



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL ASPERSOR PLASTRO MODELO
ÚLTIMA 400 L/ H Y CALCULO DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO PARA
DIFERENTES ESPACIAMIENTOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE
SIMULACIÓN SORA**

MEMORIA DE TÍTULO

SEBASTIÁN ANDREE JUILLERAT OLIVA

TALCA-CHILE

2007



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL ASPERSOR PLASTRO MODELO
ÚLTIMA 400 l/h Y CALCULO DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO PARA
DIFERENTES ESPACIAMIENTOS MEDIANTE EL SOFTWARE DE
SIMULACION SORA**

Por

SEBASTIAN ANDREE JUILLERAT OLIVA

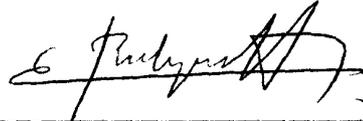
MEMORIA DE TITULO

Presentada a la Universidad de Talca como parte de los requisitos para optar al titulo de:

INGENIERO AGRONOMO

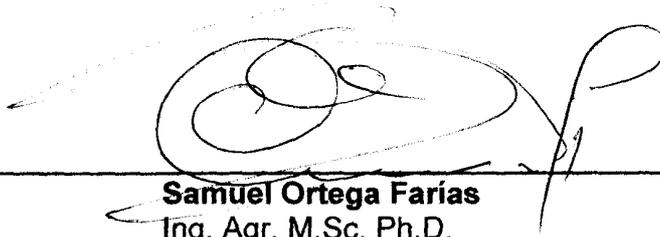
TALCA-CHILE
2007

APROBACION



Profesor Guía

Eugenio Rodríguez Herrera
Ing. Agr. Master en Ingeniería de Regadíos
Departamento de Producción Agrícola
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca



Profesor Informante

Samuel Ortega Farías
Ing. Agr. M.Sc. Ph.D.
Departamento de Producción Agrícola
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca

RESUMEN

Una caracterización de parámetros hidráulicos bajo condiciones de cero viento se realizó para el aspersor Plastro modelo *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente, a 80 cm de altura sobre el suelo, en el Centro de investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Universidad de Talca, VII Región, Chile.

La metodología utilizada para determinar la relación caudal-presión y perfiles de mojado a diferentes presiones de trabajo, correspondió a la establecida para sistemas de aspersión estacionarios, de acuerdo a normas UNE-68-072-86 e ISO 7749-1 y 2, ASAE S 398.1 y ASAE S 330.1 (Tarjuelo, 1999). Finalmente, a partir de los perfiles de mojado y la utilización del software para solapamiento en riego por aspersión (SORA) se determinaron los Coeficientes de Uniformidad y Uniformidad de Distribución para diferentes condiciones de traslape.

Los resultados establecen que para presiones de trabajo entre 100 y 400 KPa, los parámetros obtenidos para la ecuación del emisor ($q = K_d h^x$), fueron 0,4981 para X y 26,616 para K_d , con un coeficiente de determinación de 0,9994. Los perfiles de descarga presentaron un comportamiento triangular, con alcances que fluctuaron entre 11,0 m a 10,25 m, para presiones entre 250 KPa y 400 KPa, respectivamente. La simulación de solapamientos con el software SORA determinó que los valores de Coeficientes de Uniformidad de Christiansen (CU) y Uniformidad de Distribución (UD) oscilan entre un máximo de 98,4% CU y 97,3% UD para el espaciamiento entre aspersores de 6 x 6 m a 350 KPa, y un mínimo de 58,8% CU y 33,5% UD para un espaciamiento de 17 x 17 m a 400 KPa de presión de trabajo. Al considerar valores límites técnicamente recomendados para CU (mayor a 84%) y UD (sobre 70%), los espaciamientos máximos recomendados para el aspersor evaluado serían: 15 x 15, 14 x 14, 14 x 14 y 13 x 13 m para presiones de 250, 300, 350 y 400 KPa, respectivamente.

ABSTRACT

A characterization of hydraulic parameters was carried out under conditions of zero wind for the Plastro sprinkler model *Ultima* of 400 l/h, with nozzles of 1.8 and 1.6 mm, at angles of 26 and 16 degrees respectively, at 80 cm of height from the ground, in the Center of investigation and Transference in Irrigation and Agroclimatology (CITRA) of the Universidad de Talca, VII Región, Chile.

The methodology utilized to determine the flow-pressure relation and wetting profiles of different working pressures, corresponded to that established for systems of stationary sprinklers, according to standards UNE 68-072-86 and ISO 7749-1 and 2, ASAE S 398,1 and ASAE S 330,1 (Tarjuelo, 1999). Finally, from the wetting profiles and the utilization of the software for overlap in sprinkler irrigation (SORA) Uniformity Coefficients and Uniformity Distribution for different conditions of overlap were determined.

The results establish that for working pressures between 100 and 400 KPa, the parameters obtained for the equation of the emitter ($q = K_d h^x$), were 0.4981 for X and 26.616 for K_d , with a coefficient of determination of 0.9994. The discharge profiles presented a triangular behavior, with distances that fluctuated between 11.0 m and 10.25 m, for pressures between 250 KPa and 400 KPa, respectively. The simulation of overlap with the software SORA determined that the values of Christiansen Uniformity Coefficients (CU) and Uniformity of Distribution (UD) oscillate between a maximum of 98.4 %'s CU and 97.3 % UD for a spacing between sprinklers of 6 x 6 m at 350 KPa, and a minimum of 58.8 %'s CU and 33.5% UD for a spacing of 17 x 17 m at 400 KPa of working pressure. Considering the limits technically recommended for CU (greater than 84%) and UD (over 70%), the maximum spacings recommended for the evaluated sprinkler would consider values: 15 x 15, 14 x 14, 14 x 14 and 13 x 13 m for pressures of 250, 300, 350 and 400 KPa, respectively.

INDICE

Pág.

1. INTRODUCCION.	1
2. OBJETIVOS.	2
2.1. Objetivo general.	2
2.2. Objetivos específicos.	2
3. REVISION BIBLIOGRAFICA.	3
3.1. <u>Riego por aspersión.</u>	3
3.1.1. Ventajas del sistema de riego por aspersión.	3
3.1.2. Desventajas del sistema de riego por aspersión.	4
3.1.3. Componentes del sistema de riego por aspersión.	5
3.2. <u>Sistemas de aspersión.</u>	7
3.2.1. Sistema fijo de cobertura total.	8
3.2.2. Disposición de aspersores.	9
3.3. <u>Uniformidad de riego en sistemas por aspersión.</u>	12
3.3.1. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen.	13
3.3.2. Uniformidad de distribución.	13
3.3.3. Factores que influyen en la uniformidad de riego en sistemas por aspersión.	14
3.4. <u>Caracterización hidráulica de un aspersor.</u>	17
3.4.1. Relación caudal-presión.	17
3.4.2. Perfil de descarga.	18
3.5. <u>Programa SORA (Solapamiento en riego por aspersión).</u>	19
4. MATERIALES Y METODO.	20
4.1. <u>Materiales para evaluación de la relación caudal-presión y perfil de descarga.</u>	20
4.2. <u>Método.</u>	21
4.2.1. Metodología para la determinación de la relación caudal-presión.	21
4.2.2. Metodología para la determinación del perfil de descarga.	22
5. RESULTADOS Y DISCUSION.	24
5.1. Relación caudal-presión.	24
5.2. Perfil de descarga.	26
6. CONCLUSIONES.	31
7. BIBLIOGRAFIA.	32
8. ANEXOS.	34

1. INTRODUCCION

Debido a que el agua es un recurso cada vez más escaso dados los usos que pueda tener, es que se hace fundamental su optimización, en cuanto a la incorporación de nuevas tecnologías, mejorando con ello el diseño, manejo y funcionamiento de los sistemas de riego (Tarjuelo, 1999).

En Chile la superficie con riego tecnificado ha aumentado desde el 2001 al 2004 en 20.000 ha (CNR, 2004). Uno de estos sistemas es el riego por aspersión, cuyo desarrollo a gran escala se inició a partir del año 1946 (Hurd, 1974), y consiste en la aplicación de lluvia artificial a través de boquillas en donde se pulverizan las gotas por medio de presión (Castañón, 1991). A través del tiempo, el riego por aspersión ha tenido una serie de modificaciones provocado por los factores involucrados en su diseño y principalmente en el costo de los materiales (Castañón, 1991).

Para tener un buen sistema de riego es fundamental la uniformidad, por su incidencia en la reposición de la humedad y así obtener crecimientos y rendimientos equilibrados el predio (Solomon, 1990). Por lo anterior, las evaluaciones resultan vitales ya que permiten establecer el sistema de riego mas apropiado de acuerdo a las condiciones de cada una de las zonas regables o adoptar medidas de corrección, para así conseguir un uso eficiente del agua (Tarjuelo, 1999).

El método de evaluación de uniformidad mas utilizado es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, que sigue un simple procedimiento aritmético (Zoldoske, Solomon, 1988). En la actualidad existen programas computacionales que permiten realizar evaluaciones de uniformidad siguiendo parámetros normados internacionalmente que son de uso bastante rápido, uno de estos es el programa SORA, desarrollado en España por Jesús Montero, Pedro Carrión y José María Tarjuelo, el que permite simular diferentes traslapes obteniendo valores de uniformidad en base al perfil de descarga (Montero *et al*, 1999).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Caracterizar hidráulicamente el aspersor marca Plastro modelo Ultima de 400 l/h con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente, localizado a 80 cm de altura y comparar con datos presentados en catálogo.

2.2 Objetivos específicos:

2.2.1. Determinar relación caudal-presión.

2.2.2. Determinar los perfiles de descarga bajo condiciones de ausencia de viento, para diferentes presiones de trabajo (250, 300, 350 y 400 KPa).

2.2.3. Calcular el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen y la Uniformidad de Distribución para diferentes presiones y espaciamientos, a través del software de simulación SORA, a partir de los perfiles determinados experimentalmente.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 Riego por aspersión.

El sistema de riego por aspersión basa su funcionamiento en la aplicación de agua en forma de lluvia a través de un chorro sometido a presión y a alta velocidad, por lo que el conjunto de gotas se difunden en el aire para tratar de conseguir un reparto uniforme en la superficie entre los aspersores (Tarjuelo, 1999).

Este sistema presenta una gran adaptabilidad a terrenos en donde la topografía y las propiedades físicas no son adecuadas para el riego por gravedad tradicional lo que ha traído un avance en la aplicación de agua y en la incorporación de nuevas tierras bajo sistema de riego (Castañón, 1991).

Para que este método logre ser eficiente y como finalidad del mismo, se busca que el agua sea infiltrada en el mismo lugar donde cae la gota, de esta forma se evitan erosiones, aposamientos y escorrentía superficial en el caso de que la velocidad de aplicación supere a la velocidad de infiltración y con boquillas dispuestas para proporcionar un chorro entre ángulos de 25° a 28° para lograr un buen alcance y no ser afectado fuertemente por el viento (Martín de Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993).

