variados.

Con una investigación de este tipo el Departamento de Maquinaria Agrícola sobresale con iniciativa, ya que el país requiere de Instituciones que lleven a cabo investigaciones para determinar que la maquinaria disponible en el mercado cumpla con las características deseadas por los agricultores.

Este proyecto considera la aplicación de las normas de prueba y evaluación a la maquinaria agrícola en México, para que los agricultores tengan la seguridad de adquirir maquinaria y equipos que les garanticen la mayor eficiencia y resultados en sus labores. La que se utilizará como base es la Norma Mexicana NMX-0-179-SCFI-2002 (TRACTORES, IMPLEMENTOS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA TIPO AGUILÓN DE TRACCIÓN MECANICA, ACCIONADA POR LA TOMA DE POTENCIA DEL TRACTOR), ya que ésta es la que establece las especificaciones mínimas de calidad, métodos de prueba para evaluar el funcionamiento, facilidad y seguridad de operación, así como durabilidad de las aspersoras tipo aguilón de tracción mecánica accionadas por la toma de potencia del tractor que se han de comercializar en la República Mexicana (Secretaría de Economía, 2002).

La implementación de esta norma garantiza que con la aplicación de la metodología de prueba y evaluación se obtenga la información con la cual se pueda calificar el desempeño y la calidad de la máquina; esto es de suma importancia, ya que con los datos derivados de las pruebas y evaluaciones de boquillas, se generará una herramienta que podrá utilizar el usuario final (agricultor), para seleccionar el equipo, la técnica y la parte económica que le garantice el mejor resultado en su sistema de producción.

1.4 OBJETIVO E HIPOTESIS

➤ Objetivo general.

- Evaluar la uniformidad de aplicación de boquillas de aspersión en cultivos de vara alta, usando dos tipos de ellas: AI 110015-VS (abanico) y Disco D-2, con núcleo DC31.

➤ Objetivo específico.

- Validar el procedimiento de evaluación de boquillas de aspersión descrito en la norma NMX-0-179-SCFI-2002.

➤ Hipótesis.

Las dos boquillas bajo evaluación son las adecuadas para la aplicación de insecticidas y fungicidas en cultivos de espaldera.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plagas de las plantas hortícolas

Ervin (1988), señala que desde los inicios de la historia, la humanidad ha sido importunada con los estragos ocasionados por las plagas sobre las plantas de cultivo tal como se mencionan algunos pasajes de la Biblia al respecto.

Otras páginas de la historia también registran el impacto de las plagas de las plantas hortícolas sobre el destino de gran número de personas. La enfermedad epidémica del tizón que atacó a los cultivos de papa en Irlanda ocasionó la hambruna de 1849, que dio como resultado la migración de muchos irlandeses hacia el Hemisferio Occidental.

A pesar de su larga historia y de nuestras técnicas perfeccionadas de cultivo, el control de plagas continúa siendo uno de los principales problemas del agricultor. Las pérdidas debidas a las plagas de los cultivos hortícolas ascienden a billones de dólares anuales en todo el mundo. Esta pérdida está integrada no solo por los campos de cultivo destruidos por las plagas, sino también por los gastos adicionales para combatirlas y las horas extra de trabajo necesarias para controlarlas. Todo esto significa costos y pérdidas, los cuales no estarían implicados si las plagas no constituyeran un problema universal.

2.2 Plagas y Enfermedades de los principales cultivos de espaldera.

El cultivo del tomate en el estado de Sinaloa ocupa el primer lugar en especies hortícolas, si se considera la superficie cultivada y la cantidad de empleos que genera.

Según Messiaen (1995), las principales plagas que atacan este cultivo en orden de importancia en esta región son: el gusano alfiler, *Keiferia lycopersicella*; el gusano soldado, *Spodoptera exigua* y dos especies de gusano del fruto, *Heliothis zea* y *Heliothis verescens*. En tanto que las principales enfermedades son: las enfermedades bacterianas, Roña y sarna bacteriana, *Alternaria solani*, Phoma destructiva, *Corynespora cassiicola* y el Mildiu del tomate que es causado por *Phytophthora infestans*.

Para el combate químico los fungicidas de tipo “bencimidazol” no surten efecto frente a la *Alternaria*, resultan poco eficaces contra Phoma y *Corynespora* ya que se adaptan fácilmente a ellos. Contra estas micosis deben utilizarse preferentemente fungicidas de eficacia general; mancozeb, propineb, clortalonil, etc.

De acuerdo con Mortensen (1990), la berenjena es otro cultivo importante que se adapta especialmente a climas calientes, siendo cultivada fácilmente en los trópicos y los principales insectos que atacan este cultivo son los siguientes: pulgones (afidios), chinche rayada, mayate pulga, gusano carnudo y mosca blanca; para su combate se recomienda una aspersión con Malathion. Las principales enfermedades de la berenjena son: pudrición de las plántulas, pudrición del fruto y marchitez debido al *Verticillium*.

En México el Tizón temprano (*Alternaria solani*) es la principal dificultad que afrontan los estados de Morelos, Sinaloa, Michoacán, San Luis Potosí, Guanajuato, Estado de México y otras pequeñas áreas en donde se cultiva la berenjena.

Para su control se recomienda aspersiones de productos químicos como el Maneb, Manzate 200, Captafol ó la combinación de Maneb-Zinc, Zineb, Cupravimix, Benomyl, Dyrene, Daconil, Dithane-M45, Euparen e Iprodiona.

Según Jacques (1975), los pimientos, sobre todo cuando se cultivan en grandes extensiones se encuentran con numerosos enemigos; champiñones, bacterias o insectos que pueden causar graves enfermedades.

Los insectos principales que atacan al pimiento son: gusanos carnudos y el picudo del pimiento; para su combate se recomienda aplicar Toxafeno cada semana o 10 días. Las enfermedades principales para este cultivo son: antracnosis, mancha bacterial de la hoja, pudrición del pedúnculo, pudrición de las plántulas, marchitez fungosa y mosaico (Mortensen, 1990).

De datos tomados por Jeppson (1975) se registró que para el cultivo del pepino, uno de los más importantes en México, la principal plaga son los ácaros fitófagos, los cuales pueden ser: *Tetranychus ludeni* y *Tetranychus macfalanei*.

Otros insectos que atacan el cultivo del pepino son: pulgones gusano del pepinillo y escarabajos (*Diabrotica sp.*); para su combate se recomienda aplicar Carbaryl (servin) a intervalos semanales y como precaución no aplicar un día antes de la cosecha. Las principales enfermedades que atacan a este cultivo son: mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*), tizon foliar temprano (*Alternaria cucumerina*), mancha foliar del pepino (*Corynespora cassicola*); para su control actualmente se cuenta con información preeliminar que indica que las aspersiones semanales de fungicidas tales como Dyrene, Delsene M, 1.5 kg/ha, pueden controlar satisfactoriamente las enfermedades (Ramírez y Pérez, 1991).

En las zonas cañeras de México se han identificado cincuenta especies de insectos, cinco especies de roedores, cuatro de nemátodos y tres de pequeños artrópodos, según la incidencia o ataque que se tiene en las zonas cañeras.

Las plagas de mayor importancia para este cultivo son: salivazo o mosca pinta (*Aeneolamia postica*) y barrenador del tallo (*Diatraea spp*); para su combate y control se recomienda aplicar insecticidas de mayor uso como el B.H.C. al 3% o sevín al 80%. De las enfermedades que afectan a la caña se han identificado dieciocho especies, de las cuales las de mayor importancia económica en el país son: raquitismo de las socas, mancha de ojo, raya roja y mosaico (García, 1980).

2.3 El control químico en cultivos de espaldera.

2.3.1 Tipos y propiedades físicas de los productos Thornhill, 1996.

Thornhill (1996) describe que los productos fitosanitarios pueden presentarse de forma sólida, líquida o gaseosa. Para su aplicación en forma líquida generalmente se requieren tres componentes.

- a) Materia activa. Es el agente químico que actúa sobre los distintos mecanismos fisiológicos de las especies a combatir. Su contenido suele expresarse en g/l, tanto por ciento, o partes por millón de producto comercial.

- b) Mojante. Una o varias sustancias, presentes o no en el producto comercial, de carácter tensioactivo. Su función es la de facilitar la dispersión del producto en el diluyente (agua), así como la de adherirse a la planta o parásito.
- c) Diluyente. Dispersa la materia activa, normalmente es agua o un producto inerte. La concentración tras la mezcla debe proporcionar una distribución eficaz sin carencias ni que presente problemas de toxicidad. La dosis materia activa / diluyente viene expresada en cm^3/l .

2.3.2 Los productos fitosanitarios que se distribuyen en *estado líquido* se pueden presentar en forma de:

- a) Solución: Disolución total del producto en agua.
- b) Emulsión: El producto se dispersa en el agua en forma de pequeñas gotas.
- c) Suspensión. Partículas sólidas que no se disuelven en el agua.

2.3.3 La mayor parte de los productos fitosanitarios se distribuyen por medio de dispositivos capaces de dividir el líquido en pequeñas gotas que se localizan uniformemente sobre la masa vegetal.

La formación de las gotas puede realizarse por tres procedimientos (Monro H., 1982):

- a) Pulverización de presión de líquido.

La división de gotas se produce cuando el líquido, impulsado a una determinada presión, atraviesa una pequeña sección de una tobera en contacto con el ambiente. La resistencia que opone la tobera a la penetración de la vena líquida genera su fragmentación en gotas a la par que estas adquieren la energía cinética necesaria para su transporte. El dispositivo encargado de la

fragmentación es la boquilla de pulverización; caracterizada por la sección de paso, forma de la misma y presión de trabajo.

b) Corriente de aire.

El pulverizado de la boquilla hidráulica es proyectado solamente unos pocos centímetros hacia el objetivo tal que con arbustos altos y árboles es necesario movilizar las gotas de pulverizado mediante una corriente de aire. Los pulverizadores utilizados se conocen comúnmente como atomizadores. Idealmente las gotas de pulverizado están en el rango de tamaño de atomizado, es decir 50 – 100 μm VMD para que puedan permanecer en el flujo de aire hacia el cultivo.

Es necesario considerar cuidadosamente dos aspectos de la asistencia por aire; la velocidad y el volumen por aire.

c) Fuerza centrífuga.

Las gotas se deben a una fuerza centrífuga que somete a la vena líquida a un esfuerzo de tracción. Este traccionamiento se realiza depositando el líquido sobre unas aspas o disco que gira a una velocidad de 4000 a 20,000 r.p.m. Las gotas serán más pequeñas conforme la velocidad sea mayor. Sin embargo, las gotas más pequeñas serán más sensibles a la deriva y a la evaporación. El diámetro de gotas oscila entre 50 y 100 micras. Este sistema se emplea generalmente en los tratamientos aéreos. El aparato empleado es el pulverizador centrífugo.

Aunque de estos tres procedimientos es el de presión de líquido el que a nosotros nos interesa.

2.4 Métodos de aplicación de pesticidas por aspersión.

Según Hernández C., 1985; Se le llama aspersión a la acción de romper un líquido en pequeñas gotas. En esta acción se derivan otras para diferentes campo de trabajo o estudio; la que en esta investigación se aplicará es la aspersión agrícola y esta acción consta de llevar las gotas al cultivo en la cantidad y forma adecuada.

2.4.1 Existen varios tipos de aspersión agrícola, como por ejemplo:

- a) Aspersión dirigida
- b) Aspersión Total o al voleo
- c) Ventilador
- d) Pistola

2.4.2 Dentro de las labores en el campo al realizar aplicaciones de pesticidas se pueden llevar a cabo las siguientes aplicaciones (Taylor, 1981):

a) Al voleo

Para aplicaciones al voleo se deben tomar en cuenta que se necesita cubrir el área total del campo en donde se realiza la actividad, se deben utilizar boquillas de bordes ahusados, este tipo de boquillas son las que dejan pasar más cantidad de líquido al entro que en los extremos; así también es muy necesaria la calibración del equipo, alistar la aspersora para la aplicación y diagnosticar el gasto de las boquillas.

b) En banda

Al realizar las **aplicaciones en banda** el objetivo principal es cubrir completamente la planta y utilizar boquillas de borde rectos; estas son las que dejan pasar igual cantidad de líquido a lo largo de la aspersión, se pueden utilizar también tubos de caída con varias boquillas, pero además es necesaria también la calibración del equipo, alistar la aspersora para la aplicación y diagnosticar los gastos de las boquillas.

c) Dirigidas

La **aplicación dirigida** consiste únicamente en realizar aspersiones por medio de pistolas y se utiliza por lo general para árboles frutales.

Para realizar una aspersión adecuada se necesita eficiencia, esto es, que produzca el efecto deseado, además se necesita controlar la aspersión y para esto se deben controlar todas las variables para aplicar la cantidad adecuada en toda la superficie.

2.4.3 Variables que se deben considerar:

- a) Variables controlables: presión, gasto, tamaño de gota, etc.
- b) Variables no controlables: Humedad, temperatura, viento, etc.
- c) Otro de los aspectos que se deben tomar en cuenta es la uniformidad, ya que se debe aplicar la misma cantidad de producto en toda el área de cultivo.