3.1.1 Ventajas del sistema de riego por aspersión.

- Este sistema permite el riego en terrenos donde la capa arable es poco profunda y presentan topografía irregular lo que no permite la realización de nivelaciones, además permite su uso en una gran variedad de suelos (Fuentes, 1996; Castañón, 1991).

- En relación al riego tradicional presenta una alta eficiencia en la aplicación de agua, del orden de un 75%, contra un 30-60% (CNR, 2004).
- Se logra una disminución de mano de obra por ser un sistema mecanizado (Fuentes, 1996; Castañon, 1991).
- Se evita la construcción de acequias, consiguiéndose con esto una mayor superficie cultivable y un ahorro en cuanto a la mantención de dichos sistemas (Castañon, 1991).
- Se puede utilizar como una herramienta de protección contra heladas, siempre que sean cortas para no provocar aposamientos (Fuentes, 1996).
- Al no realizar movimientos de tierra existe una conservación de las propiedades físicas del suelo, además con un buen diseño, el agua aplicada en forma de lluvia no produce costras ni compactaciones, permitiendo una gran oxigenación (Castañon, 1991).

3.1.2 Desventajas del sistema de riego por aspersión.

- Elevado costo inicial de la instalación y mantención posterior (Fuentes, 1996).
- Se necesita agua de calidad ya que algunos elementos disueltos o en suspensión podrían dañar el sistema y la uniformidad por acción química, desgaste u obturación, lo que aumentaría los gastos de mantención del equipo (Castañon, 1991).
- El riego por aspersión puede interferir tratamientos fitosanitarios de la parte aérea por el lavado de los productos, por lo que es preciso una correcta planificación de las aplicaciones (Martín de Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993).
- Para determinados cultivos y fechas el agua aplicada en forma de lluvia puede incrementar enfermedades criptogámicas por el mojamiento de follaje, además puede dificultar la fecundación durante el período de floración si se mantiene el riego (Fuentes, 1996).

- En plantas sensibles a la sal el sistema de riego por aspersión puede provocar quemaduras de follaje si se utiliza agua salina (Fuentes, 1996).
- El viento puede ocasionar problemas en la uniformidad de riego (Martín de Santa Olalla Maña y De Juan Valero, 1993).

3.1.3 Componentes del sistema de riego por aspersión.

El sistema de riego por aspersión consta de un equipo de elevación, una red de tuberías, dispositivos de aspersión y accesorios (Fuentes, 1996; Peralta y Simpfendörfer, 2001).

El equipo de elevación, que es el encargado de entregar el agua a presión aspirando desde una fuente para impulsarla a una red de tuberías, está compuesto principalmente de una cámara de aspiración, la cual impide el ingreso de aire al sistema, una tubería de succión, que es la encargada de transportar el agua hasta la bomba, su longitud no debería sobrepasar los 6 o 7 m de altura desde el eje de la bomba a la superficie del agua. En su extremo inferior se ubica una válvula de retención para impedir el vaciado de la tubería, además, debe actuar como amortiguador del golpe de ariete y por último, la motobomba que es el conjunto formado por un motor y una bomba. La energía mecánica del motor provoca el accionamiento de la bomba, que es la encargada de succionar el agua y transportarla a las tuberías con una determinada presión y caudal (Fuentes, 1996; Peralta y Simpfendörfer, 2001).

La motobomba es el elemento principal dentro del sistema de elevación por lo que su elección debe estar de acuerdo al caudal necesario, la altura geométrica total y la presión requerida en los aspersores. El caudal que proporcionará la bomba deberá satisfacer los requerimientos de riego para el mes más crítico (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

Las tuberías de un sistema de riego por aspersión permiten conducir el agua a presión desde la unidad de bombeo hasta los aspersores. Las tuberías principales o matrices conducen agua desde la unidad de bombeo hasta los puntos de distribución en los sectores de riego donde se encuentran las tuberías secundarias que a su vez transportan el agua a los laterales

que son los que finalmente alimentan los aspersores. Estas tuberías pueden ser fijas o móviles, a medida que aumentan las fijas, disminuyen los gastos en mano de obra pero aumentan los de instalación. Dependiendo de esta disposición es que las tuberías pueden ser de variados materiales, como por ejemplo, de plástico, PVC, polietileno, fibrocemento o de aluminio, ya sea superficial o enterrada. Generalmente el diámetro de las tuberías va disminuyendo a medida que se avanza en la red hasta llegar a los aspersores (Fuentes, 1996; Peralta y Simpfendörfer, 2001).

Los aspersores son los elementos encargados de transformar el chorro de agua en lluvia mediante una pulverización en las boquillas por lo que los convierte en la parte más importante en un sistema de riego por aspersión. Hay de varios tipos, pero en la agricultura generalmente se utilizan los de tipo rotativo, generando mojamientos circulares hasta el alcance del chorro. El patrón de humedecimiento de los aspersores varía con la distancia, la mayor cantidad de agua se recoge cerca del aspersor y a medida que se aleja de éste, el volumen va disminuyendo, por lo que se hace conveniente para lograr una buena uniformidad un traslape en las áreas de mojadura, condicionado por la velocidad del viento. El caudal que emiten las boquillas y la pulverización dependen del diámetro de esta y de la presión a la que esté sometida. También el alcance está en función de la presión de funcionamiento además del ángulo de salida, que bajo condiciones de viento moderados debería situarse entre 25° y 27° (Fuentes, 1996; Peralta y Simpfendörfer, 2001).

En relación a los accesorios los equipos de riego por aspersión pueden usar varios elementos para su funcionamiento, donde puede haber elementos de control, como manómetros, medidores de caudal y unidades anexas, como estanques para fertirrigación, filtros y amortiguadores de golpe de ariete. También pueden haber algunas válvulas: de retención vertical, de compuerta de descarga, de compuerta de vaciado y de sobrepresión. Estos elementos permiten un adecuado funcionamiento del equipo y varían en cantidad según especificaciones de acuerdo al diseño del equipo y a las condiciones de operación que exista en terreno. Los fitting son las piezas especiales que están destinados a reducir los diámetros y

a derivar o acoplar las tuberías de distribución. Aquí se encuentran: tees, codos, hidrantes, reducciones, tapones y otros (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

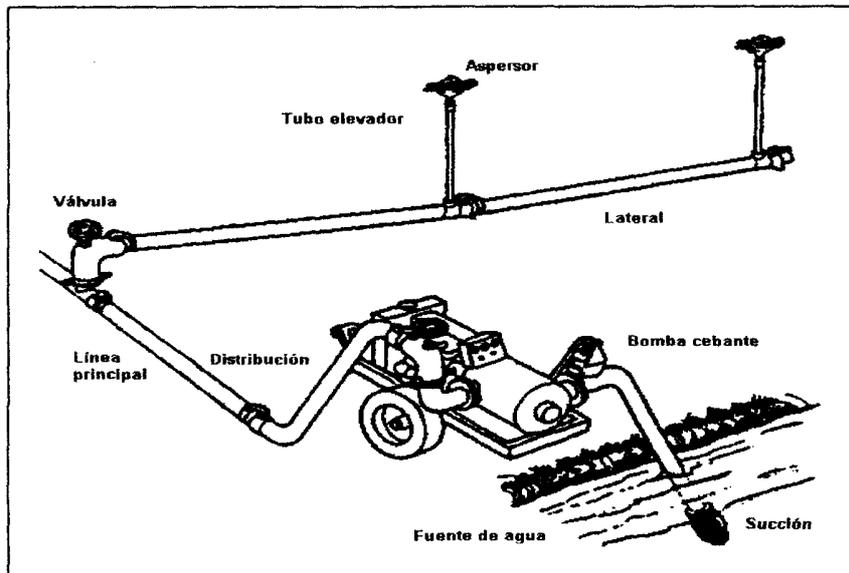


Figura 3.1. Esquema general de un sistema de riego por aspersión.
Fuente: Peralta y Simpfendörfer, 2001.

3.2 Sistemas de aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión se pueden agrupar en función de la movilidad de los elementos que la componen (Tarjuelo, 1999).

Los hay estacionarios, permaneciendo fijos mientras riegan y de desplazamiento continuo durante la aplicación de agua también llamados sistemas mecanizados. Dentro de los sistemas estacionarios están los móviles, en donde todos los elementos del sistema, incluyendo la bomba en algunos casos se pueden desplazar. Los sistemas semifijos normalmente presentan la red de tuberías principales enterradas pero los hidrantes donde van conectadas las alas de riego, los laterales y los aspersores, son móviles. Los sistemas fijos de cobertura total

se mantienen inmóviles durante todo el desarrollo del cultivo (Martín de Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993).

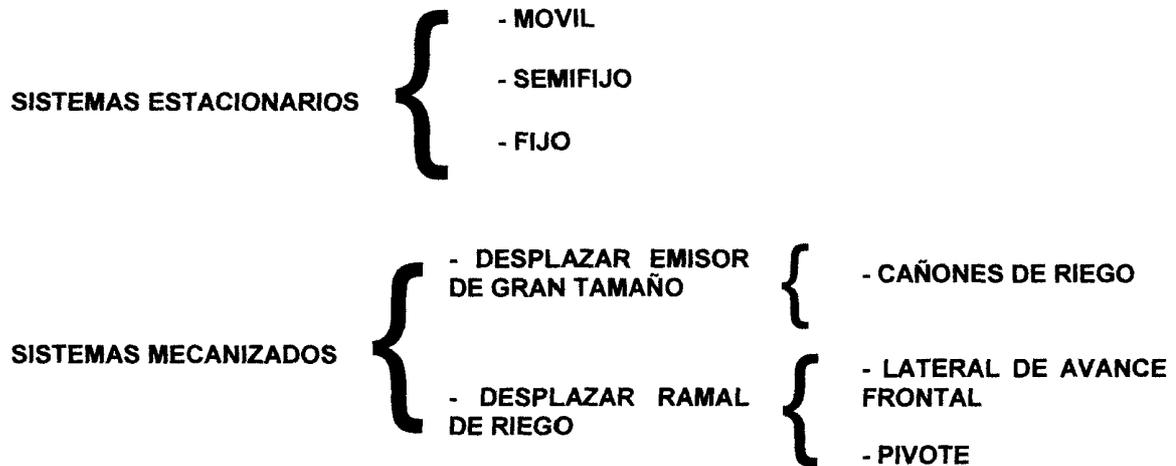


Figura 3.2. Sistemas de riego según su movilidad.
Fuente: Martín de Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993.

3.2.1 Sistema fijo de cobertura total.

El sistema de cobertura total consiste en que todos sus elementos, tuberías y aspersores se encuentran fijos cubriendo la totalidad del predio, en donde el trabajo se traduce en abrir y cerrar las válvulas reduciendo la mano de obra, principalmente en sistemas automatizados, que disponen de un programador central desde donde se controla el flujo a los aspersores mediante señales eléctricas (Fuentes, 1996).

Para el establecimiento de este sistema es fundamental un estudio agronómico y principalmente económico en función de las características generales que se tengan para realizar recomendaciones tanto de diseño como de manejo. Este sistema presenta grandes

ventajas, solo tiene el inconveniente de su elevado costo y una difícil puesta a punto de la programación de riego (Castañón, 1991).

3.2.2 Disposición de aspersores.

Se llama marco de un aspersor a la distancia que existe entre dos aspersores continuos sobre una misma línea y entre dos líneas continuas.

La cantidad de agua que se aplica al suelo durante el riego disminuye a medida que se aleja del aspersor, por lo que es necesario suplir este déficit de precipitación haciendo un traslape del círculo de mojadura con el de los otros aspersores vecinos. Generalmente hay tres maneras de disponer los aspersores (Peralta y Simpfendörfer, 2001):

- **Disposición en cuadrado.** Los aspersores ubican en los vértices de los cuadrados con una distancia entre líneas igual a la distancia entre aspersores continuos en una misma línea (Peralta y Simpfendörfer, 2001).
- **Disposición en rectángulo.** Los aspersores se ubican en los vértices de rectángulos, en donde la distancia mayor del rectángulo se utilizará entre líneas y la menor en la separación de los aspersores sobre la misma línea. Esta disposición pretende corregir el efecto del viento sobre la distribución del agua en el riego (Peralta y Simpfendörfer, 2001).
- **Disposición en triángulo.** Los aspersores se ubican en los vértices de triángulos equiláteros. Esta disposición minimiza el número de aspersores usados dentro de una misma superficie, en comparación con las anteriores (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

El marco de los aspersores está definido por la disposición y por la distancia entre los aspersores y entre líneas. El espaciamiento (e) entre aspersores no deberá ser superior a la distancia relacionada con el radio de alcance (R) que será para las distintas disposiciones:

- Disposición en cuadrado:

$e < 1,4$ de R

- Disposición rectangular:

Distancia entre aspersores de una misma línea.
Distancia entre líneas.

$e < 1,4$ de R
 $e < 1,3$ de R

- Disposición triangular:

Distancia entre aspersores de una misma línea
Distancia entre líneas

$e < 1,7$ de R
 $e < 1,5$ de R

Fuente: Peralta y Simpfindörfer, 2001.

Si el sistema está bien diseñado, la precipitación entregada en los diferentes marcos, debería ser similar para los aspersores dispuestos.

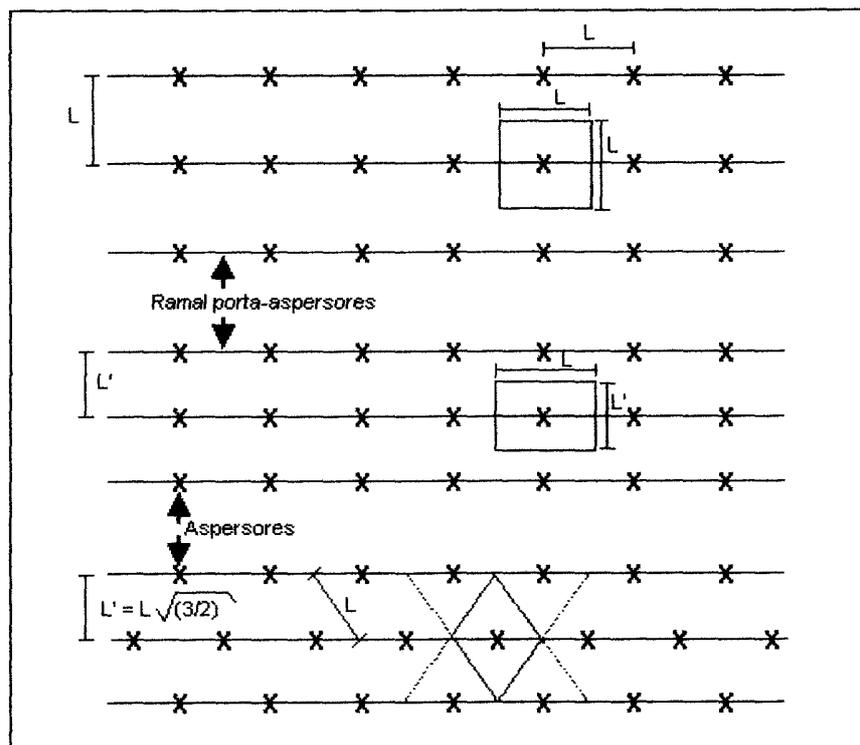


Figura 3.3. Espaciamento entre aspersores. Cuadrado, rectangular y triangular.
Fuente: Peralta y Simpfindörfer, 2001.

Cuadro 3.1. Máximo teórico de los espaciamientos entre aspersores.

DISPOSICIÓN ENTRE LÍNEAS	DISTANCIA ENTRE ASPERSORES	DISTANCIA
Cuadrado	$R\sqrt{2}$	$R\sqrt{2}$
Triángulo	$R\sqrt{3}$	$1,5 \times R$
Rectángulo	R	$1,3 \times R$

Donde **R** = Radio de mojado (m).

Fuente: Pimentel, 1999.

Cuadro 3.2. Porcentaje de cubrimiento de los espaciamientos entre aspersores.

Disposición	Relación (St/Sm)	Porcentaje de cubrimiento
Cuadrado	$\frac{2R^2}{\pi R^2}$	64%
Triángulo	$\frac{1,5R^2\sqrt{3}}{\pi R^2}$	83%
Rectángulo	$\frac{1,3R^2}{\pi R^2}$	41%

Donde **St** = Superficie total generada por la disposición a utilizar (m²). **Sm** = Superficie atendida por cada aspersor (πR^2) (m²). **R** = Radio de mojado del aspersor (m).

Fuente: Pimentel, 1999.

3.3 Uniformidad de riego en sistemas por aspersión.

La uniformidad indica como es repartida el agua en una superficie de riego, refiriéndose a la variación con que se distribuye el agua considerando que nunca se alcanza el 100% de uniformidad (Solomom, 1990; Wilson y Zoldoske, 1997).

Tener una buena uniformidad en la aplicación de agua es muy importante ya que de no ser así se generarían sectores con exceso y otros con déficit hídrico lo que podría traer consigo un arrastre de nutrientes a estratas profundas no quedando disponible para el cultivo o aposamientos, mientras que en las zonas con déficit, la alta tensión del agua implicaría un esfuerzo mayor por parte de la planta por conseguirlo, lo que se traduciría en rendimientos menores (Solomon, 1990).

Como medidas de uniformidad para sistemas de riego estacionarios existen principalmente dos parámetros que son el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) que es una representación estadística de la uniformidad y el otro parámetro es la Uniformidad de Distribución (UD) que indica la uniformidad de altura de agua infiltrada en el conjunto del predio (Tarjuelo, 1999).

Fórmula 3.1. Relación general entre CU y UD.

$$CU = 1 - 0,63 \times (1 - UD)$$

Donde **CU**: Coeficiente de Uniformidad de Christiansen. **UD**: Uniformidad de Distribución.
Fuente: Tarjuelo, 1999.

3.3.1 Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) corresponde a una representación estadística de la uniformidad en la aplicación de agua en el riego expresado en porcentaje. Un 100% significaría que en toda la superficie se ha descargado la misma precipitación lo que eventualmente en la práctica es imposible (Zoldoske y Solomon, 1988).

Los sistemas de aspersión en cobertura total requieren para ser considerados aceptables, un CU mínimo de un 80%, y para ser considerados óptimos deben ser de un valor igual o superior a un 84% (Keller y Bliesner, 1990).

Fórmula 3.2. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU).

$$CU = \left(1 - \frac{\left(\sum |d| \right)}{M \times N} \right) \times 100$$

Donde $\left(\sum |d| \right)$ = Suma de valores absolutos de la desviación con respecto a la media.

M = Valor medio de la lámina infiltrada. **N** = Número de puntos de control.

Fuente: Tarjuelo, 1999.

3.3.2 Uniformidad de distribución.

La uniformidad de distribución (UD) se obtiene a partir de datos de campo e indica la uniformidad de la altura de agua descargada en la parcela y se utiliza como un indicador de la magnitud de los problemas durante el proceso de aplicación de agua (Martín de Santa Olalla Mañas y De Juan Valero, 1993).

Para tener una buena UD se debería registrar un valor superior al 70% (Wilson y Zoldoske, 1997).

Fórmula 3.3. Uniformidad de Distribución (UD).

$$UD = \frac{AMR\ 25\% \times 100}{AMR}$$

Donde **UD** = Uniformidad de Distribución. **AMR 25%** = Altura media recogida en el 25% del área menos regada. **AMR** = Altura media recogida.

Fuente: Tarjuelo, 1999.

3.3.3 Factores que influyen en la uniformidad de riego en sistemas por aspersión.

La uniformidad del riego por aspersión se ve afectada por varios factores, entre los cuales, la presión de trabajo de los aspersores es de gran importancia. A bajas presiones el agua se divide en gotas de gran tamaño y la proveniente de la boquilla cae en forma de anillo a cierta distancia del aspersor, logrando con esto una distribución deficiente. En cambio a presiones muy altas, el fragmento de la gota es muy fino, la que cae alrededor del aspersor. Bajo estas condiciones, el patrón de humedecimiento puede tomar muchas formas debido al viento y las turbulencias. Cuando se trabaja con una presión adecuada, se produce un patrón de humedecimiento que se asemeja a una distribución normal (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

Otro factor es la velocidad del viento, debido a que genera una deformación en el patrón de mojamiento. Es por esta situación que es conveniente disminuir la distancia entre los aspersores para minimizar su efecto (Castañón, 1991; Peralta y Simpfendörfer, 2001).