Es necesario recordar que las plagas entran por los extremos por lo que es muy importante aplicar la misma cantidad de producto en toda el área. Es más fácil ver cuando la aplicación no es uniforme en un invernadero, pues se nota como las plantas de las orillas crecen menos al recibir menor cantidad de nutrientes. Para obtener la aspersión se tiene que obligar al líquido por medio de

presión, a pasar a través de un orificio. Y para esto es necesario utilizar una boquilla de aspersión, que es un componente de precisión diseñado para desempeñar funciones específicas.

2.5 Funciones de las boquillas de aspersión.

La boquilla de aspersión, a pesar de ser la parte más pequeña de un sistema o aspersora, es la parte más importante ya que de ella depende que se tenga una buena o mala aplicación ya que la boquilla regula el flujo, determina el patrón de aspersión y el tamaño de gota (Spraying Systems Co.).

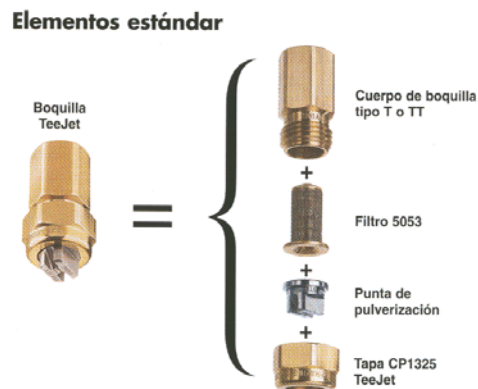


Fig. 2.5-a Elementos de las boquillas de aspersión

Existen muchas clases de boquillas que producen diferentes caudales, ángulos de pulverización, tamaños de gota y perfiles. Algunas características de estas puntas de pulverización están indicadas por el número correspondiente de la punta.

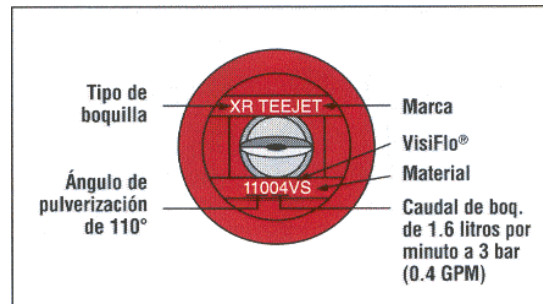


Fig. 2.5-b Características de las boquillas de aspersión

Las principales funciones de las boquillas de aspersión son: (Catalogo 48M-E Teejet)

2.5.1 Formar patrones de aspersión.

El patrón de aspersión es la forma que toma el líquido al salir a través de la boquilla. Algunos de los patrones son:

- a) Cono Hueco; en el cual no hay gotas al centro.



Fig. 2.5.1-a Boquilla Cono Hueco

- b) Cono Lleno; el área esta totalmente llena de gotas, ideal para ventilador.



Fig. 2.5.1-b Boquilla Cono lleno

- c) Chorro Sólido; que se utiliza para fertilizantes incorporados al suelo, las gotas no se rompen.



Fig. 2.5.1-c Boquilla Chorro sólido

- d) Abanico; Existen dos tipos:
- Bordes Ahusados. Menor cantidad de líquido en los extremos que en el centro.
 - Bordes Rectos: Misma cantidad de líquido en todo lo largo de la aspersión.

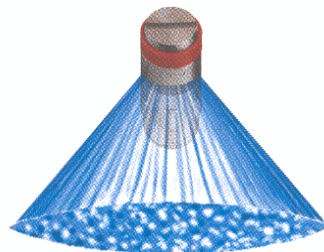


Fig. 2.5.1-d Boquilla Abanico

2.5.2 Dosificar el flujo del líquido.

Las boquillas son capaces de proporcionar un gasto específico a una presión dada en un tiempo determinado, como por ejemplo: 40 gal/min a 40 lb/pulg².

2.5.3 Generar gotas.

Las boquillas son capaces de romper la corriente del líquido en pequeñas gotas que se miden en micras o micrones, una micra mide $\mu = 0.001$ mm; para la agricultura, las gotas van desde 200 hasta 600 micras, como por ejemplo tenemos:

- a) Grafito de lápiz = 2000 micras
- b) Clip = 850 micras
- c) Cabello humano = 100 micras

2.5.4 Generar impacto.

El impacto es la fuerza de choque de la aspersión sobre la superficie del objetivo. Entre más cerrado sea el ángulo de aspersión, mayor será el impacto.

2.5.5 Generar velocidad de aspersión en el flujo del líquido.

Es la velocidad que tiene el líquido al salir del orificio de la boquilla. Mientras el líquido está dentro de la línea tiene presión. Una vez que sale del orificio ya no tiene presión, sino que tiene velocidad.

2.5.6 En las diferentes boquillas que se comercializan existen diversos factores que afectan la aspersión, tales como los siguientes (Catalogo 48M-E Teejet):

- a) Presión. La fuerza que impulsa el líquido a través de la boquilla.
- b) Angulo. Es la abertura de los borde del patrón de aspersión.
- c) Capacidad. Es la cantidad de líquido que pasa a través del orificio a una presión determinada en un tiempo dado.
 - Para duplicar el gasto de una boquilla es necesario aumentar 4 veces la presión.
- d) Líquido. Tiene diferentes propiedades que pueden afectar la aspersión:
 - Gravedad específica o densidad: Relación que existe entre la masa de un volumen dado de un líquido con respecto a la masa del mismo volumen de agua. Esta afecta principalmente a la capacidad de la boquilla.
 - Viscosidad. Resistencia del líquido a cambiar de forma. Afecta principalmente al patrón de aspersión.
 - Tensión superficial: Fuerza de adhesión entre las moléculas. Esta afecta principalmente a la presión mínima de trabajo.
 - Temperatura: La temperatura no afecta directamente al funcionamiento de la boquilla, pero si afecta las propiedades del líquido; como la densidad, viscosidad y tensión superficial; un ejemplo muy claro es el aceite, que cuando es muy viscoso le cuesta trabajo fluir, pero si se calienta, fluye más fácil.

2.5.7 Vida útil y mantenimiento de las boquillas. (Stone, 1983)

Las boquillas no están diseñadas para durar eternamente. El desgaste de la boquilla se caracteriza por un aumento en la capacidad de la boquilla seguido por

un deterioro del patrón de aspersión. Cuando una boquilla presente un 10 % mas de gasto en comparación con una boquilla nueva, es necesario reemplazarla.

Si tenemos un aguilón con 21 boquillas, es necesario rectificar 2 o 3 boquillas y si estas tiran un 10 % mas, es necesario reemplazarlas todas. Para comprobar el desgaste se recomienda utilizar un cronómetro, un manómetro y un recipiente calibrador o utilizar un comprobador de boquillas de Spraying Systems.

2.5.8 Desgaste.

Harold, 1980; nos dice que las principales causas de desgaste son el uso constante de las boquillas, la utilización de productos abrasivos, el aumento de la presión de trabajo; ya que a mayor presión existe mayor desgaste y la limpieza inadecuada; porque nunca deben utilizarse clips, clavos u objetos de metal.

Para prevenir el desgaste prematuro se recomienda no pasar de la presión recomendada, utilizar boquillas de mejor calidad, utilizar boquillas con el gasto adecuado y elegir el material adecuado; ya sea bronce, acero inoxidable, polímero, cerámica, acero inoxidable endurecido, etc.

2.6 Importancia del tamaño de gota.

Los investigadores han revelado la importancia del tipo de gotas de aspersión para optimizar el combate de plagas (Muller, 1969). Este autor enfatiza que una buena aspersión es aquella que está constituida por gotas de tamaño

uniforme, sin embargo, la característica de la mayoría de los equipos y formulaciones, es que, al realizar la aspersión se forma un amplio rango de tamaño de gotas simultáneamente, las cuales son afectadas por el viento, la turbulencia y la evaporación, principalmente las de tamaño menor a los 150 micrones.

Akesson (1972), refiere que el objetivo de una aplicación es depositar el material activo donde es más efectivo, lo que guarda relación con el tamaño y espectro de gotas que se esté utilizando en la aplicación. Al respecto, Junco (1978) señala que el control del tamaño de las gotas es de importancia decisiva en la reducción de la deriva, debida al viento y a las corrientes convectivas ascendentes o térmicas, con pérdidas hasta de un 50% del material activo.

El tamaño de las gotas es altamente importante si se quiere obtener una aplicación eficiente con un mínimo de contaminación del medio (Matthews, 1979) y se agrega que lo más comúnmente usado internacionalmente para la medición de las gotas es el diámetro volumétrico medio (D.V.M.) medido en micrones, que se define como el diámetro que divide el volumen de la aspersión en dos partes iguales, de manera que la mitad del volumen es asperjado con gotas menores al DVM y la otra mitad con gotas de tamaño superior.

El diámetro numérico medio (DNM), que sigue en orden de importancia, es el diámetro medio de gota sin referencia alguna a su volumen, que otorga considerable énfasis a las gotas más pequeñas. Se agrega que como la medición de DVM y DNM es afectada por la proporción de gotas grandes y pequeñas respectivamente, el cociente entre estos diámetros es una indicación precisa del rango de gotas, por lo que la mayor uniformidad del espectro de tamaño de gotas se consigue con cocientes que tiendan más hacia uno.

Spellman (1982) destaca que la elección del tamaño de las gotas debe estar basada en primer lugar, en la efectividad biológica sobre el objetivo y que desde luego, el tipo de producto juega su papel y debe tenerse presente, además que las gotas más pequeñas son más propensas a ser desviadas por el viento fuera del objetivo de aplicación, favoreciéndose más la evaporación; por otro lado las gotas más grandes pueden provocar grandes pérdidas hasta un 50% y más de ingrediente activo por escurrimiento.

El mero crecimiento en la cantidad ya sea volumen o ingrediente activo sin un ajuste adecuado de los requisitos de aspersión no conduce necesariamente a un incremento de los depósitos sobre el objetivo (UK, 1982).

Felber (1980) apunta que el tamaño de las gotas (DMV) influye en la cobertura, recobrado, deriva, penetración en el cultivo, la evaporación y el escurrimiento y agrega que las gotas de menor tamaño son de baja velocidad de caída en el aire y más propensa a la deriva, aunque son de mejor penetración en el interior del follaje de la planta y que un asperjado fino se evapora mucho más rápido que un asperjado grueso, ya que el primero posee una superficie mayor donde la evaporación ocurre.

Wilson (1963) y Smith (1975) (citado por May et al, 1978) reportaron que el espectro de gotas con un DVM de 460 micrones fue tan efectivo como el DVM de 100 micrones en la eliminación de varias plagas en cultivos de hilera y que las gotas de 500 micrones no aseguran una buena efectividad sobre las enfermedades. Apuntan además dichos autores, que las gotas de 100-140 micrones resultan ser más efectivas en la lucha contra los insectos en algodón que gotas de 250-300 micrones; sin embargo, las gotas muy pequeñas incrementan la deriva.

Matthews (1979) refiere como tamaño de gota óptimo de 30-50 micrones para el control de insectos en el follaje y de 40-100 micrones en aplicaciones dirigidas al follaje de la planta.

Existen diferentes opiniones acerca del tamaño óptimo de gota. El criterio más generalizado se inclina a que las gotas más pequeñas ofrecen un mayor efecto biológico y tienen mayor penetración y distribución en el follaje de la planta.

La gota es la portadora del ingrediente activo. Del conocimiento de la gota dependerá el grado de efectividad biológica sobre el objetivo a controlar. La gota como elemento físico individual es cuantificable tanto numérica como volumétricamente.

En la práctica muchos pulverizados hidráulicos se usan con una gran proporción del volumen conteniendo gotas entre 100-500 μm de diámetro, la distribución real depende del tipo de boquilla y la presión de operación. Luego de la proyección inicial del pulverizado, la trayectoria de las gotas está subsecuentemente determinada por los efectos de gravedad, viento y otros factores discutidos más abajo. La gravedad afecta la velocidad a la cual las gotas caen hacia el suelo, por lo cual las gotas más pequeñas que caen lentamente son más afectadas por el movimiento del aire.

2.6.1 Velocidad terminal de gotas en aire estancado

Tamaño de gota μm	Velocidad de caída m/s
200	0.721
100	0.279
50	0.075
10	0.003

Tabla 2.6.1 Velocidad de caída de las gotas

Pretendiendo minimizar la derivación ha habido una tendencia a aplicar pulverizados más gruesos con gotas más grandes, lo cual influenciará la eficiencia de distribución de un pulverizado. Incrementando el volumen de pulverizado aplicado en grandes gotas puede reducirse la retención sobre la cubierta del cultivo tal que un alta proporción de pesticida puede perderse en el suelo.

El pulverizado se pierde especialmente cuando se aplica un volumen tan grande que el líquido gotea del follaje. Esta pérdida puede contribuir, en el caso de químicos persistentes a una gran polución del agua subterránea.

2.6.2 Tamaño de las gotas en función del tipo de tratamiento.

Para lograr un mayor efectividad en la absorción de la materia activa, cada tipo de tratamiento requiere un número mínimo de gotas, así como un determinado tamaño de las mismas.

En la tabla 2.6.2-a se muestran las exigencias en función del tratamiento, cantidades y tamaño de gotas.

Tratamiento	Cantidad mínima de gotas por cm ²	Tamaño de las gotas (μm)
Funguicida	50 –70	150 – 250
Insecticida	20 –30	200 – 350
Herbicida de contacto	30 –40	200 – 400
Herbicidas de presembrado y preemergencia	20 – 30	400 – 600

Abonos líquidos	5 - 15	500 – 1000
-----------------	--------	------------

Tabla 2.6.2-a Exigencias en gotas por unidad de superficie y tamaño de las mismas según el tratamiento.