El sistema de riego por aspersión debe ubicarse lo más bajo posible, ya que la velocidad del viento se incrementa con la altura. El viento también afecta el ángulo de descarga de los aspersores, que en su mayoría son de 25° a 27° en lugar de los 45° que en teoría sería el ángulo ideal sin viento (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

En general, no hay mucho acuerdo pero se dice que velocidades de vientos superiores a 2,5 m/s no hacen recomendable el riego por aspersión mientras que, velocidades entre 1 y 2,5 m/s no presentarían problemas (Castañón, 1991; Fuentes, 1996; Peralta y Simpfendörfer, 2001). Otro punto importante en el riego por aspersión son las pérdidas de agua provocadas por evaporación directa del chorro del aspersor. Estas pérdidas dependen de la temperatura ambiental y de la velocidad del viento, por ejemplo, en condiciones de vientos con una velocidad de 2 m/s y temperatura de 25°C, se podría originar una pérdida de agua de un 10% de la precipitación. Durante la noche hay una reducción de la velocidad del viento, lo que aconsejaría alternar el riego diurno y nocturno de cada sector para poder aumentar la uniformidad en la aplicación (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

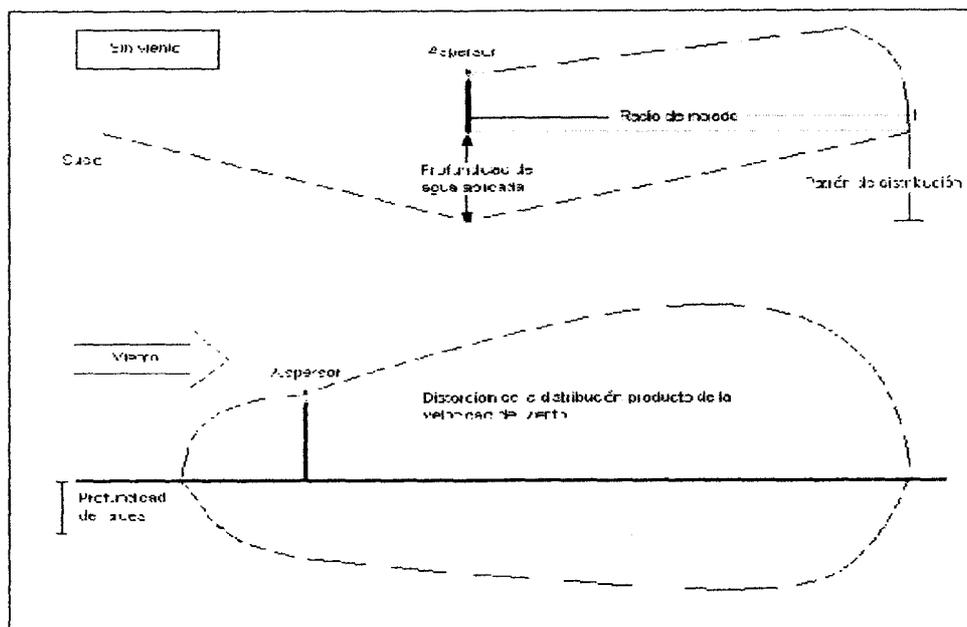


Figura 3.7. Efecto del viento sobre la distribución de humedad.
 Fuente: Pimentel, 1999.

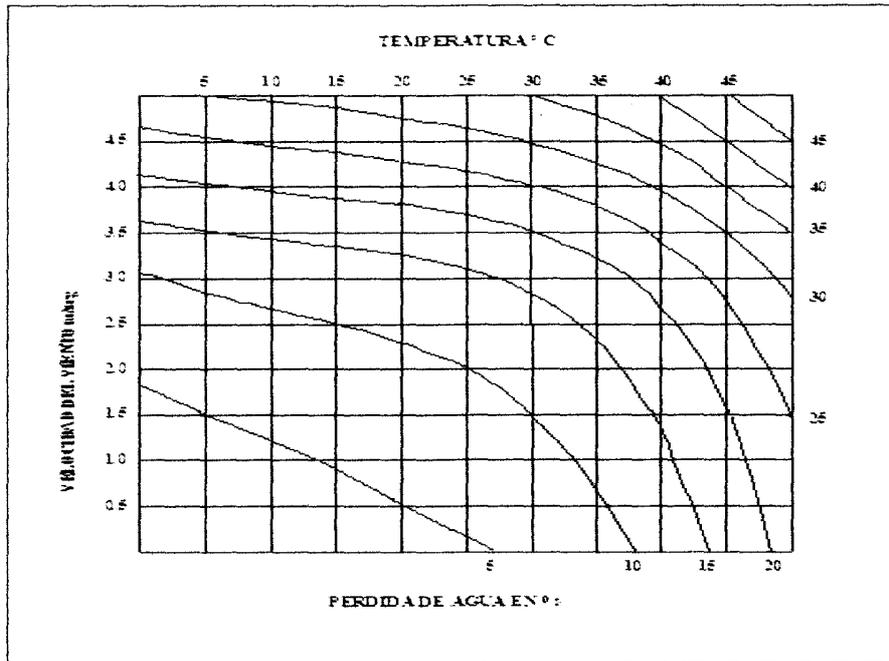


Figura 3.8. Efecto del viento y la temperatura sobre la pérdida de agua en %.
Fuente: Peralta y Simpfendorfer, 2001.

Cuadro 3.3. Efecto del viento en el espaciamiento entre aspersores.

Espaciamiento	Velocidad del viento	Distancia entre aspersores
Cuadrangular y rectangular	Sin viento	65 % del diámetro
	2 m/s	60 % del diámetro
	3,5 m/s	50 % del diámetro
	Mas de 3,5 m/s	30 % del diámetro
Triangular o escalonado	Sin viento	75 % del diámetro
	2 m/s	70 % del diámetro
	3,5 m/s	60 % del diámetro
	Mas de 3,5 m/s	35 % del diámetro

Fuente: Holzapfel, 1990.

3.4 Caracterización hidráulica de un aspersor.

Para realizar una caracterización hidráulica de un aspersor se necesita conocer dos parámetros independientes de las medidas de uniformidad que son, la relación caudal-presión y el perfil de mojado para determinar un correcto espaciamiento en terreno (Tarjuelo, 1999).

3.4.1 Relación caudal-presión.

La relación caudal-presión queda determinada por la ecuación del emisor que describe el comportamiento del aspersor al ser sometido a distintas presiones de operación. Cada aspersor presenta una ecuación de descarga característica la que se construye mediante un análisis de regresión usando los caudales emitidos versus las presiones de funcionamiento del aspersor. El exponente de descarga indica el régimen de flujo, siendo menor mientras mas turbulento es (Tarjuelo, 1999).

Fórmula 3.4. Ecuación de descarga del aspersor.

$$Q = Kd \times H^X$$

Donde **Q** = Caudal del emisor. **Kd** = Coeficiente de descarga. **H** = Presión de entrada del emisor. **X** = Exponente de descarga (según régimen de flujo).

Fuente: Tarjuelo, 1999.

Cuadro 3.4. Exponente de descarga para distinto régimen de flujo.

Régimen	Exponente de descarga (X)
Laminar	1
Microtubos	0,75 - 1
Helicoidal	0,65 – 0,75
Turbulento	< 0,65

Fuente: Tarjuelo, 1999.

3.4.2 Perfil de descarga.

El perfil de mojado representa una curva de distribución de agua, la que varía a lo largo del radio de alcance generando una precipitación desuniforme en el área de mojado disminuyendo a medida que se aleja del aspersor, razón por la cual se debe considerar un traslape entre aspersores consecutivos (Fuentes, 1996).

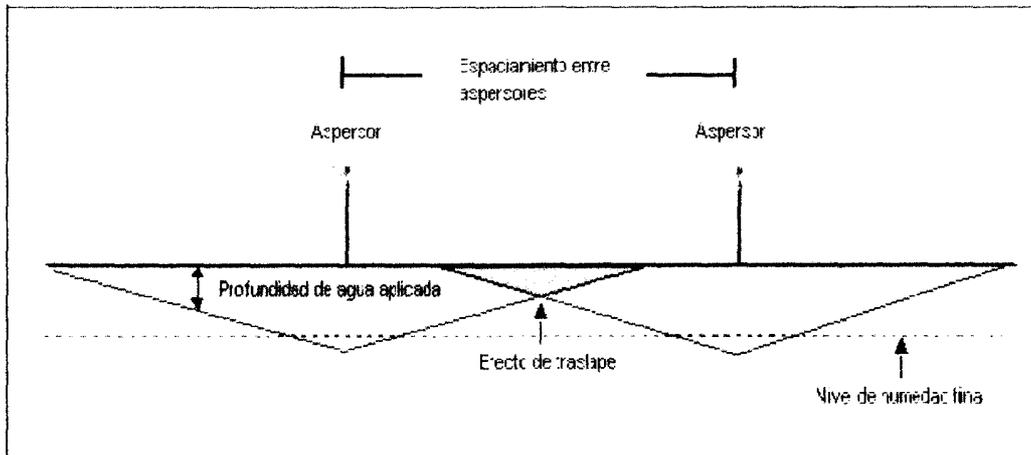


Figura 3.9. Mojamiento típico de un aspersor y efecto del traslape.

Fuente: Pimentel, 1999.

Fórmula 3.5. Radio de alcance teórico de un aspersor rotativo.

$$R = 1,35 \times \sqrt{1000(d \times h)}$$

Donde **R** = Radio de alcance teórico del aspersor expresado en metros. **d** = Diámetro de la boquilla expresado en metros. **h** = Presión de operación expresada en metros de columna de agua.

Fuente: Pimentel, 1999.

3.5 Programa SORA (Solapamiento en riego por aspersión)

El programa informático SORA (versión 1.0) está desarrollado en lenguaje Delphi, pudiendo funcionar integrado en el programa SIRIAS. Ambos están registrados por los mismos autores: Jesús Montero, Pedro Carrión y José María Tarjuelo.

Mediante un perfil de descarga o el reparto de un aspersor libre medido en campo este software puede realizar simulaciones de solapamientos bajo condiciones de cero viento entregando valores de uniformidad y eficiencia caracterizando la distribución de agua para la toma de decisiones. Incluso permite calcular esos parámetros para un bloque de riego establecido, siendo una útil herramienta para evaluadores y técnicos que se desenvuelven en la evaluación y mejora de sistemas de riego (Montero *et al*, 1999).

4. MATERIALES Y METODO

4.1 Materiales para evaluación de la relación caudal-presión y perfil de descarga:

El aspersor Ultima, constituye una interesante opción para ser incorporada en nuevos sistemas de riego para pequeñas superficies, en atención a sus opciones de espaciamiento, descargas y novedoso diseño ergonómico con sistema de autolimpieza provocado por la presión del chorro junto con el giro de las boquillas en 180°, sin necesidad de desarmar el aspersor (Plastro, 2005).

Para estas evaluaciones se instaló una mini red hidráulica con tubería de polietileno de alta densidad en 25 mm localizada sobre una cubierta vegetal baja, a un costado del laboratorio del Centro de Investigación y Transferencia en Riego (CITRA) de la Universidad de Talca. En las uniones y terminales se usó fitting de pvc. Esta red constó con un aspersor marca Plastro modelo Ultima de 400 l/h con 2 boquillas de 1,8 x 1,6 mm, en ángulos de 26 x 16 grados, (colocados a 80 cm de altura sobre un pilar de fierro, comprobando su verticalidad con un nivel de burbuja, en el caso de la evaluación de perfil de mojado). Para el control de presión se instaló un manómetro graduado de 0 a 6 bar junto con una válvula de bola al costado del aspersor.

Los registros se realizaron en una hoja de campo donde quedó consignado cada 15 minutos los diferentes parámetros climáticos con la ayuda de un anemómetro, una veleta, un higrómetro y un termómetro.

El tiempo de prueba se contabilizó con un cronómetro.

Para entregar el agua a presión se usó una bomba trifásica de marca Pedrollo modelo CP- 158 E de 1 hp y 0,75 Kw.

En la prueba de relación caudal-presión se utilizó un tambor de 200 l con un orificio en la parte inferior por donde se recibió el agua.

Para recoger la precipitación entregada por los aspersores en el perfil de mojado, se usaron 48 pluviómetros de 15 cm de diámetro distribuidos linealmente y a nivel sobre cerámica de 10 x 10 cm.

Para la determinación de volúmenes recogidos se utilizaron probetas de 1000 ml, 100 ml, además de embudos.

4.2 Método:

La metodología a utilizada para sistemas de aspersión estacionarios es aquella recomendada por Tarjuelo (1999), teniendo en cuenta lo establecido en las normas UNE-68-072-86 e ISO 7749-1 y 2, como también las establecidas en las normas americanas ASAE estándar: ASAE S 398.1, y ASAE S 330.1, para evaluar sistemas de aspersión fijos (Tarjuelo, 1999).

Para evaluar el comportamiento del aspersor se incluyeron los parámetros estadísticos de Coeficiente de Determinación y Desviación Estándar.

Para la comparación entre los datos medidos y los de catálogo se realizó un análisis de varianza y separación de medias a través del test LSD con un nivel de confianza del 95%.

4.2.1 Metodología para la determinación de la relación caudal-presión.

Como primera etapa se evaluó la relación caudal-presión de un emisor, para lo cual se dispuso de un estanque de 200 l y un aspersor, además de un cronómetro y un manómetro. Para esto se introdujo el aspersor dentro del balde, se dejó funcionar durante un minuto cronometrado y se contabilizó el volumen recogido.

La operación tuvo cuatro repeticiones para presiones entre 100 y 400 KPa.

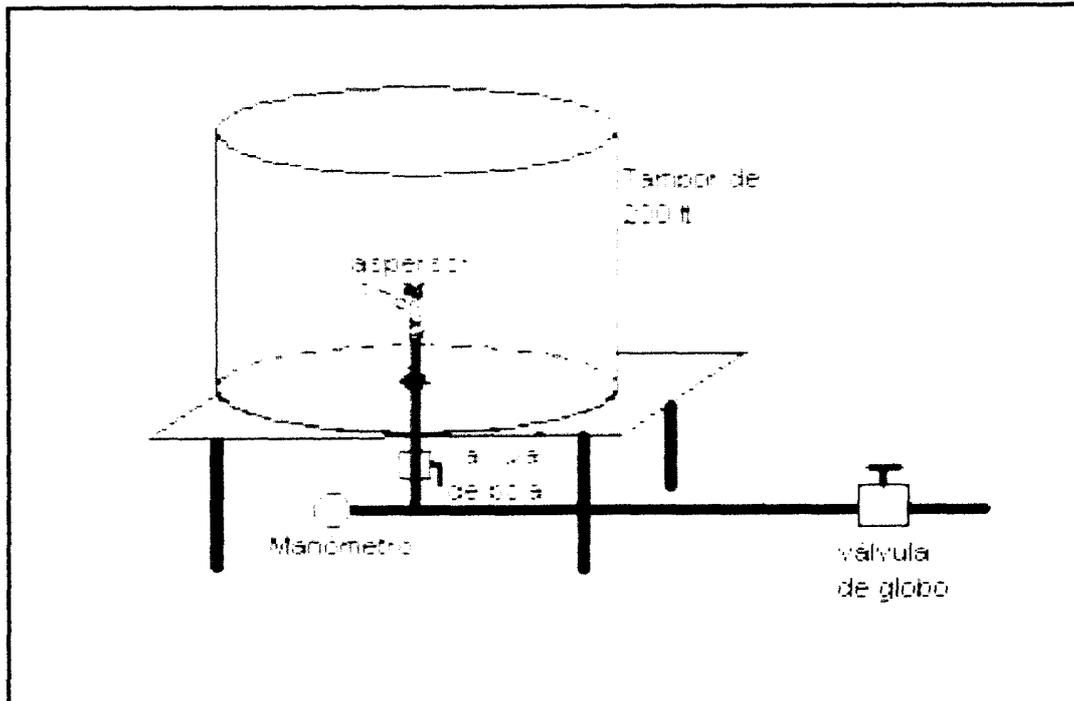


Figura 4.1. Esquema para evaluación de relación caudal-presión.

4.2.2 Metodología para la determinación del perfil de descarga.

1. Para la determinación del perfil de mojado se utilizó solo un aspersor con una red de pluviómetros ubicados en línea recta cada 25 cm estando el aspersor al inicio de ella con 12 m de radio ayudado por una cinta métrica, asegurándose de que estén vacíos al momento de la prueba comprobando su verticalidad y que su borde superior se encuentre afilado.
2. Se comprobó la marca, el modelo y el diámetro de las boquillas.
3. Finalizado el proceso anterior se dio inicio al movimiento del sistema, registrando la hora, la cual fue de inicio del ensayo. dirigiendo el chorro del aspersor fuera de los pluviómetros.
4. Se midió el agua recolectada por los pluviómetros luego de estar el sistema en funcionamiento durante una hora (período de prueba).

5. Se ubicó 1 recipiente testigo para el control de pérdidas por evaporación durante el período de ensayo.
6. Se llevó un registro cada 15 minutos de las condiciones agroclimáticas durante el tiempo de evaluación en cuanto a velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.
7. Se realizaron cuatro repeticiones para presiones de 250, 300, 350 y 400 KPa.
8. Posteriormente se evaluaron las presiones de operación y distancias para encontrar la combinación que resulte más eficiente y con coeficientes de uniformidad aceptables simulado con la ayuda del programa SORA.

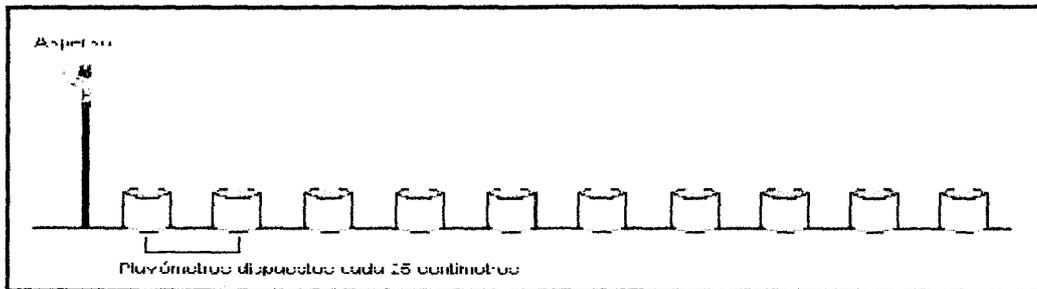


Figura 4.3. Esquema para evaluación de perfil de mojado.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Relación caudal-presión.

La figura 5.1 presenta la curva potencial, característica del emisor evaluado. En ella se observa que a mayor presión de operación, mayor es la descarga, registrando un comportamiento común para emisores que carecen de mecanismo de compensación de presión, ratificado por su exponente de descarga próximo a 0.5 (Tarjuelo, 1999).

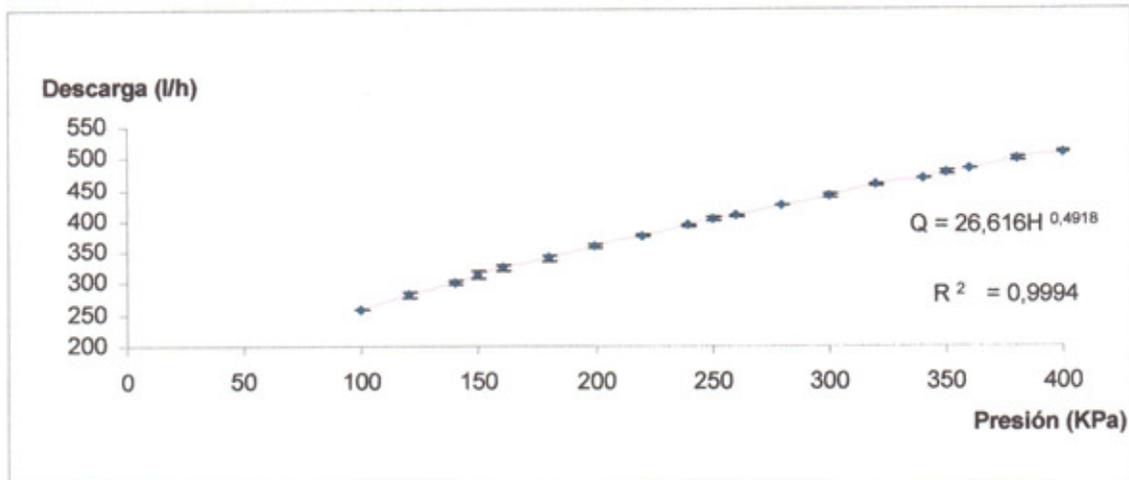


Figura 5.1. Relación caudal-presión experimental incluyendo desviación estándar para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

La Tabla 5.1, presenta la descarga en l/h del aspersor *Ultima* de 400 l/h, a diferentes presiones de trabajo en KPa, con boquillas de 1,8 mm a 26° y 1,6 mm a 16°, con respecto a la horizontal; localizado a 80 cm de altura sobre el terreno. Al comparar los datos de catálogo con los obtenidos experimentalmente, el emisor evaluado presentó un 2,1% menos caudal que el valor señalado en catálogo, para las presiones evaluadas (100 a 400 KPa). Para el caso de la presión recomendada por el fabricante (250 KPa), este valor se incrementa a 2,3%.

Tabla 5.1. Caudal experimental y variación con respecto al catálogo bajo diferentes presiones para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

Presión (KPa)	Caudal medido (l/h)	Caudal catálogo (l/h)	Variación con respecto al catálogo	
			(l/h)	(%)
100	258	260	-2,16	-0,83
120	282	285	-3,52	-1,24
140	300	308	-7,83	-2,54
150	314	319	-4,95	-1,55
160	325	329	-4,26	-1,30
180	341	349	-8,25	-2,36
200	359	368	-8,61	-2,34
220	375	386	-10,44	-2,71
240	392	403	-10,58	-2,63
250 (1)	401	411	-9,70	-2,36
260	408	419	-11,06	-2,64
280	424	435	-11,08	-2,55
300	439	450	-11,14	-2,47
320	456	465	-8,29	-1,78
340	467	479	-11,75	-2,45
350	477	486	-9,27	-1,91
360	482	493	-11,04	-2,24
380	497	506	-9,20	-1,82
400	508	519	-11,05	-2,13
		Promedio	-8,64	-2,10

(1) Presión de trabajo recomendada por el fabricante

La descarga media obtenida para el rango de presión de trabajo estudiado, fue de 394,982 l/h, mientras que el valor de catálogo llega a 403,622 l/h. Desde el punto de vista estadístico, las diferencias no son significativas según Test LSD para un nivel de confianza del 95,0%.