Durante la aplicación de productos químicos para la protección de cultivos, se usa el término deriva del chorro para describir aquellas gotas que contienen los productos químicos y que no se depositan en la superficie objetivo. Estas gotas tienden normalmente a ser pequeñas, de menos de 150 micras de diámetro y son desplazadas fácilmente del área objetivo por los vientos o algunas otras condiciones climatológicas. La deriva puede ocasionar que los productos químicos de protección a los cultivos se depositen en áreas no apropiadas con consecuencias sumamente serias, como por ejemplo:

- Daños a cultivos adyacentes que sean sensibles a los productos químicos.
- Contaminación de agua.
- Riesgos a la salud de personas y animales.
- Probable contaminación de la superficie objetivo y áreas adyacentes o posibilidad de aplicación en exceso en la superficie objetivo.

Un dato del tamaño de gota, útil para la determinación del potencial de deriva de un aboquilla, es el porcentaje de gotas finas que tienden a la deriva. Puesto que las gotas pequeñas tienen una mayor tendencia a desviarse, es conveniente establecer el porcentaje de gotas pequeñas de una determinada boquilla, a fin de reducirlo al mínimo cuando la deriva sea un problema. Se considera que las gotas inferiores a 200 micrones contribuyen potencialmente a la deriva. En la tabla 2.6.2-b que aparece a continuación figuran varias boquillas con sus porcentajes correspondientes de gotas con tendencia a la deriva.

Tabla 2.6.2-b Gotas con tendencia a la deriva.

Tipo de boquilla (1.16L/min Flow)	Porcentaje del volumen de líquido pulverizado inferior a 200 micrones	
	1.5 bar	3 bar
XR TeeJet 110°	14%	34%
XR TeeJet 80°	2%	23%
DG TeeJet 110°	<1%	20%
DG TeeJet 80°	<1%	16%
TT – Turbo TeeJet	<1%	12%
TF – Turbo FloodJet	<1%	<1%

Estos valores han sido determinados por Spraying Systems Co. en el laboratorio a temperatura ambiente.

El tamaño de gota constituye un factor muy importante cuando la eficacia de un determinado producto químico aplicado en el cultivo dependa del grado de cobertura, o cuando sea prioritario evitar que el líquido pulverizado salga del área de aplicación.

La mayoría de las boquillas utilizadas en la agricultura puede clasificarse como productoras de gotas finas, medias o gruesas.

Las boquillas que dan gotas finas, suelen recomendarse para aplicaciones de post-emergencia que requieran una excelente cobertura sobre la superficie de las hojas. Las boquillas más comunes en la agricultura son las que producen gotas de tamaño medio. Dichas boquillas se pueden utilizar con herbicidas de contacto y sistémicos, herbicidas aplicados en superficie en pre-emergencia, insecticidas y fungicidas.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de elegir una boquilla de pulverización que produzca un tamaño de gota de las diferentes categorías, es que una boquilla puede producir diferentes tipos de tamaño de gota a distintas presiones. Una boquilla puede dar gotas de tamaño medio, a bajas presiones y producir gotas finas a medida que se incrementa la presión.

Cuando tenemos gotas más pequeñas, tenemos mas cobertura o mayor superficie de contacto, sin embargo, tendremos mayor deriva, que es el envío de gotas fuera del objetivo deseado. Se han diseñado boquillas anti-deriva como son la DG (Drift guard) o la TT (Turbo TeeJet) que producen gotas más grandes y reducen el número de gotas pequeñas que son las que tienden a derivarse.

2.7 Métodos modernos para analizar el espectro de gota y eficiencia de boquillas de aspersión.

Los fabricantes de boquillas indican en su catálogo la calidad de pulverizado obtenido con las diferentes puntas de boquillas y presiones de operación. Estas estimaciones de calidad están basadas en mediciones del espectro de gota. El espectro de gota afecta la extensión de la cobertura de pulverización y la extensión a la cual algunas de las gotas serán transportadas por el viento. (E. W. Thornhill, 1994)

La medición del tamaño de las gotas en estos pulverizados se ha facilitado enormemente en años recientes por el desarrollo de sistemas de luz láser usando tecnología computacional para procesar gran cantidad de información muy rápidamente.

El tamaño medido en micrómetros, es usualmente dado como el diámetro de volumen medio (VMD) de pulverizado, en el cual la mitad del volumen del líquido contiene gotas que son mayores que VMD y la otra mitad son menores. Una medición no entrega el panorama total, tal que en algunos estudios se hace referencia al número de diámetro medio (NMD) en el cual la mitad de las gotas en número son ya sea menores o mayores que NMD.

Una comparación de la razón entre estos dos parámetros (VMD/NMD) entrega una indicación del rango de tamaños de gota producidos. Los ingenieros usan otras medidas para describir el pulverizado, como son, las evaluaciones mediante programas de computadora.

2.7.1 Métodos e Instrumentos utilizados para analizar la aspersion.

a) Los métodos e instrumentos a través del tiempo

Hay muchos métodos y los instrumentos disponibles para recoger datos del tamaño de la gota. Tras repetidos resultados en distintas pruebas son esenciales para comparar datos para el buen funcionamiento de la boquilla utilizar los métodos de prueba que consideran todas las variables potenciales en la técnica de muestreo, los métodos e instrumentación. Pulverizando agua en una cacerola de aceite y cerrando el pulverizador, es posible contar y clasificar gotas individuales usando un microscopio. Esta técnica todavía es utilizada por algunos investigadores. Los problemas con este método implican la fusión de la gota, el tamaño de muestra inadecuado y el hecho de que las gotas muy pequeñas son

desviadas lejos del aceite por las corrientes de aire en la superficie debido a la velocidad del pulverizador. También, gotas más grandes pueden dividirse al tocar la superficie. (Spraying Systems Co., 2000)

El mismo tipo de método se utiliza al pulverizar un tinte sobre una tarjeta inmóvil, o agua sobre papel sensible al líquido. Una vez más las gotas pequeñas se desviaron lejos del blanco y las gotas grandes se dividieron en el impacto. Los datos recogidos por estos métodos dependen de un número de variables incontroladas que dan resultados de la prueba generalmente irrepetibles.

Mientras que los datos del tamaño de la gota eran recogidos en los comienzos de los años 50 usando métodos tales como fotografía de destello, probablemente el primer descubrimiento verdadero la tecnología de la gota es el desarrollo en 1961 de un analizador automatizado de la proyección de imagen.

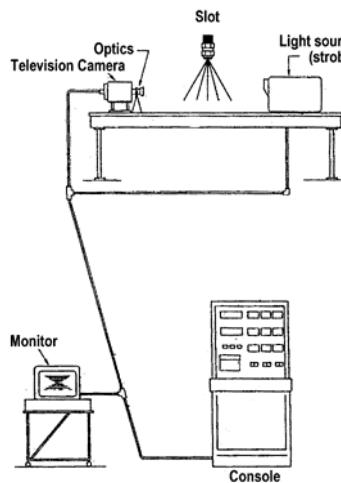


Fig. 2.7.1-a Analizador electrónico de proyección de imagen.

El analizador electrónico de la proyección de imagen fue desarrollado en Spraying Systems Co. Por el Dr. Verne Dietrich y construido por la división de Dage de TRW, ciudad de Michigan, Indiana. Al diseño le fue concedida la patente 3275733 de los E.E.U.U. en septiembre de 1966, y

está actualmente en su segunda generación. (Spraying Systems Spain, S.L., 2003)

Básicamente, el analizador electrónico de la proyección de imagen incorpora la técnica espacial de la medida usando una luz del estroboscópico para iluminar el pulverizador y para registrar la imagen con un tubo de vidicon. Se explora la imagen, y las gotas se clasifican y se separan en diversas clases. Los datos que resultan se pueden corregir matemáticamente usando datos de la velocidad para dar una distribución del flujo. Los resultados erróneos en el desarrollo de este dispositivo incluyeron enmascarar, profundidad de las variaciones del campo y la saturación del tubo del vidicon. Estos resultados fueron reconocidos y corregidos. El analizador del tipo de la proyección de imagen todavía es promovido activamente por algunos fabricantes de boquillas. La disponibilidad limitada de este tipo de instrumento, sin embargo, previno a investigadores independientes y otros miembros interesados de la comunidad de analizadores del tamaño de la gota a verificar los datos recogidos de las pruebas y compararlos en diseños similares.

Más recientemente el desarrollo de los analizadores comercialmente disponibles del tamaño de la gota hace factible para verificar resultados del tamaño de la gota por fuentes independientes. Esta nueva clase de analizadores incorpora láser, la óptica especial y el trazado de circuito digital para reducir al mínimo el error de la proyección de imagen. Alguno de los fabricantes más comúnmente reconocidos de los instrumentos de la medida del láser es Malvern, sistema que miden de la partícula (PMS), y Aerometrics. Lo que sigue es un análisis de tres de sus instrumentos.

b) Analizador de Partícula Malvern

El analizador de Malvern, que se considera un dispositivo espacial del

muestreo, utiliza el hecho de que una gota del pulverizador causará en la luz láser la dispersión a través de un ángulo en el diámetro de la gota (véase la figura 2.7.1 – b).

Se mide la intensidad de luz dispersada usando una serie de diodos semicirculares en la foto. Teóricamente, la distancia de los diodos individuales en la foto y las funciones de la intensidad son necesarias calcular la distribución del tamaño de la gota. Un programa se utiliza para convertir la distribución de la intensidad de luz en varias funciones de distribución empíricas del tamaño de la gota.

Puesto que el Malvern tiene cierto diagnóstico propio, las fuentes de error potenciales son más fáciles de identificar. El instrumento se debe alinear y calibrar periódicamente usando diapositivas de depósitos con distribuciones grabadas al agua fuerte conocidas de la gota.(Spraying Systems Co., 2000)

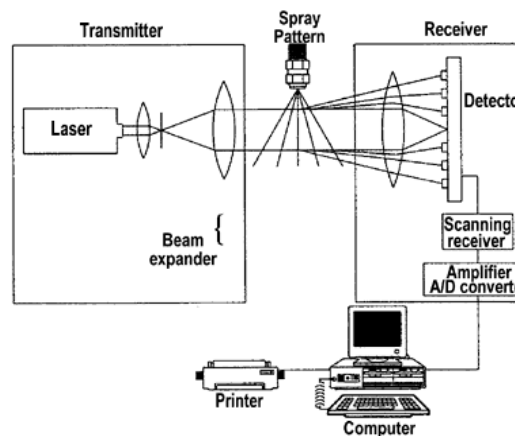


Fig. 2.7.1 – b Componentes del Analizador Malvern de Partículas

Quizás la fuente más grande de error con este tipo de instrumento es la dispersión múltiple. Si el pulverizador es demasiado denso, hay una posibilidad que la luz dispersada a partir de una gota se puede dispersar otra vez por otras gotas más lejanas. El Malvern se equipa de un indicador llano del "oscurecimiento" que determina si el pulverizador es demasiado denso, pero tal determinación es a menudo difícil. Para evitar esto en el laboratorio, el técnico separa la boquilla más

lejos o utiliza un blindaje especial para permitir que solamente una porción del pulverizador entre en el área de la muestra.

c) Sistemas que miden la Partícula

Los sistemas que miden de la partícula, también conocidos como PMS, producen instrumentos conocidos como puntas de prueba ópticas. La punta de prueba óptica de PMS es un instrumento de muestreo del flujo. Mientras que las gotas pasan a través del plano de muestreo, las gotas se clasifican y se cuentan, proporcionan la información necesaria para determinar la velocidad.

La escala gris de dos dimensiones OAP puede proporcionar caída a la medida en dos rangos, 100 y 6200 micrones y 200 a 12.400 micrones. Es actualmente el más sofisticado ofrecido por PMS. (Spraying Systems Co., 2000)

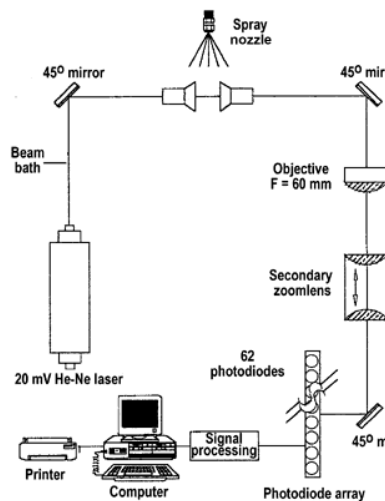


Fig. 2.7.1 – c Espectrómetro PMS Modelo OAP – 2D GA2

Las puntas de prueba grises de la escala de PMS OAP son muy avanzadas y tienen una autodiagnosís muy cualificada. Estas puntas de prueba rechazarán automáticamente las imágenes de la gota que estén desenfocadas o que no satisfacen una serie de requisitos previamente establecidos. Los problemas con

las unidades de PMS se centran generalmente en la calibración o el mantenimiento incorrecto. La óptica tiende a humedecerse fácilmente y la limpieza y la alineación requieren una cierta habilidad. También, los pulverizadores densos tienden a sobrecargar el trazado de circuito y a menudo es necesaria una reducción del área de muestreo. Es necesario recalcar que es necesaria la corrección del área del muestreo y las ecuaciones de la distribución de la gota a la hora de hacer el análisis.

d) Analizador Aerometrics

El analizador de la partícula de Doppler de Aerometrics, o PDPA, es un dispositivo del muestreo y un instrumento sensible al flujo. El instrumento requiere realizar varias veces la prueba de pulverización para obtener una muestra de la distribución del flujo de pulverización. (Spraying Systems Co., 2000)

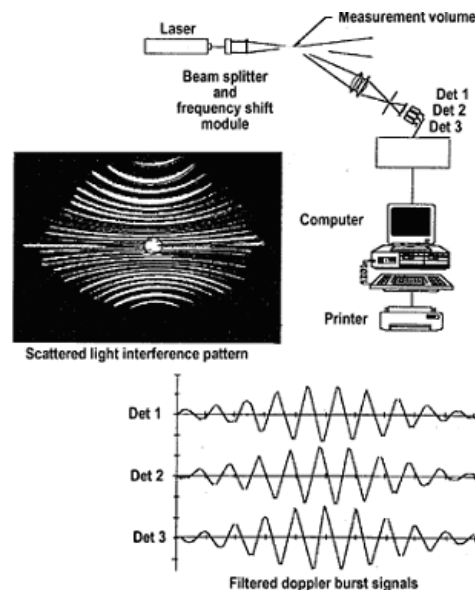


Fig. 2.7.1 – d Componentes del Analizador Aerometrics PDPA

El PDPA utiliza un láser de baja potencia que se divide en dos vías utilizando un divisor y un módulo de la frecuencia. Los dos rayos láser se intersectan otra vez en una sola vía en la localización del volumen de muestra.