En cuanto a la velocidad de giro del aspersor, la Tabla 5.2 presenta los valores obtenidos en revoluciones por minuto (RPM), para presiones analizadas entre 200 y 400 Kpa. El comportamiento indica que a mayor presión, mayor es la velocidad de giro. Si se observa la Tabla 5.1 para las presiones señaladas, la descarga también aumenta, lo cual evidencia la ausencia de saturación a nivel de boquillas, determinando un funcionamiento uniforme según la relación caudal presión (Fuentes, 1996; Peralta y Simpfendörfer, 2001).

Tabla 5.2. Valores experimentales de la Velocidad de Giro del aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura, con diferentes presiones de trabajo.

Presión KPa	Velocidad de giro RPM
200	0.80
250	1.05
300	1.33
350	1.61
400	2.00

A partir de las descargas obtenidas a diferentes presiones de trabajo para el aspersor evaluado (Tabla 5.1), se realizó una regresión de potencia para determinar la ecuación del emisor, donde Kd corresponde al Coeficiente de descarga y X, al Exponente de descarga (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Parámetros de la ecuación del emisor $Q = K_d * h^x$, considerando las descargas obtenidas del aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura; a diferentes presiones de trabajo.

Parámetros de la Ecuación del Emisor	Medido
Kd	26,616
X	0,4918
Coefficiente de determinación (R²)	0,9994

El exponente de descarga evidencia el régimen de flujo, resultando en este caso turbulento por ser menor a 0,65, señalando el desorden del chorro de agua al salir de las boquillas (Tarjuelo, 1999).

5.2 Perfil de descarga.

La figura 5.2 presenta los perfiles de descarga del aspersor *Ultima*, a diferentes presiones de trabajo, registrados en ausencia de viento. Se observa que a medida que aumenta la presión de trabajo, el alcance disminuye, originado por la pulverización que presentan las gotas (Peralta y Simpfendörfer, 2001). Además se observa para las cuatro presiones en estudio, un descenso paulatino de la precipitación después del pick cercano a los dos metros de distancia desde la base del aspersor, mostrando un comportamiento tipo triangular característico de un aspersor con dos boquillas (Tarjuelo, 1999).

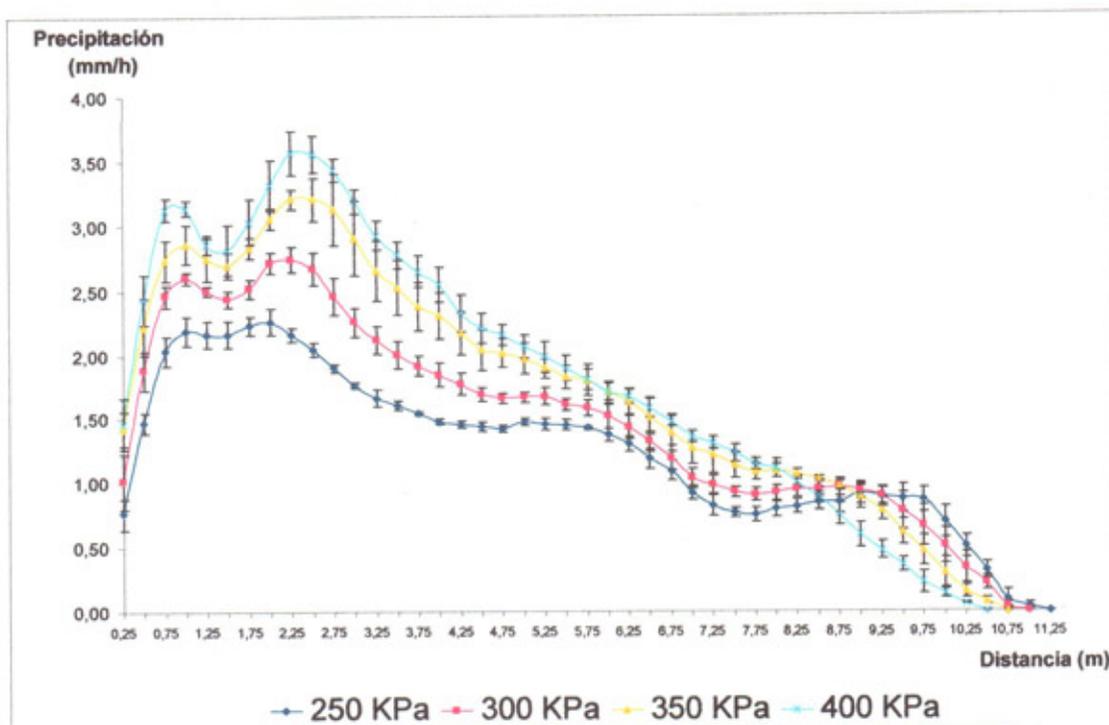


Figura 5.2. Perfil de descarga medido para diferentes presiones incluyendo desviación estándar para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

Al comparar los perfiles de descarga medidos con los de catálogo se observan diferencias menores en la precipitación, principalmente entre los 2,5 y 5,0 m (Anexos 7.5, 7.6, 7.7 y 7.8); sin embargo, al analizar estadísticamente la precipitación media del perfil en milímetros, no hay diferencias significativas (Tabla 5.3)

Tabla 5.3. Análisis estadístico de Precipitación media en milímetros por hora según presión considerando el total de descarga en el perfil, comparando lo experimental con lo presentado en catálogo para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

Datos Considerados	250 KPa Media mm/h	300 KPa Media mm/h	350 KPa Media mm/h	400 KPa Media mm/h
Experimental	1,245	1,444	1,661	1,736
Catálogo	1,325	1,520	1,688	1,871
Significancia	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente según test LSD, n. s. = no significativo, * = significativo ($P \leq 0,05$), ** = altamente significativo ($P \leq 0,01$).

La Tabla 5.4 presenta los coeficientes de uniformidad y uniformidad de distribución a partir del perfil de descarga medido en simulación en condiciones de cero viento en programa SORA (solapamiento en riego por aspersión) para diferentes espaciamientos y presiones.

Según la Tabla 5.4 y 5.5, se recomendaría para una presión de 250 KPa un espaciamiento máximo de 15 x 15 m con precipitación de 1,78 mm/h llegando a una descarga de 11,14 mm/h a 6 x 6 m, sin embargo, se aumenta de 45 a 278 emisores por hectárea.

En el caso de la presión de 300 KPa se debería usar como límite un espaciamiento de 14 x 14 m con precipitación de 2,24 mm/h hasta una descarga de 12,19 mm/h a 6 x 6 m, aumentando los emisores por hectárea de 51 a 278.

En la presión de 350 KPa se recomienda como máximo el espaciamiento de 14 x 14 m con precipitación de 2,43 mm/h hasta una descarga de 13,24 mm/h a 6 x 6 m, aumentando de 51 a 278 los emisores por hectárea.

Para la presión de 400 KPa se recomienda el espaciamiento límite de 13 x 13 m con precipitación de 3,00 mm/h hasta una descarga de 14,12 mm/h a 6 x 6 m, aumentando de 51 a 278 los emisores por hectárea.

Tabla 5.4. Coeficientes de Uniformidad de Christiansen y Uniformidad de Distribución para diferentes presiones y espaciamentos en base a simulación en programa SORA para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente, en condiciones de cero viento, a 80 cm de altura.

Presión	250 KPa		300 KPa		350 KPa		400 KPa	
	CU	UD	CU	UD	CU	UD	CU	UD
6,0x6,0	96,30%	96,00%	97,50%	97,00%	98,40%	97,30%	98,10%	96,90%
7,0x7,0	94,60%	91,00%	94,90%	91,30%	95,00%	90,70%	94,90%	91,10%
8,0x8,0	89,50%	84,40%	91,20%	87,10%	94,60%	92,40%	97,40%	95,80%
9,0x9,0	94,60%	92,90%	97,50%	96,30%	97,10%	94,90%	94,30%	90,40%
10,0x10,0	91,50%	87,60%	93,00%	88,60%	92,60%	87,70%	91,90%	86,40%
11,0x11,0	88,30%	81,40%	89,90%	84,60%	91,40%	87,30%	93,20%	89,00%
12,0x12,0	88,70%	83,80%	91,20%	87,00%	93,60%	89,40%	93,70%	91,00%
13,0x13,0	91,40%	85,50%	93,20%	87,60%	92,30%	87,90%	88,00%	80,20%
14,0x14,0	88,90%	83,40%	88,70%	83,60%	85,90%	76,50%	81,10%	67,40%
15,0x15,0	85,30%	78,00%	83,70%	72,40%	79,80%	64,50%	74,50%	55,90%
16,0x16,0	81,30%	66,00%	78,20%	60,00%	73,20%	53,20%	67,20%	44,80%
17,0x17,0	74,90%	55,10%	70,70%	50,40%	65,50%	43,90%	58,80%	33,50%

Tabla 5.5. Cantidad de emisores y precipitación horaria para diferentes presiones y espaciamentos para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

Espaciamiento (mxm)	Presión	250 KPa	300 KPa	350 KPa	400 KPa
	Número de emisores/ha	Precipitación (mm/hora)	Precipitación (mm/hora)	Precipitación (mm/hora)	Precipitación (mm/hora)
6,0x6,0	278	11,14	12,19	13,24	14,12
7,0x7,0	205	8,19	8,96	9,73	10,37
8,0x8,0	157	6,27	6,86	7,45	7,94
9,0x9,0	124	4,95	5,42	5,86	6,28
10,0x10,0	100	4,01	4,39	4,77	5,08
11,0x11,0	83	3,32	3,63	3,94	4,2
12,0x12,0	70	2,79	3,05	3,31	3,53
13,0x13,0	60	2,37	2,6	2,82	3
14,0x14,0	51	2,05	2,24	2,43	2,59
15,0x15,0	45	1,78	1,95	2,12	2,26
16,0x16,0	40	1,57	1,71	1,86	2
17,0x17,0	35	1,39	1,52	1,65	1,76

5. CONCLUSIONES

Para presiones de trabajo entre 100 y 400 Kpa, los parámetros obtenidos para la ecuación del emisor ($q=Kd \cdot h^x$), fueron 0,4981 para X y 26,616 para Kd., con un elevado coeficiente de determinación de 0,9994.

Los perfiles de descarga determinados bajo condiciones de ausencia de viento, presentan un comportamiento triangular, con alcances que fluctuaron entre 11,0 m a 10,25 m, para presiones entre 250 KPa y 400 KPa, respectivamente.

A través del programa SORA de simulación de espaciamientos a partir de perfiles experimentales, los valores de Coeficientes de Uniformidad de Christiansen y Uniformidad de Distribución variaron entre un máximo de 98,4% CU y 97,3% UD para un espaciamiento de 6 x 6 m a 350 KPa, y un mínimo de 58,8% CU y 33,5 UD para 17 x 17 m a 400 KPa.

Al considerar valores límites técnicamente recomendados para CU (mayor a 84%) y UD (sobre 70%), los espaciamientos máximos recomendados para este tipo de aspersor serían: 15 x 15, 14 x 14, 14 x 14 y 13 x 13 m para presiones de 250, 300, 350 y 400 KPa, respectivamente.

6. BIBLIOGRAFIA

- **Castañon, G. 1991.** Riego por aspersión. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa, Madrid. 117 p.
- **Fuentes, J. 1996.** Técnicas de riego. Segunda edición. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 471 p.
- **Martín de Santa Olalla Mañas, F. y De Juan Valero, J. 1993.** Agronomía del riego. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 732 p.
- **Peralta, J y Simpfendörfer, C. 2001.** Riego por aspersión. INIA-Carillanca (en línea). Disponible en www.chileriego.cl. Consultado el 29 de octubre de 2005.
- **Solomon, K. 1990.** Center for Irrigation Technology. Sprinkler irrigation uniformity (en línea). Disponible en www.catj.csufresno.edu/cit/rese/90/900803/. Consultado el 30 de octubre de 2005.
- **Tarjuelo, J.M. 1999.** El riego por aspersión y su tecnología. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 569 p.
- **Wilson, T. y Zoldoske, D. 1997.** Center for irrigation technology. Evaluating sprinkler irrigation uniformity (en línea). Disponible en www.wateright.org/site/publications/970703.html. Consultado el 30 de octubre de 2005.

- **Zoldoske, D. y Solomon, K. 1988.** Center for irrigation technology. Coefficient of uniformity – what it tell us (en línea). Disponible en www.cati.csufresno.edu/cit/rese/88/880106/. Consultado el 30 de octubre de 2005.

- **Hurd, C. 1974.** Guía para el riego por aspersion. México. Centro regional de ayuda técnica. 88 p.

- **Comisión Nacional de Riego (CNR). 2004.** Balance de gestión integral año 2004. Disponible en www.chileriego.cl. Consultado el 2 de noviembre de 2005.

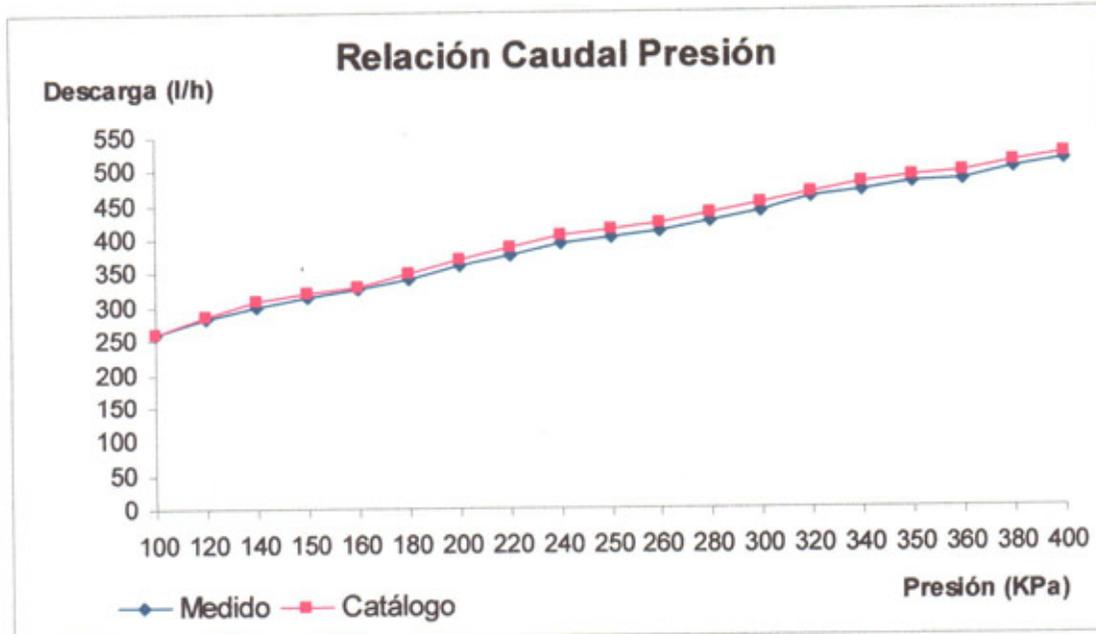
- **Comisión Nacional de Riego (CNR). 2004.** Aprovechando las ventajas de la ley de riego. 74 p.

- **Catálogo técnico empresa Plastro, Aspensor Ultima. 2005.** Disponible en www.plastro.com. Consultado el 30 de octubre de 2005.

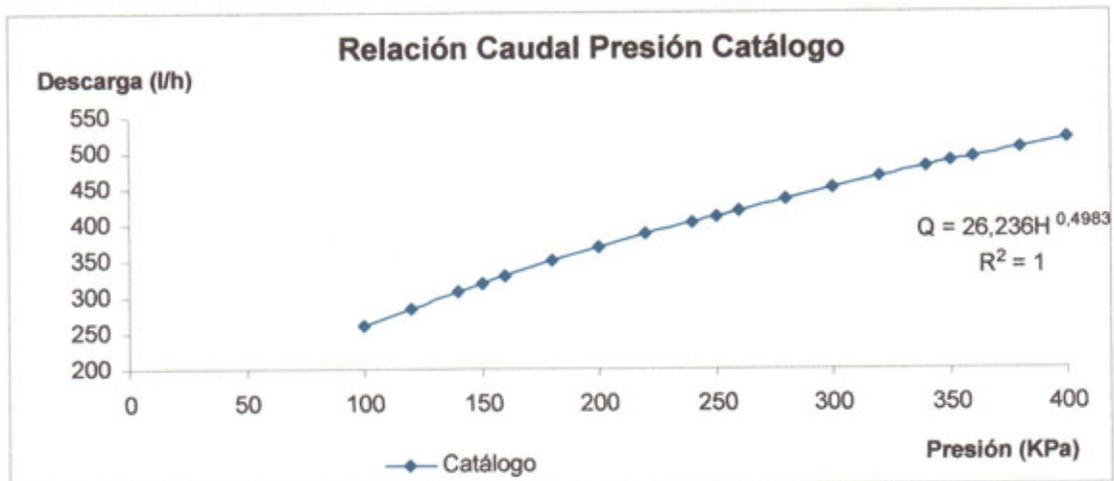
- **Keller, J. and Bliesner, R. D. 1990.** Sprinkle and Trickle Irrigation. New York, NY, Van Nostrand Reinhold. 622 p.

- **Carrión, P., Tarjuelo, J. M., Montero, J. 1999.** Manual de Ayuda Programa SORA. Universidad de Castilla-La Mancha.

7. ANEXOS



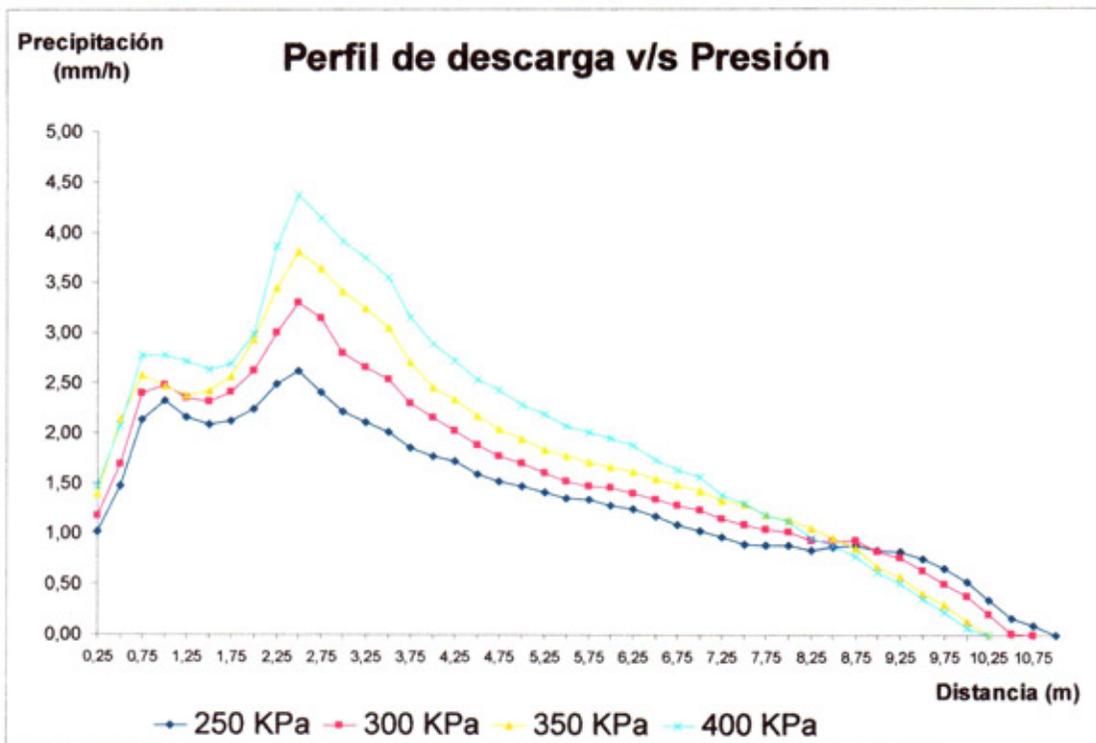
Anexo 7.1. Relación caudal-presión medido y de catálogo para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.



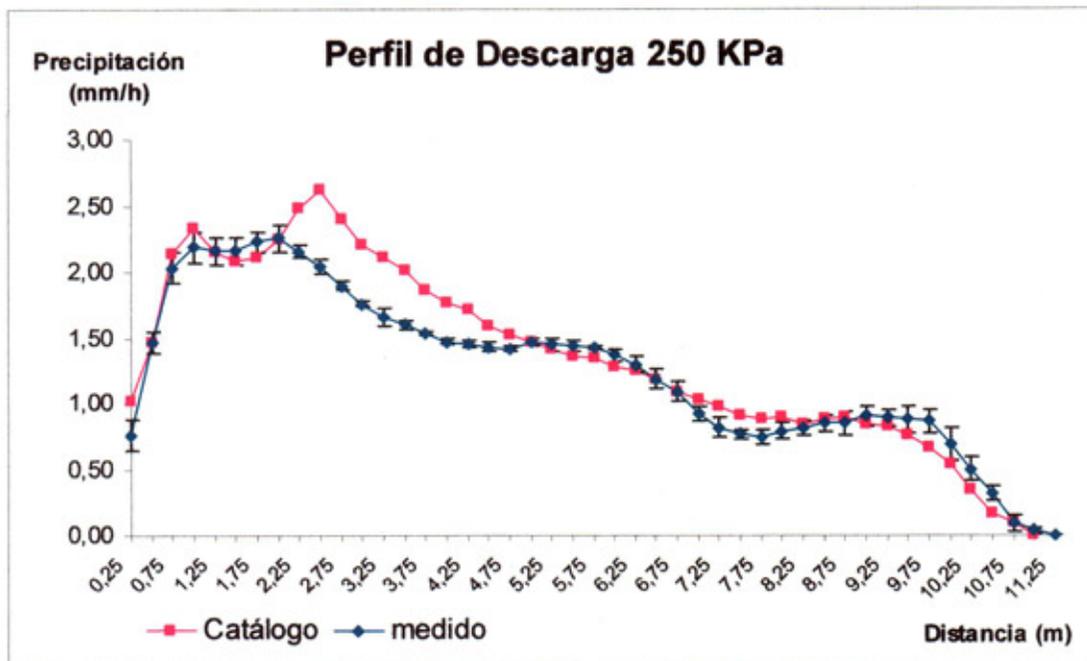
Anexo 7.2. Relación caudal-presión de catálogo para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.