Cuando una gota pasa con la región de la intersección de los dos rayos láser, un modelo de la franja de interferencia es formado por la luz dispersada.

Puesto que la gota esta en movimiento, los barridos del modelo de interferencia tras la abertura del receptor Doppler es proporcional a la velocidad de la gota. La frecuencia espacial es inversamente proporcional al diámetro de la gota.

Aerometrics ofrece a una fibra opcional que aísla el instrumento de pulverización y elimina el error potencial debido a la vibración causada por el contacto directo con los pulverizadores más grandes en capacidad.

Otros instrumentos de medida de la gota que están comercialmente disponibles, utilizan los láser y funcionan generalmente utilizando los principios que hemos definido aquí. Y con esto se puede determinar la calidad de aplicación de boquillas de aspersión.

Lamentablemente es muy difícil tener acceso a estos aparatos debido a su alto costo y difícil operación; y es por eso que se buscan otras alternativas que estén completamente a nuestro alcance para lograr la evaluación eficiente de las boquillas de aspersión que se comercializan en nuestro país.

2.8 Determinación del tamaño de gotas por un método práctico.

El tamaño de gotas puede determinarse por métodos prácticos, sin embargo el método más preciso (Matthews G. A. 1987) es aquel donde se determina el Diámetro Volumétrico Medio (DVM) y el (NMD) Diámetro Numérico Medio; para la determinación de dichos diámetros primeramente se obtienen muestras de

aspersión a través de tarjetas hidrosensibles, que son el colector más comúnmente usado en las aspersiones de base agua. Este método es importante por que se centra únicamente en el tamaño de las gotitas para determinar que tan fina o buena calidad de aspersión se realizó.

Según Matthews (1987), para expresar el tamaño de las gotitas, el parámetro más ampliamente usado es el diámetro mediano (dm) expresado en micras (μm). Una muestra representativa de gotita de una aspersión se divide en partes iguales por volumen, de tal manera que la mitad del volumen contenga gotitas más pequeñas que aquellas cuyo diámetro corresponde al valor de la mediana y la otra mitad del volumen contiene gotitas más grandes. Unas cuantas gotitas pueden formar una gran proporción de la aspersión y en es forma aumentar el valor de la mediana del diámetro.

El diámetro volumétrico mediano es el diámetro promedio de las gotitas sin referirse a su volumen. Con lo anterior se da gran importancia a las gotitas pequeñas.

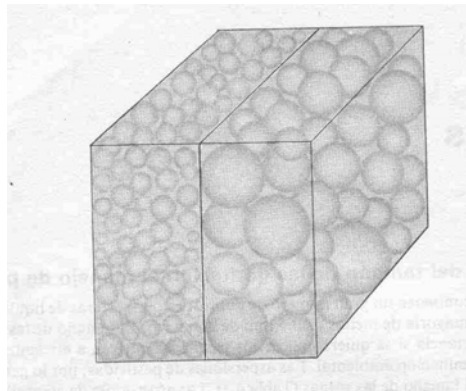


Fig. 2.8-a Representación diagramática del DVM.

La mitad del volumen de la aspersión contiene gotitas más grandes que el valor del dvm mientras que la otra mitad tiene gotitas más pequeñas.

Debido a que la medición del dm y del dvm es afectada respectivamente por la proporción de gotitas pequeñas y grandes, a menudo la relación entre esos parámetros es una indicación de la gama de tamaños, de tal manera que entre

más uniforme sea el tamaño de las gotitas la razón entre ellas se aproxima más a 1.

En la tabla 2.8.1, se presenta un ejemplo del cálculo del diámetro medio (dm). El número de gotitas de cada clase se registra en la columna N. Luego se calcula el porcentaje de gotitas y el porcentaje acumulado se representa gráficamente en papel de probabilidades logarítmicas contra el diámetro medio (fig. 2.8.2) que se escoge porque no todas las gotitas que hay en un rango específico de tamaño son tan grandes como el máximo de una clase dada. Como el volumen de la esfera es $\pi d^3/6$ y $\pi/6$ es un factor común, se calcula el cubo del diámetro medio y se multiplica por el número de gotitas de la clase (Ndm^3). Esas cifras luego se expresan como porcentajes del volumen total de la muestra y los porcentajes acumulados se trazan en la misma gráfica (fig. 2.8.2). Entonces el dm y el dvm se leen en la misma intersección del 50% y en el ejemplo son respectivamente 30 y 50 μm . Para calcular los parámetros de las gotitas se puede usar un programa de computadora.

Reticulo Núm.	Clase superior de tamaño (D)	Límite superior del tamaño (d)	Tamaño promedio (dm)	Número en la clase (N)	%N	Σ %N	dm^3	Ndm^3	% Ndm^3	Σ % Ndm^3
4		13.2								
5		18.8	16	33	6.5	6.5	4096	135 168	0.3	0.3
6		26.5	22.6	97	19.1	25.6	11 543	1 119 671	2.3	2.6
7		37.5	32	150	29.6	55.2	32 768	4 915 200	10.0	12.6
8		53	45.25	143	28.3	83.5	92 652	13 249 236	26.9	39.5
9		75	64	66	13.0	96.5	262 144	17 301 504	35.1	74.6
10		106	90.5	17	3.3	99.8	741 217	12 600 689	25.5	100.1
11		150	128							
12		212	181							
13	780	300	256							
Total: 506					Total: 49 321 468					

Tabla 2.8.1 Un ejemplo de los cálculos requeridos para determinar el dm y dvm (Matthews 1975).

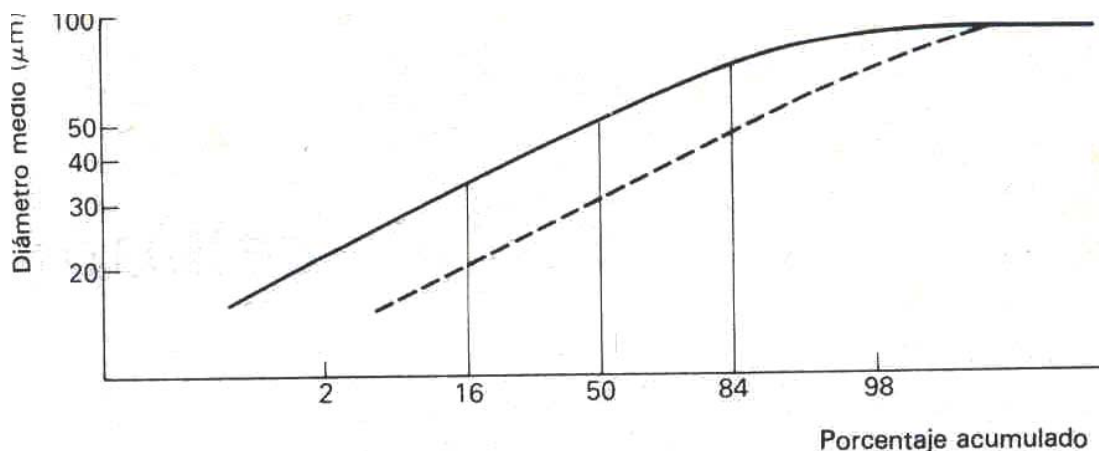


Fig. 2.8-b Gráfica del porcentaje acumulado contra el diámetro medio de las gotitas para calcular el dm (curva continua) y el dvm (curva punteada).

2.9 Importancia de la calidad y eficiencia de aplicación de boquillas de aspersión.

La aplicación de pesticidas debe ser considerada en el contexto del manejo integrado de plagas. Debe enfatizarse los métodos de control cultural y biológico, pero los pesticidas siguen siendo un componente importante en el manejo integrado de plagas. Sin embargo los pesticidas necesitan usarse juiciosamente sólo cuando las poblaciones de plagas están causando pérdidas de cultivo económicamente serias. Se requiere la elección cuidadosa de pesticidas más selectivos con técnicas de aplicaciones seguras y mejoradas para lograr control efectivo con mínimo impacto sobre el ambiente. Las condiciones meteorológicas afectan la dispersión de las gotas y la deposición dentro del techo del cultivo, tal que la selección de boquillas y las condiciones de operación son importantes (E. W. Thornhill, *et al*, 1996).

La aplicación controlada de gotitas, abreviada AGC, no sólo pone de resalto la importancia de aplicar el tamaño correcto de gotitas para un objetivo dado, sino también de la uniformidad del tamaño de las gotitas para optimizar el uso de dosis y volúmenes mínimos para lograr un control efectivo. Es una extensión lógica del

concepto de ULV (volúmenes ultra bajos), el objetivo del cual es aplicar el volumen mínimo compatible con el logro de un control económico. Las formulaciones de polvos humectables y de concentrados emulsificables pueden ser aplicados con técnicas de AGC, pero si con gotitas de menos de 100 μm de diámetro la evaporación tiene que reducirse o si se necesita un coadyuvante para incrementar la redistribución de las mismas o su penetración en la cutícula, entonces se requiere una formulación especial.

Sólo recientemente la aplicación de gotitas controladas ha alcanzado prominencia, después del empeño tomado por J. Fryer, director de la Weed Research Organisation en el Reino Unido para mejorar la aplicación de herbicidas (Matthews, 1977).

Sin embargo, Fraser (1958) y otros, desde hace muchos años resaltaron la necesidad de una boquilla que produjera una gama reducida de tamaños de gotitas para aumentar la proporción de aspersion que llegara al objetivo. La amplia gama de tamaños de gotitas que producen la mayoría de las boquillas conduce a pérdidas debidas al arrastre, al escurrimiento o a ambas causas, de tal manera que la eficiencia de las aspersiones convencionales es reducida.

Los arrastres pueden reducirse, pero no eliminarse con cambios en la formulación. Así, cuando se agregan a la misma, aditivos para aumentar la viscosidad y agentes antiespumantes, el tamaño medio de las gotitas aumenta (Butler, Akesson y Yates, 1969).

De manera similar, las formulaciones de emulsiones inversas están menos expuestas a arrastres, pero la cobertura que se obtiene con ellas es mala a menos que se apliquen unos 200 L/ha. Alternativamente, se pueden aplicar gránulos en vez de aspersiones, pero su mala retención en el follaje ha limitado su empleo en el combate de muchas plagas.

El volumen a asperjar depende no solo del tamaño seleccionado de la gotita, sino también de la densidad requerida. La misma densidad de gotitas (L/mm^2) se logra con tan poco como 500 ml/ha aplicando gotitas de 46 μm que con 1.8 L/ha con gotitas de 70 μm o con 200 L/ha con gotitas de 340 μm . Si para lograr el control de cierta plaga es suficiente una densidad de gotitas menor, se necesita menos líquido por área unitaria (G. A. Matthews 1987).

La calidad de la lámina de sustancia sobre el vegetal no responde en todos los aparatos pulverizadores a las exigencias de finura y distribución, según demuestran experiencias comparativas. La eficacia de una lámina de sustancia sobre el vegetal sólo puede enjuiciarse por su efecto biológico. Las comprobaciones químicas directas de la materia activa, completan el juicio sobre el efecto biológico, pero no lo sustituyen. En modo alguno está ya aclarada la cuestión de si, al disminuir la cantidad de sustancia debe exigirse el mantenimiento del mismo grado de recubrición de la superficie del vegetal, o sólo el mantenimiento del mismo número de gotas por unidad de superficie. Supongamos, por ejemplo, que se empleen con suficiente éxito 600 l/ha empleando gotas de un tamaño de 270 micras. En tal caso, al disminuir la cantidad de sustancia a 200 l/ha, es preciso reducir el tamaño de las gotas de 270 a 90 micras para lograr el mismo grado de recubrición. Por el contrario, para mantener el mismo número de gotas sin variación, también con 200 l/ha, ya hubiera sido suficiente disminuir el diámetro medio de las gotas de 270 a 188 micras.

La calidad del pulverizado es importante para lograr la cobertura adecuada del objetivo ya sea esta el follaje o el suelo y para minimizar la derivación del pulverizado hacia otros organismos. Las boquillas se desgastan tal que la descarga de cada boquilla debería verificarse regularmente y reemplazarse las boquillas gastadas para evitar caudales de aplicación excesivos. El tamaño del orificio de la boquilla debería ser seleccionado para un determinado caudal o la presión requerida y así obtener la calidad de pulverizado recomendada. Se debe evitar ajustar la presión ya que afecta el espectro de gota. El bloqueo del orificio puede ser minimizado instalando un filtro con la malla correcta en el cuerpo de la boquilla. La cobertura de pulverización puede verificarse con trozos de papel sensible al agua ubicados donde debería depositarse el pesticida (E. W. Thornhill, G. A. Matthews, 1996).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del banco de pruebas.

Para realizar la aspersión sobre las tarjetas hidrosensibles se utilizaron una Estructura y un Sistema de aspersión.

3.1.1 Descripción de la estructura.

En la estructura se realizaron 4 diferentes arreglos, el objetivo de estos es de que el traslape de la boquillas a diferentes espacios también sea un factor para evaluar la eficiencia y calidad de aplicación. Estos arreglos constan de una separación entre boquillas de 50 y 60 centímetros; y una separación de las barras horizontales o ancho de la estructura de 160 y 200 centímetros; dichas dimensiones permitieron el paso de un tractor Victor 300.



Fig. 3.1.1 Estructura para la colocación de las boquillas hidráulicas.
3.1.2 Sistema de aspersión.

El sistema permite caracterizar las condiciones a las cuales se operan las aspersiones de pesticidas. Este sistema de presión esta compuesto por los siguientes componentes: un motoreductor, bomba, válvula reguladora de presión, válvula distribuidora de flujo, manómetro, filtro.



Figura 3.1.2 elementos del sistema de aspersión.

3.2 Metodología de evaluación en laboratorio.

Se realizaron las pruebas de aspersión de las boquillas seleccionadas, utilizando tarjetas hidrosensibles

Se acondicionó una planta montada atrás del tractor simulando ser una planta del tamaño al que crecen las hortalizas mencionadas (tomate, pepino, pimiento).

Primeramente se enumeraron todas las tarjetas que se utilizaron antes de colocarlas; luego de enumerarlas se colocaron sobre las hojas de la planta sujetadas con grapas.



Fig. 3.2-a Colocación de las tarjetas sobre la planta

Se realiza la aspersión haciendo pasar el tractor por la estructura a una velocidad adecuada, considerando que existen las condiciones necesarias para una aspersión eficiente.



Fig. 3.2-b Aspersión realizada sobre la planta

Enseguida se recuperan cuidadosamente todas las tarjetas ya que se deben utilizar guantes de látex y pinzas para sujetarlas, por que de lo contrario se alteraría el colorante que surte la tarjeta.

3.3 Descripción de la evaluación de boquillas.

3.3.1 Factores de variación durante las pruebas de aspersión.

Durante las pruebas de aspersión que se realizaron para las dos boquillas se tuvieron 6 factores de variación con los cuales obtuvimos distintos comportamientos de cobertura de área y tamaño de gotitas para las dos boquillas. Esos factores son los siguientes:

➤ Dos tipos de boquillas:

- 1) Disco D-2, con núcleo DC31



- 2) AI110015-VS (Abanico)



➤ 2 arreglos, que incluye separación entre boquillas y separación de las barras portaboquillas.

- 1) 50 cm (entre boquillas) x 160 cm (entre barras portaboquillas)
- 2) 50 cm (entre boquillas) x 200 cm (entre barras portaboquillas)

- 3 diferentes presiones
 - 1) 120 psi
 - 2) 100 psi
 - 3) 160 psi
- Una velocidad uniforme
 - 1) 1ª. Alta 2200 rpm (
- 4 posiciones de las tarjetas al colocarlas sobre la planta.
 - 1) izquierda superior.
 - 2) Derecha superior.
 - 3) Izquierda inferior.
 - 4) Derecha inferior.

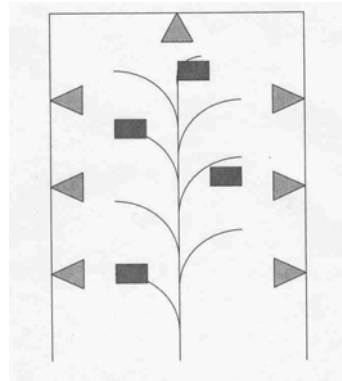


Fig. 3.3.1-a Posición de las tarjetas sobre la planta

3.4 Cálculo del DVM y DM

Para determinar dichos diámetros el trabajo se divide en tres etapas, que son: toma de muestras de aspersión, medición y análisis.

3.4.1 Etapa 1 (toma de muestras)

Las tarjetas después de ser asperjadas y secadas se les asignaron un número o clave, para clasificarlas; de esta manera fue más fácil su manejo y utilización. Las características del número que contiene cada tarjeta se describen a continuación:

- Todas las tarjetas tienen una clave con 4 números que indican los factores de variación a los que se realizó la aspersión.
- Leídos de izquierda a derecha, el primer número indica que tipo de boquilla se utilizó.
- El segundo número indica el arreglo que se utilizó al asperjar, es decir, la distancia entre las barras donde se encuentran las boquillas y la distancia de separación entre las mismas boquillas.
- El tercer número indica la presión de trabajo que se utilizó para asperjar.
- El cuarto número dice que posición ocupó la tarjeta sobre la planta.

Como un ejemplo del número de una tarjeta se tiene el siguiente:

1	2	3	1
---	---	---	---

La clave de esta tarjeta indica que al momento de asperjar se utilizó la boquilla 1 (cono hueco), con el arreglo 2 (50 x 200 cm), a una presión 3 (160 psi) y que en la planta, la tarjeta ocupó la posición 1 (izquierda superior).

Cuando se obtuvieron las tarjetas ya asperjadas, se clasificaron de acuerdo al número que le correspondía a cada una; entonces fue cuando se realizó el ordenamiento de las tarjetas. El total de tarjetas asperjadas por boquillas fue de

24, de las cuales se realizaron mediciones a todas y también se analizaron, tomando en cuenta los arreglos y presiones a los que fueron sometidos.

Se llevó a cabo el escaneado de las tarjetas utilizando una plantilla transparente que nos denotaba el área de 1 cm^2 en los extremos de la tarjeta. Después de obtener la imagen en la computadora, se utilizó un programa visor de imágenes llamado **ACDSee**, en el cual se manipuló la imagen extrayéndole los dos recuadros de 1 cm^2 los cuales posteriormente fueron ampliados para imprimirlos y así realizar las mediciones de las gotitas manualmente con un vernier y también con la ayuda de una lente.

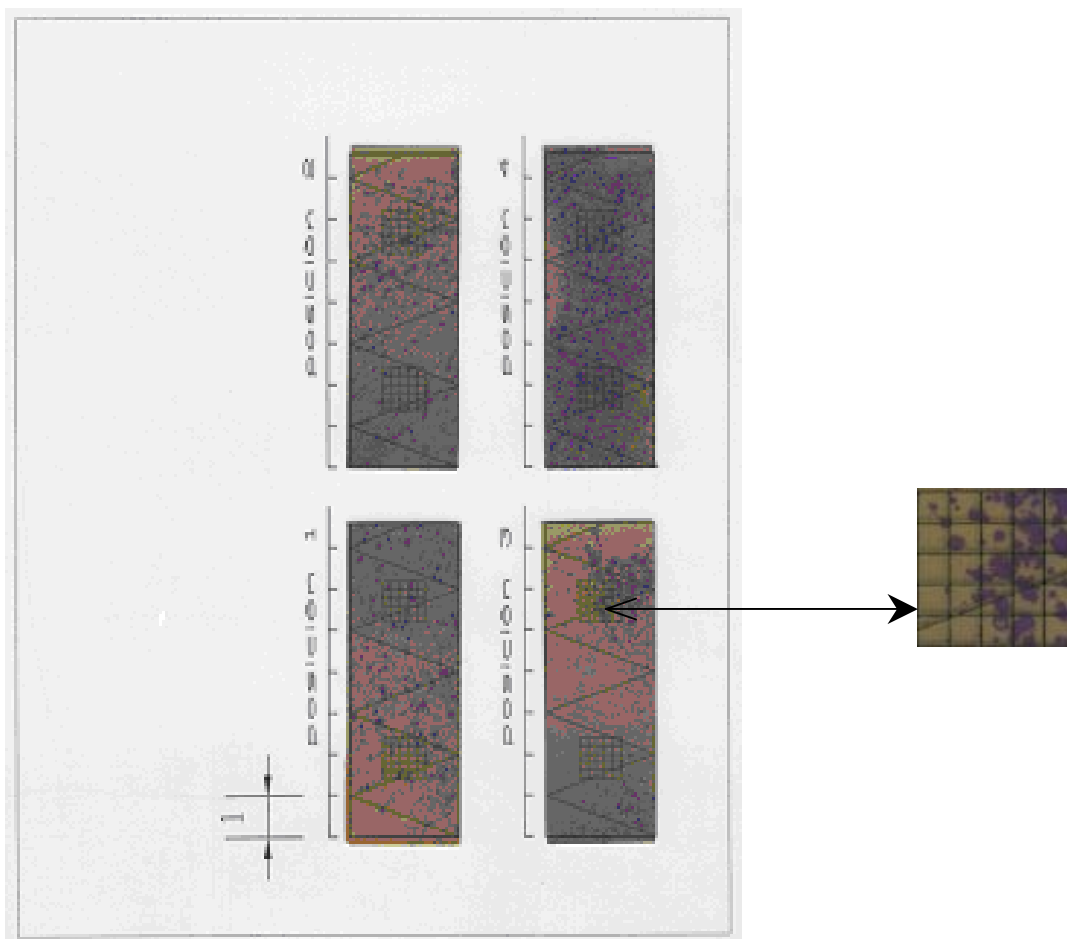


Figura 3.4.1 Tarjetas asperjadas escaneadas con denotación de los cuadros.

A continuación se enumeran todas las tarjetas resultantes correspondientes a la boquilla 1 (Disco D-2 núcleo DC31); ordenadas según el arreglo y la presión.

Arreglo 1	Presión 1	Presión 2	Presión 3
	1111	1121	1131
	1112	1122	1132
	1113	1123	1133
	1114	1124	1134

Arreglo 2	Presión 1	Presión 2	Presión 3
	1211	1221	1231
	1212	1222	1232
	1213	1223	1233
	1214	1224	1234

A continuación se enumeran todas las tarjetas resultantes correspondientes a la boquilla 2 (AI110015-VS, Abanico); ordenadas según el arreglo y la presión.

Arreglo 1	Presión 1	Presión 2	Presión3
	2111	2121	2131
	2112	2122	2132
	2113	2123	2133
	2114	2124	2134

Arreglo 2	Presión 1	Presión 2	Presión 3
	2211	2221	2231
	2212	2222	2232
	2213	2223	2233
	2214	2224	2234

3.4.2 Etapa 2 (Medición)

De cada tarjeta elegida se obtuvieron 2 cuadros de 1cm^2 ; y cada cuadro fue dividido en 25 celdas para analizar con exactitud el número y diámetro medio de las gotitas.

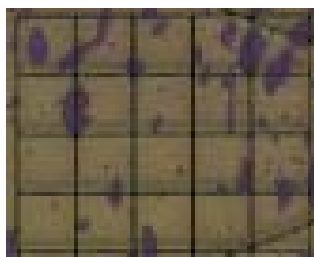


Fig. 3.4.2 Denotación de 1 cm^2 con 25 celdas de división.

3.4.3 Etapa 3 (Análisis)

Determinación del Diámetro Volumétrico Medio (DVM), (Matthews, 1987)

Se realizaron tablas en el programa EXCEL para ordenar los datos de medición resultantes de cada centímetro cuadrado.

El número de gotitas de cada clase se registra en una columna, luego se calcula el porcentaje de gotitas y el porcentaje acumulado se representa gráficamente contra el diámetro medio que se escoge. Como el volumen de la esfera es $\pi d^3/6$ y $\pi/6$ es un factor común, se calcula el cubo del diámetro medio y se multiplica por el número de gotitas de la clase (Ndm^3). Esas cifras luego se expresaron como porcentajes del volumen total de la muestra y los porcentajes acumulados se trazaron en la misma gráfica. Entonces el dm y el dvm se leen en la misma intersección del 50%.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Valores del Diámetro Medio (DM) y número medio de gotas tomados manualmente de las tarjetas asperjadas.

En las tablas expuestas en el anexo A-3 se describen los valores de diámetro medio y número de gotitas promedio que se obtuvieron en las tarjetas. Para la boquilla 1 (cono hueco).

4.2 Valores del DM y DVM resultantes por medio de análisis gráfico.

Los datos que se utilizaron para llegar a los resultados de DM y DVM que se localizan en el anexo A-4 primeramente fueron registrados en tablas de Excel, y como ejemplo se citan los datos para la tarjeta 1111; (boquilla cono hueco, arreglo 1, presión 1 y posición 1).

Los datos tomados manualmente que se utilizaron para realizar las gráficas de DM y DVM para la tarjeta 1111, son los que se muestran en las tablas siguientes:

TARJETA
1111

1er.
Cm2

Retículo	Diám. Medio	Núm. Gotas	% N	Σ %N	dm3	Ndm3	% Ndm3	Σ % Ndm3
19	0	0	0	0	0	0	0	0
11	78.13	2	3.08	3.08	476837.16	953674.32	0.01	0.01
12	78.13	3	4.62	7.69	476837.16	1430511.47	0.02	0.03
16	156.25	1	1.54	9.23	3814697.27	3814697.27	0.05	0.08
15	167.19	7	10.77	20.00	4673168.18	32712177.28	0.44	0.52
25	203.13	5	7.69	27.69	8380889.89	41904449.46	0.56	1.09
21	234.38	1	1.54	29.23	12874603.27	12874603.27	0.17	1.26
14	273.44	4	6.15	35.38	20444393.16	81777572.63	1.10	2.36
13	312.50	1	1.54	36.92	30517578.13	30517578.13	0.41	2.77
24	312.50	4	6.15	43.08	30517578.13	122070312.50	1.64	4.42
10	332.03	4	6.15	49.23	36604702.47	146418809.89	1.97	6.39
3	351.56	2	3.08	52.31	43451786.04	86903572.08	1.17	7.56
8	351.56	2	3.08	55.38	43451786.04	86903572.08	1.17	8.73
20	351.56	2	3.08	58.46	43451786.04	86903572.08	1.17	9.90
17	416.41	3	4.62	63.08	72202414.04	216607242.11	2.92	12.81
2	494.53	3	4.62	67.69	120943134.78	362829404.35	4.88	17.70
9	507.81	2	3.08	70.77	130951404.57	261902809.14	3.53	21.23
22	507.81	4	6.15	76.92	130951404.57	523805618.29	7.05	23.39
23	507.81	2	3.08	80.00	130951404.57	261902809.14	3.53	31.80
7	546.88	2	3.08	83.08	163555145.26	327110290.53	4.40	36.21
6	625.00	2	3.08	86.15	244140625.00	488281250.00	6.57	42.78
4	664.06	4	6.15	92.31	292837619.78	1171350479.13	15.77	58.55
5	781.25	2	3.08	95.38	476837158.20	953674316.41	12.84	71.39
18	781.25	1	1.54	96.92	476837158.20	476837158.20	6.42	77.81
1	937.50	2	3.08	100.00	823974609.38	1647949218.75	22.19	100.00
	398.91 Total =	65			63476434.24 Total =	7427435699		

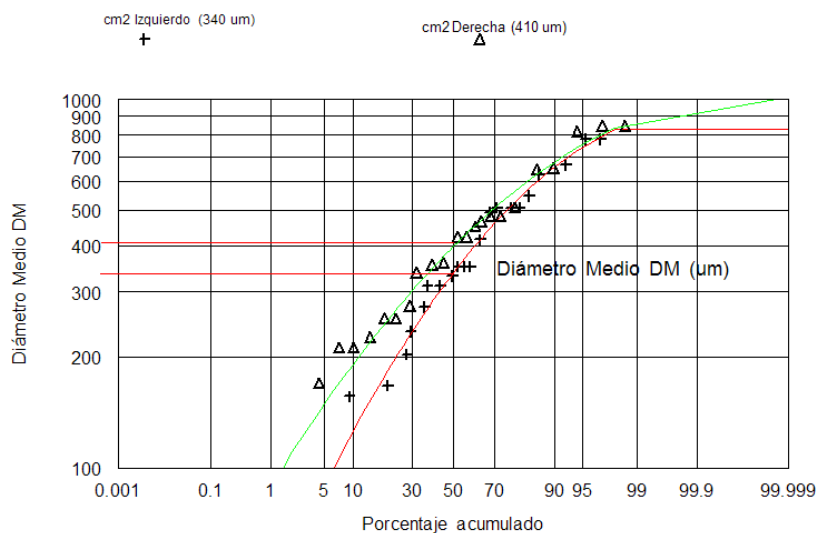
Tabla 4.2-a Datos del 1er cm² de la tarjeta 1111

2o.
Cm2

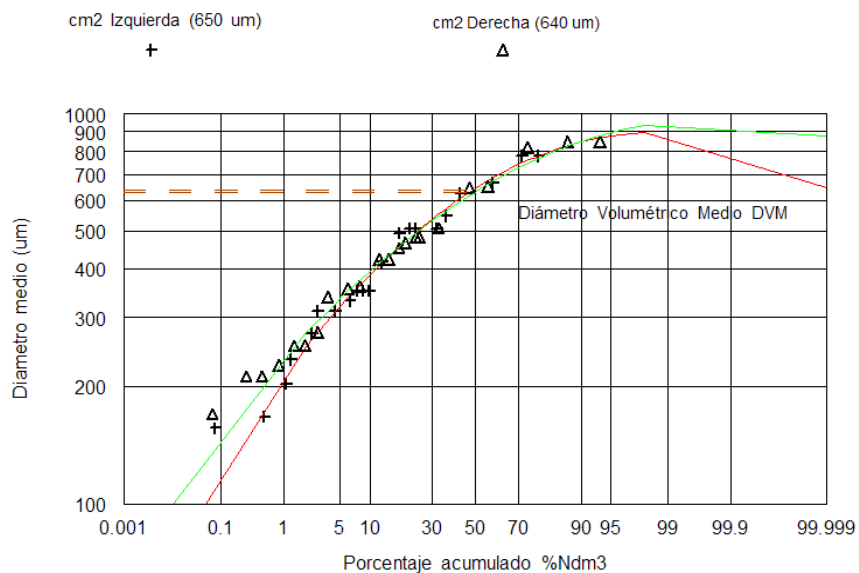
Reticulo	Diám. Medio	Núm. Gotas	% N	Σ %N	dm3	Ndm3	% Ndm3	Σ % Ndm3
25	0	0	0	0	0	0	0	0
7	84.75	2	2.90	2.90	608630.87	1217261.75	0.013	0.01
2	169.49	1	1.45	4.35	4869046.98	4869046.98	0.052	0.07
19	211.86	2	2.90	7.25	9509857.39	19019714.77	0.205	0.27
20	211.86	2	2.90	10.14	9509857.39	19019714.77	0.205	0.48
3	226.27	3	4.35	14.49	11584779.24	34754337.71	0.375	0.85
17	254.24	3	4.35	18.84	16433033.56	49299100.69	0.531	1.38
24	254.24	3	4.35	23.19	16433033.56	49299100.69	0.531	1.91
5	275.42	4	5.80	28.99	20893156.68	83572626.70	0.901	2.81
22	338.98	2	2.90	31.88	38952375.85	77904751.70	0.840	3.65
23	355.93	5	7.25	39.13	45092244.10	225461220.48	2.431	6.08
9	360.17	4	5.80	44.93	46721929.34	186887717.34	2.015	8.10
6	423.73	5	7.25	52.17	76078859.08	380394295.42	4.101	12.20
16	423.73	3	4.35	56.52	76078859.08	228236577.25	2.461	14.66
13	451.69	3	4.35	60.87	92158544.08	276475632.25	2.981	17.64
8	466.10	2	2.90	63.77	101260961.44	202521922.88	2.183	19.83
11	480.51	3	4.35	68.12	110943830.07	332831490.20	3.588	23.41
18	480.51	3	4.35	72.46	110943830.07	332831490.20	3.588	24.82
4	508.47	4	5.80	78.26	131464268.50	525857073.99	5.669	32.67
15	644.07	5	7.25	85.51	267174345.97	1335871729.83	14.402	47.07
10	650.00	3	4.35	89.86	274625000.00	823875000.00	8.882	55.95
14	819.49	3	4.35	94.20	550342940.98	1651028822.93	17.799	73.75
1	847.46	2	2.90	97.10	608630872.68	1217261745.36	13.123	86.88
12	847.46	1	1.45	98.55	608630872.68	608630872.68	6.562	93.44
21	847.46	1	1.45	100.00	608630872.68	608630872.68	6.562	100.00
	425.36 Total =				76958657.33			
		69			Total =	9275752119		

Tabla 4.2-b Datos del 2º cm² de la tarjeta 1111

Las gráficas de probabilidades logarítmicas para la tarjeta 1111 para determinar DM y DVM en ambos centímetros cuadrados fueron realizadas en el programa SLIDE WRITE y son las que se describen a continuación:



Gráfica 4.2-c Valores de DM para los centímetros cuadrados de la tarjeta 1111



Gráfica 4.2-d Valores de DVM para los centímetros cuadrados de la tarjeta 1111

4.3 Resultados del análisis gráfico de las tarjetas asperjadas

4.3.1 Los datos resultantes del Diámetro Medio (DM) y Diámetro Volumétrico Medio (DVM) para la boquilla 1 (Cono hueco) y para la boquilla 2 (Abanico), se encuentran registrados en el Anexo A-5

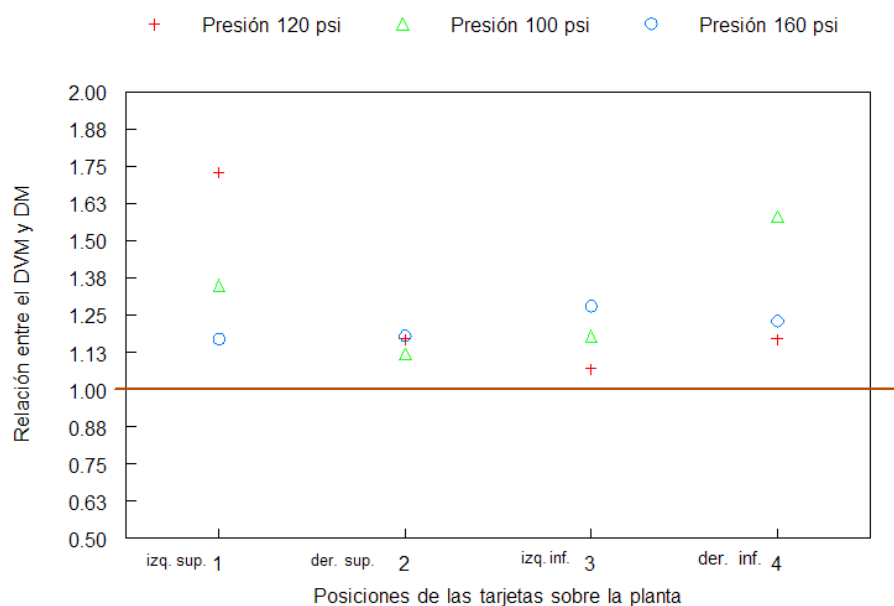
4.4 Resultados de la uniformidad en el tamaño de las gotitas.

Según los estudios de G. A. Matthews (1986), cuando la razón aritmética entre el DVM y el DM se aproxima más a 1, el tamaño de las gotitas es mas uniforme. Por lo tanto con los datos obtenidos del DVM y DM de las tarjetas asperjadas registrados en el anexo A-5, se realizaron análisis gráficos para determinar la uniformidad en la amplia gama de tamaño de gotas que obtuvimos con cada boquilla en relación con los 2 arreglos, las 3 presiones y las 4 posiciones de las tarjetas sobre la planta.

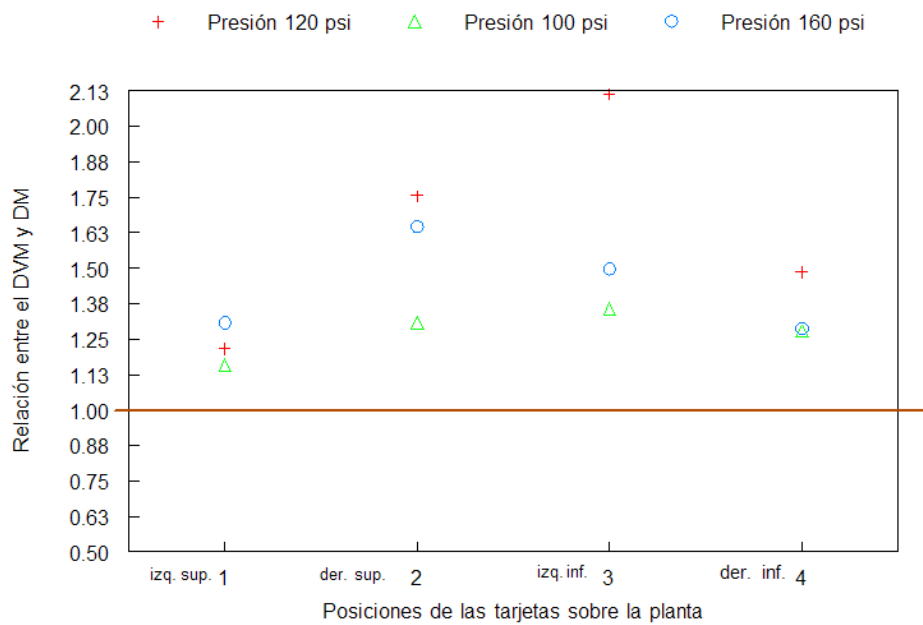
Las gráficas para determinar uniformidad de gotitas con las dos diferentes boquillas, son las que se describen a continuación:

➤ Para la boquilla 1 (cono hueco)

Uniformidad del tamaño de gotitas con la boquilla 1 y arreglo 1 (50 x 160 cm.)



Uniformidad del tamaño de gotitas con la boquilla 1 y arreglo 2 (50 x 200 cm.)



Para la boquilla 1 (Disco D-2, con núcleo DC31) utilizando el arreglo 1 (50 cm. Entre boquillas y 160 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de uniformidad de gotas, se puede resaltar lo siguiente:

De los resultados en las gráficas se desprende que la presión que da mayor uniformidad es la 3 (160 psi) ya que para las cuatro posiciones de las tarjetas en la planta, la relación del DVM entre el DM se acerca más a 1.

En general para todas las presiones en las posiciones 2 y 3, se obtuvo una gama de tamaños de gotitas relativamente uniforme.

Con la presión 1 (120 psi) se obtiene una buena uniformidad en el tamaño de gotitas en las posiciones 2, 3 y 4 de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 2 (100 psi) solo se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en las posiciones 2 y 3 de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 3 (160 psi) se obtiene la mejor uniformidad en el tamaño de gotitas en todas las posiciones de las tarjetas sobre la planta.

Para la misma boquilla pero utilizando el arreglo 2 (50 cm. Entre boquillas y 200 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de uniformidad de gotas, se obtuvo:

Se puede decir que la presión que da mayor uniformidad es la 2 (100 psi) ya que para las cuatro posiciones de las tarjetas en la planta, la relación del DVM entre el DM se acerca más a 1.

En general en las posiciones 1 y 4, las tres presiones dan una gama de tamaños de gotitas muy uniforme, que no varían mucho al aumentar o disminuir la presión.

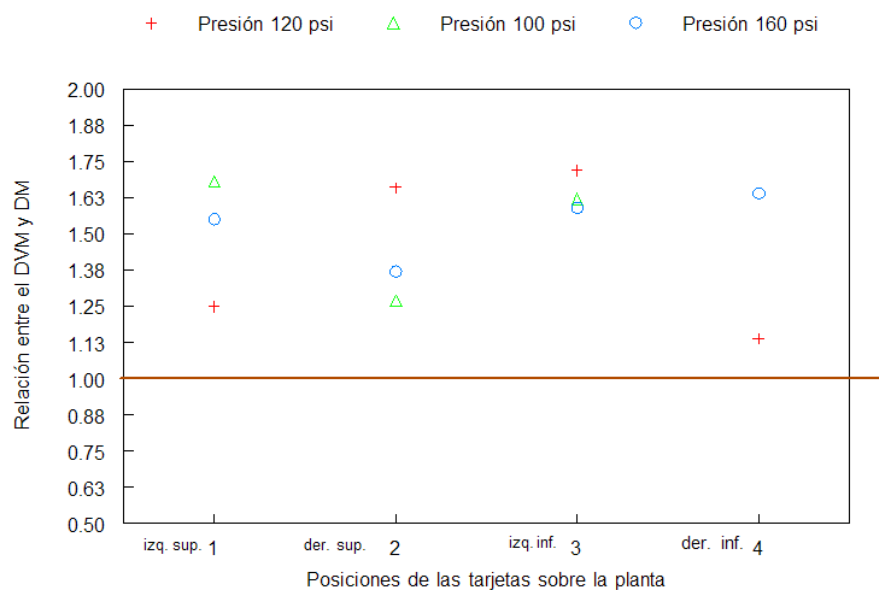
Con la presión 1 (120 psi) se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en la posición 1 de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 2 (100 psi) se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en todas las posiciones de las tarjetas sobre la planta.

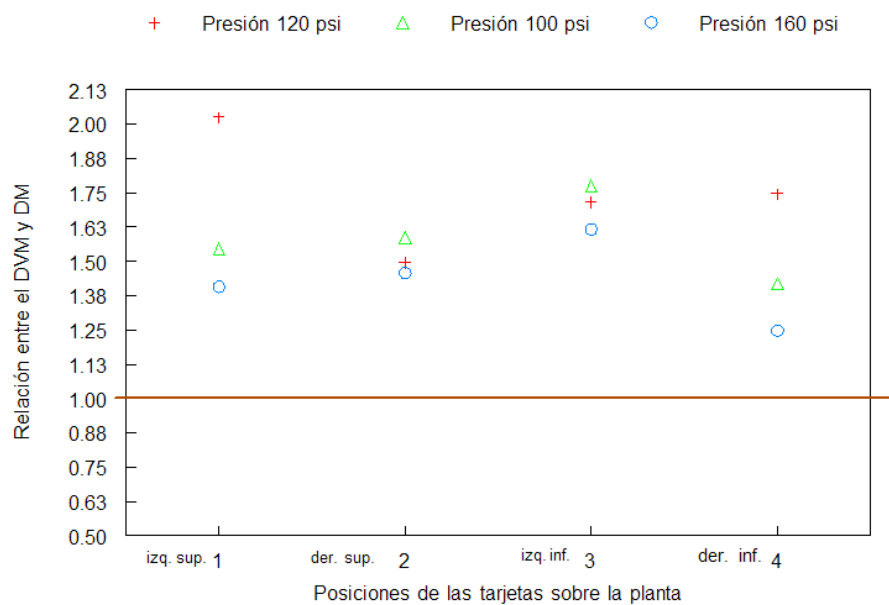
Con la presión 3 (160 psi) se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en las posiciones 1, y 4 de las tarjetas sobre la planta.

➤ Para la boquilla 2 (Abanico)

Uniformidad del tamaño de gotitas con la boquilla 2 y arreglo 1 (50 x 200 cm.)



Uniformidad del tamaño de gotitas con la boquilla 2 y arreglo 2 (50 x 200 cm.)



Para la boquilla 2 (AI110015-VS (Abanico)) utilizando el arreglo 1 (50 cm. Entre boquillas y 160 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de uniformidad de gotas, se puede resaltar lo siguiente:

Se puede decir que para esta boquilla y con el arreglo 1 ninguna de las 3 presiones da uniformidad en el tamaño de las gotitas para cualquier posición de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 1 (120 psi) se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en las posiciones 1 y 4 de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 2 (100 psi) se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en la posición 4 de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 3 (160 psi) no se obtuvo uniformidad en el tamaño de gotitas en ninguna de las tarjetas sobre la planta.

Para la misma boquilla utilizando el arreglo 2 (50 cm. Entre boquillas y 200 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de uniformidad de gotas, se obtuvo:

Se puede decir que para esta boquilla y con el arreglo 2, ninguna de las 3 presiones da uniformidad en el tamaño de las gotitas para cualquier posición de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 1 (120 psi) no se obtuvo uniformidad en el tamaño de gotitas en ninguna de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 2 (100 psi) no se obtuvo uniformidad en el tamaño de gotitas en ninguna de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 3 (160 psi) se obtiene uniformidad en el tamaño de gotitas en la posición 4 de las tarjetas sobre la planta.

Es necesario recalcar que en el manual de boquillas Teejet, se especifica que la boquilla 2 (AI110015-VS (Abanico)), está diseñada para trabajar a presiones muy altas hasta de 8 bares, por lo que siempre nos resultaría una aspersión gruesa; Entonces tomando en cuenta esto y los resultados de la gráfica de uniformidad del tamaño de gotitas solamente podemos deducir que al trabajar con las presiones de 120, 100 y 160 psi, se obtuvo una mínima cantidad de gotitas pequeñas con presencia insignificante, ya que la aspersión no dejaría de ser gruesa.

4.5 Resultados del tamaño óptimo de gotitas según los objetivos de los pesticidas.

Como los pesticidas son biológicamente muy activos, la eficiencia de la aplicación sólo puede ser mejorada si, en lugar de tratar de mojar todo el objetivo, se escoge el tamaño óptimo de las gotitas para aumentar la proporción de aspersión que se adhiere a los objetivos.

Es posible hacer ciertas generalizaciones sobre el tamaño óptimo de las gotitas que reúne los objetivos específicos, las cuales se muestran en la tabla siguiente (G. A. Matthews, 1986):

Objetivo	Tamaño de las gotitas (μm)
Insectos voladores	10 -- 50
Insectos sobre el follaje	30 -- 50
Follaje	400 -- 100
Suelo (y para evitar arrastres)	250 -- 500

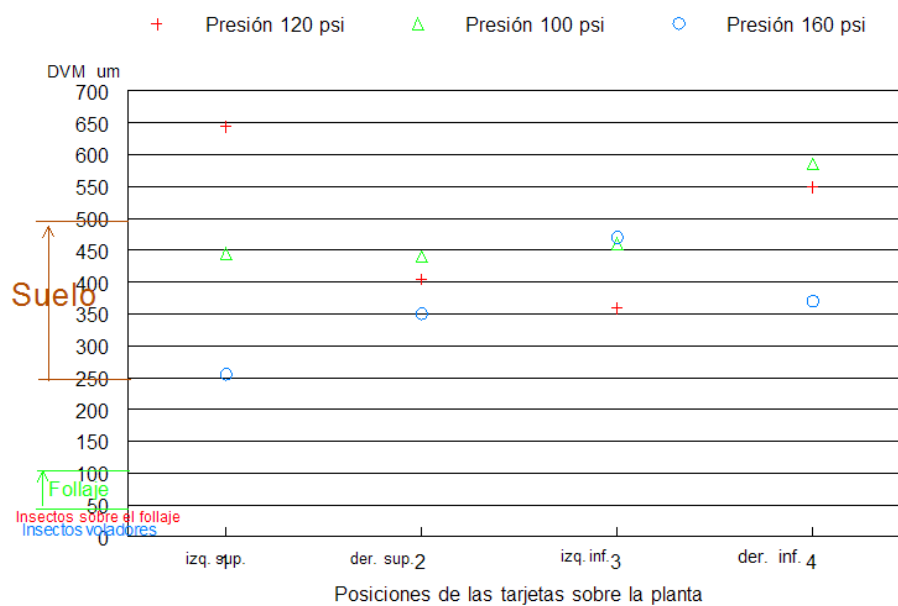
Tabla 4.5.1 Escala de tamaños óptimos de gotitas para objetivos seleccionados

Se realizaron análisis gráficos para las tarjetas asperjadas, para observar el tamaño de las gotitas en relación a su concordancia con objetivos a aplicar como se menciona en la tabla 4.5.1

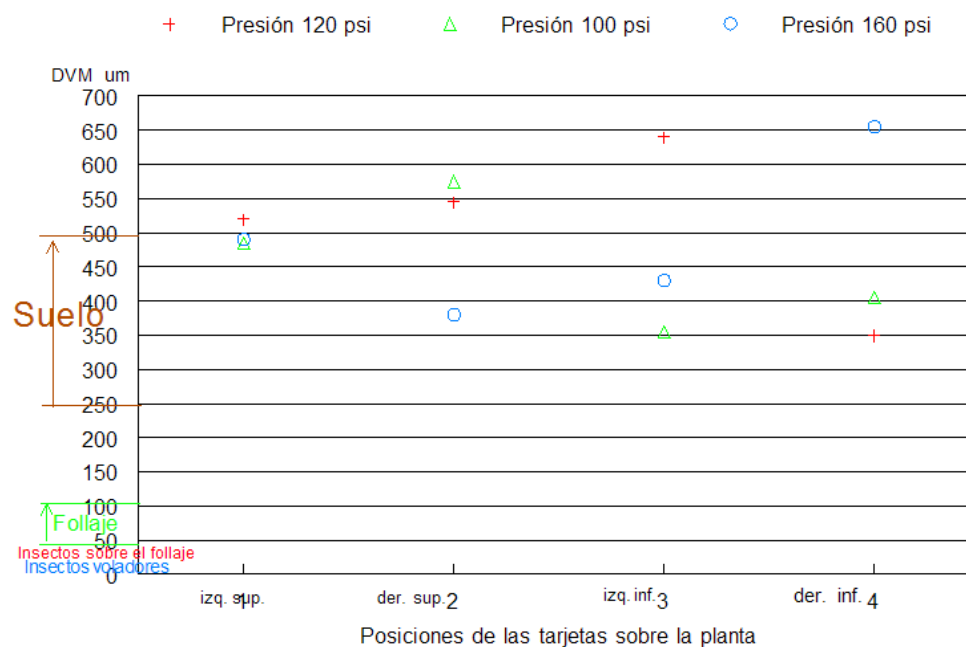
Las gráficas de los tamaños de las gotitas y sus objetivos son las que se describen a continuación:

➤ Para la boquilla 1 (Disco D-2, con núcleo DC31)

Tamaño óptimo de gotitas según el objetivo con boquilla 1 y arreglo 1



Tamaño óptimo de gotitas según el objetivo con boquilla 1 y arreglo 2



Para la boquilla 1 (Disco D-2, con núcleo DC31) utilizando el arreglo 1 (50 cm. Entre boquillas y 160 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de tamaño óptimo de gotitas, se puede resaltar lo siguiente:

Se puede decir que para todas las presiones se obtiene un tamaño de gotas entre 250 y 500 μm para las posiciones 2 y 3 de las tarjetas sobre la planta.

En general con todas las presiones se obtiene un tamaño de gotitas que varia de 250 a 500 μm ; esto nos indica que resulta una aspersión mediana que no puede ser efectiva en aplicación de insecticidas y que es apta solamente para aplicar al suelo, como pueden ser herbicidas de preemergencia.

Con la presión 1 (120 psi) se obtiene un tamaño de gotitas de 250 a 500 μm en las posiciones 2 y 3 de las tarjetas sobre la planta, en tanto que en las posiciones 1 y 4 se registran incrementos de más de 500 μm .

Con la presión 2 (100 psi) se obtiene un tamaño de gotitas de 250 a 500 μm en las posiciones 1, 2 y 3 de las tarjetas sobre la planta, en tanto que en la posición 4 se registran incrementos de mas de 500 μm .

Con la presión 3 (160 psi) se obtiene un tamaño de gotitas de 250 a 500 μm en todas las posiciones de las tarjetas sobre la planta.

Para la misma boquilla utilizando el arreglo 2 (50 cm. Entre boquillas y 200 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de tamaño óptimo de gotitas, se obtuvo:

En general con todas las presiones al igual que en arreglo 1, se obtiene un tamaño de gotitas que varia de 250 a 500 μm ; esto nos indica que resulta una aspersión mediana que no puede ser efectiva en aplicación de insecticidas y que es apta solamente para aplicar al suelo, como pueden ser herbicidas de preemergencia.

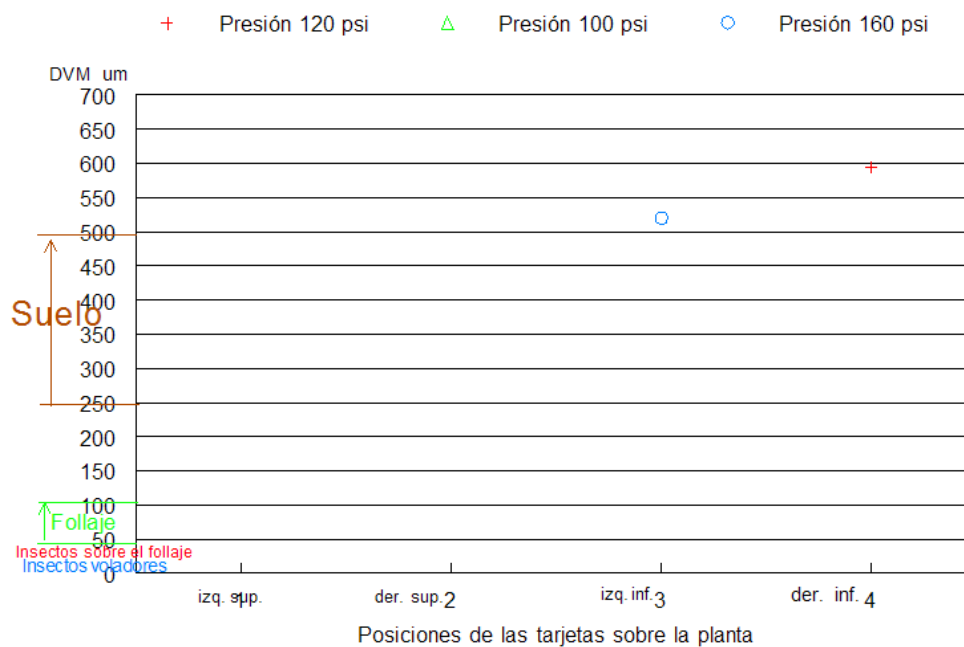
Con la presión 1 (120 psi) se obtiene un tamaño de gotitas de 250 a 500 μm únicamente en la posición 4 de las tarjetas sobre la planta, en tanto que en las posiciones 1, 2 y 3 se registran incrementos de mas de 500 μm .

Con la presión 2 (100 psi) se obtiene un tamaño de gotitas de 250 a 500 μm en las posiciones 1, 3 y 4 de las tarjetas sobre la planta, en tanto que en la posición 2 se registran incrementos de mas de 500 μm .

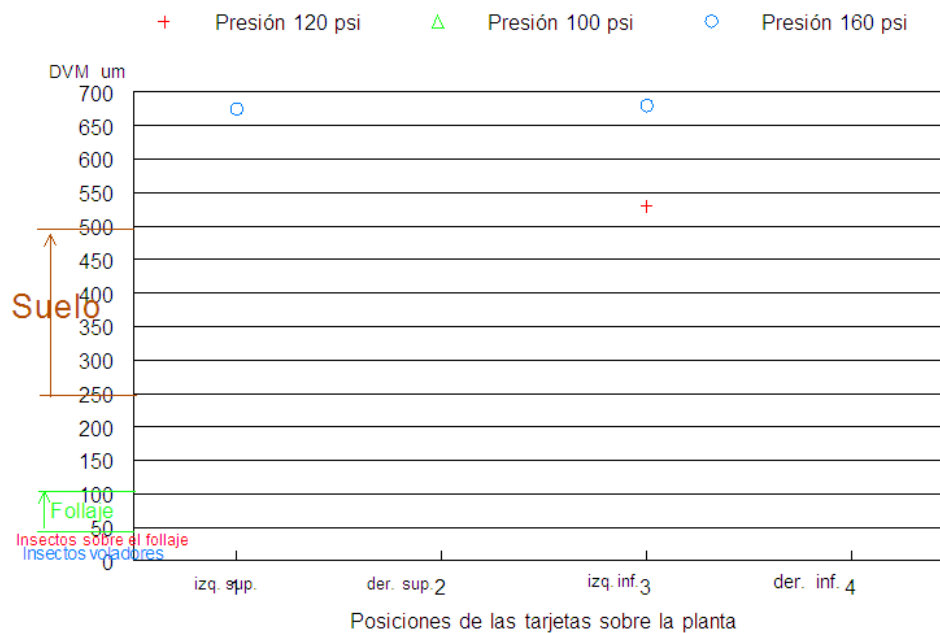
Con la presión 3 (160 psi) se obtiene un tamaño de gotitas de 250 a 500 μm en las posiciones 1, 2, y 3 de las tarjetas sobre la planta, en tanto que en la posición 4 se registran incrementos de mas de 500 μm .

➤ Para la boquilla 2 AI110015-VS (Abanico)

Tamaño óptimo de gotitas según el objetivo con boquilla 2 y arreglo 1



Tamaño óptimo de gotitas según el objetivo con boquilla 2 y arreglo 2



Para la boquilla 2 (AI110015-VS (Abanico)) utilizando el arreglo 1 (50 cm. Entre boquillas y 160 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de uniformidad de gotas, se resalta lo siguiente:

En general para las tres presiones se registran incrementos de más de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta; por lo tanto deducimos que es una aspersión gruesa que no puede ser efectiva en aplicación de insecticidas o plaguicidas.

Con la presión 1 (120 psi) se registran incrementos de mas de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 2 (100 psi) se registran incrementos de mas de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 3 (160 psi) se registran incrementos de mas de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta;

Para la misma boquilla utilizando el arreglo 2 (50 cm. Entre boquillas y 200 cm. Entre barras portaboquillas); después de analizar la gráfica de uniformidad de gotas, se obtuvo:

En general para las tres presiones se registran incrementos de más de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta; por lo tanto deducimos que es una aspersión gruesa que no puede ser efectiva en aplicación de insecticidas o plaguicidas.

Con la presión 1 (120 psi) se registran incrementos de mas de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 2 (100 psi) se registran incrementos de mas de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta.

Con la presión 3 (160 psi) se registran incrementos de mas de 500 μm en las cuatro posiciones de las tarjetas sobre la planta.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La evaluación de las dos boquillas utilizadas se pudo efectuar siguiendo el procedimiento descrito en la norma NMX-0-179-SCFI-2002.

De las dos boquillas utilizadas en esta evaluación, la boquilla 1 (Disco D-2, con núcleo DC31) fue la que presentó mayor uniformidad del tamaño de las gotitas al realizar la aspersión, ya que la gama de tamaños fue relativamente uniforme para todas las presiones, ya que en mayor parte la relación del DVM/DM para las presiones y posiciones se acercó a la unidad, existiendo poca variación en algunas posiciones de las tarjetas en la planta.

Al hacer las evaluaciones para dicha boquilla con los dos arreglos y las tres presiones se recalca que con esta se realizó una aspersión relativamente eficiente sobre la planta tomando en cuenta la posición de las tarjetas.

Para esta boquilla se puede decir que utilizando las tres presiones en los dos arreglos la aspersión nos da un tamaño de gotas apto solamente para aplicaciones al suelo como pueden ser los herbicidas de preemergencia.

En el catálogo de boquillas Teejet, se especifica que esta boquilla puede trabajar a presiones muy altas hasta 15 bares, entonces se dice que si se requiere realizar una aspersión para aplicar pesticidas sobre el follaje o para insectos, se pueden aumentar las presiones utilizada hasta casi el doble para obtener un tamaño de gotas más pequeño que esté entre los 50 y 250 μm , ya que la tendencia es a reducir el volumen de la aspersión aplicada, de tal manera que la cobertura efectiva para el control de plagas sólo puede obtenerse con un gran número de gotitas pequeñas.

Para la boquilla 2 AI110015-VS (Abanico), las pruebas de uniformidad del tamaño de gotitas demuestran que la gama de tamaños varía en gran escala utilizando los dos arreglos y las tres presiones, ya que los análisis gráficos demuestran que esta boquilla produce gotas muy heterogéneas.

Las pruebas de tamaño óptimo de gotitas demuestran que esta boquilla realiza una aspersión gruesa con las tres presiones, y solo es conveniente utilizarla para aplicación de herbicidas ya para evitar arrastres ya que produce gotas de más de 500 μm . También no hay que olvidarse de que esta boquilla está diseñada para fabricar gotas muy grandes según el manual Teejet donde se especifica que produce una aspersión gruesa y que trabaja a una presión máxima de 8 bares (116 psi).

5.2 Recomendaciones

Es necesario realizar más pruebas de boquillas usando estructuras portaboquillas para diferentes cultivos como pueden ser en hilera u otros que no sean exclusivamente de invernaderos.

Para realizar pruebas de boquillas utilizando este método de análisis de gotas se recomienda al Departamento de Maquinaria Agrícola la adquisición de un estereoscopio para hacer más fácil las mediciones de gotas y que los datos resulten con la mayor exactitud posible, rapidez y eficiencia.

VI. LITERATURA CITADA

1. Aguilar Romo M., 2002. Publicaciones de Normas Vigentes. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Economía, México. (Documento Web). <http://www.japón.org.mx/public/content/JICA.pdf>
2. Akesson, N. B. 1972. El uso del avión en la agricultura. Boletín de servicios a la agricultura, FAO.
3. Bogliani M., Honorato A. y Masiá G., Smith J. 2000. Metodología para el análisis de impacto en tarjetas hidrosensibles por medio de visión artificial. Memorias del CLIA 2000 (Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola).
4. Bovey, 1977 La defensa de las plantas cultivada. España
5. Edmond J. B. 1967. Principios de Horticultura, Compañía editorial Continental, S. A. México – España.
6. Felber, H. 1980. Selección correcta del tamaño de gotas. Servicio de proyectos y aplicaciones. Ciba – Geigy, Balse, Switzerland,
7. Gulvin, Harold E. 1975. Implementos para la agricultura. Universidad del Estado de Nueva York. Compañía editorial Continental.
8. Hernández, C. 1985. Determinación del causal y patrón de aspersión de diferentes tipos de boquillas. Instituto de investigaciones de Sanidad Vegetal, Cuba.
9. Spray Systems Co. Consulta de Analizadores de espectro de gotas, pagina web [http:// www. Spraysystems.com](http://www.Spraysystems.com)

10. Junco, E. R. 1978. Técnicas especiales antiderivas. 10º conferencia Internacional de Mecanización Agrícola. Feria Internacional Agrícola España.
11. Lerena Gabarret Adolfo 1975. Enciclopedia de la Huerta. Editorial mundo técnico S. R. L. Buenos Aires.
12. Matthews G. A. 1987 Métodos para la aplicación de pesticidas. Compañía Editorial Continental, México.
13. Matthews, G. A. 1977. Controlled droplet applications. Compañía Editorial Continental, México.
14. Messiaen, C. M. 1995. Enfermedades de las hortalizas. Ediciones Mundi Prensa 3ª Edición.
15. Monro, H. A. 1976. Manual de Fumigación contra insectos. Instituto de Investigaciones del departamento Agrícola de Canadá London, Notario FAO.
16. Muller, J. R. 1969. An Agronomist's view of agricultural aviation, E.U.
17. Ortiz Cañavate, J. y Hernández, J. L., 1989. Técnica de la mecanización agraria. Universidad Politécnica de Madrid, Ediciones Mundi Prensa. 3ª. Edición.
18. Secretaría de economía. Anteproyecto-NMX- (Tractores, implementos y maquinaria agrícola - Aspersoras tipo aguilón de tracción mecánica, accionada por la toma de potencia del tractor. – especificaciones y método de prueba). Dirección general de normas.
19. Spellman, J. J. 1982. Algunos factores que afectan la elección del tamaño de gota y métodos de atomización. Aplicación de pesticidas. Centro internacional para la aplicación de pesticidas. Instituto de tecnología Cranfield. Bidfore. U. K.

20. Spraying Systems Spain, S. L. 2004. Medición de la gota. (Documento web). <http://www.spray-cas.com/st/mgota.htm>
21. Spraying Systems 2000. Teejet. Manual de productos para aspersión Teejet.
22. Spraying systems. 1989. Teejet. Manual de boquillas de aspersión Editorial comercial Arce.
23. Stone, Archie A. 1970. Maquinaria Agrícola. Universidad del Estado de Nueva York, Compañía editorial Continental.
24. Taylor, W. A. 1982. Aplicación de gotas controladas de herbicidas. Outlook on Agricultura, Editorial Mundi Prensa, México.
25. Thornhill E. W., Matthews G. A. 1996. Equipo de aplicación de pesticida para uso en agricultura. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Reino Unid