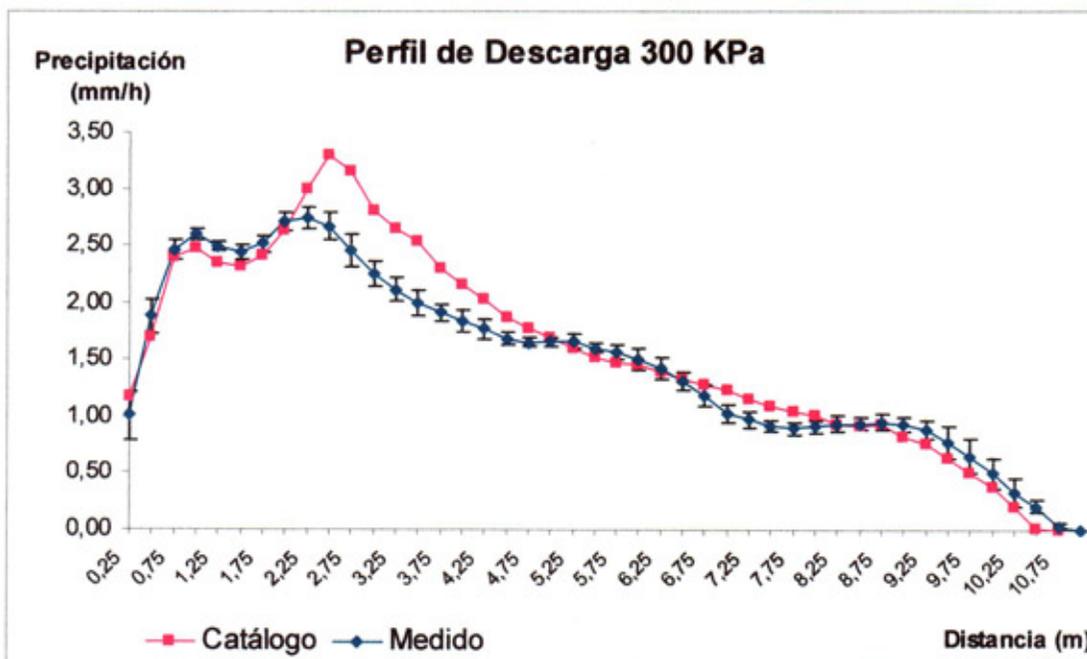
Anexo 7.3. Aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente.



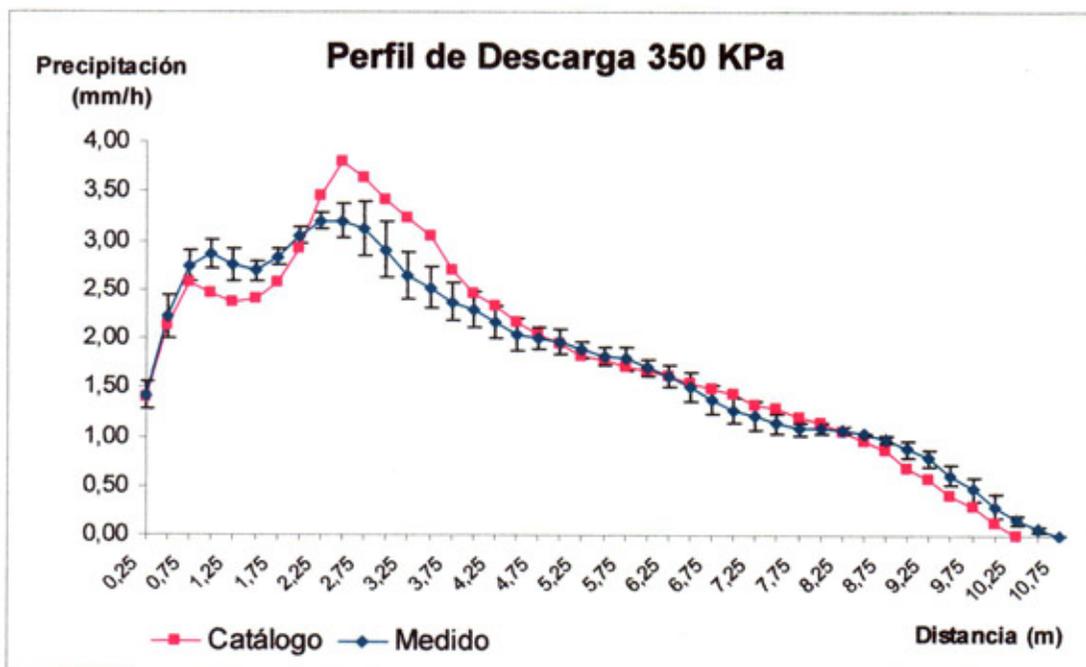
Anexo 7.4. Perfil de mojado de catálogo según diferentes presiones para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.



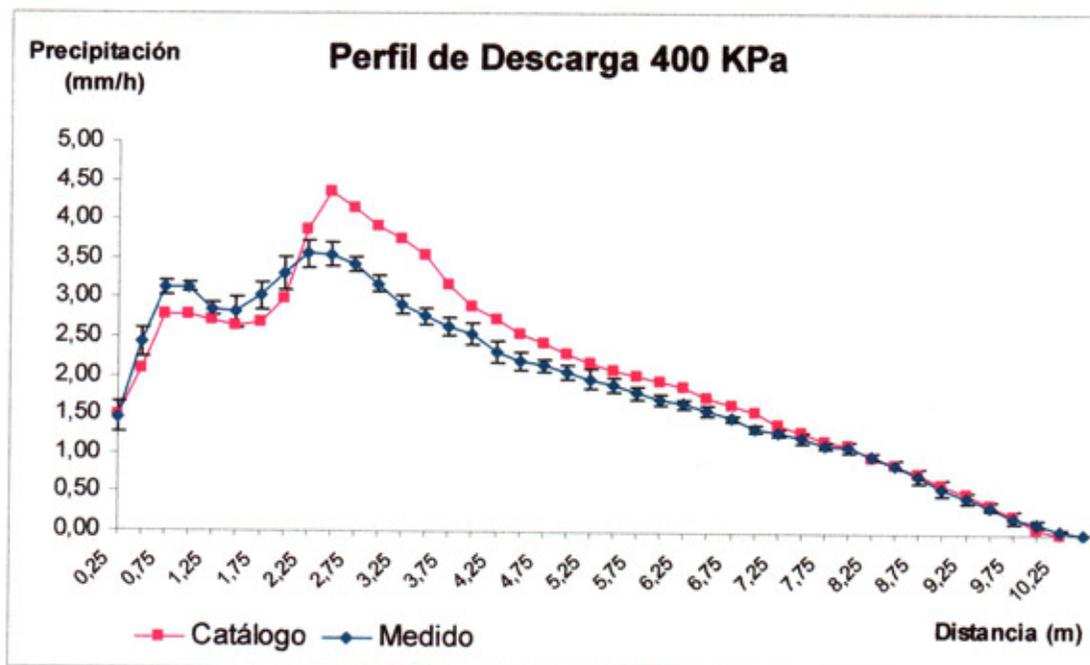
Anexo 7.5. Perfil de mojado para presión de 250 KPa, incluyendo desviación estándar experimental para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.



Anexo 7.6. Perfil de mojado para presión de 300 KPa, incluyendo desviación estándar experimental para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.



Anexo 7.7. Perfil de mojado para presión de 350 KPa, incluyendo desviación estándar experimental para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.



Anexo 7.8. Perfil de mojado para presión de 400 KPa, incluyendo desviación estándar experimental para aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

Presión	250 (Kpa)	300 (Kpa)	350 (Kpa)	4000 (Kpa)
Temperatura (°C)	17,36	16,49	15,64	16,25
Humedad Relativa (%)	85,89	88,98	92,33	90,08
Velocidad del viento (m/s)	0	0	0	0
Dirección del viento	-	-	-	-

Anexo 7.9. Condiciones ambientales promedio para evaluaciones de perfil de descarga en aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura.

Fecha de evaluación	R1: 25/01 , R2: 27/01, R3: 31/01, R4: 01/02
Presión de trabajo	250 Kpa
Marca del emisor	Plastro
Modelo	Ultima 400 l/h
Boquillas	1.8 x 1.6 mm
Angulo	26° x 16°
Altura estaca	80 cm
Hora inicio	R1: 22:55 , R2: 01:47, R3: 06:17, R4: 02:24
Hora término	R1: 23:55 , R2: 02:27, R3: 07:17, R4: 03:24
Tiempo evaluación	60 min
Rev/minuto	1,05
Fecha de evaluación	R1: 26/01, R2: 27/01, R3: 31/01, R4: 01/02
Presión de trabajo	300 Kpa
Marca del emisor	Plastro
Modelo	Ultima 400 l/h
Boquillas	1.8 x 1.6 mm
Angulo	26° x 16°
Altura estaca	80 cm
Hora inicio	R1: 00:37, R2: 02:17, R3: 03:28, R4: 03:47
Hora término	R1: 01:37, R2: 03:17, R3: 04:28, R4: 04:47
Tiempo evaluación	60 min
Rev/minuto	1,33
Fecha de evaluación	R1: 27/01 , R2: 27/01, R3: 31/01, R4: 01/02
Presión de trabajo	350 Kpa
Marca del emisor	Plastro
Modelo	Ultima 400 l/h
Boquillas	1.8 x 1.6 mm
Angulo	26° x 16°
Altura estaca	80 cm
Hora inicio	R1: 03:47, R2: 06:35, R3: 00:40, R4: 05:13
Hora término	R1: 04:47, R2: 07:35, R3: 01:40, R4: 06:13
Tiempo evaluación	60 min
Rev/minuto	1,61
Fecha de evaluación	R1: 27/01, R2: 30/01, R3: 31/01, R4: 01/02
Presión de trabajo	400 Kpa
Marca del emisor	Plastro
Modelo	Ultima 400 l/h
Boquillas	1.8 x 1.6 mm
Angulo	26° x 16°
Altura estaca	80 cm
Hora inicio	R1: 05:08, R2: 23:18, R3: 02:00, R4: 06:39
Hora término	R1: 06:08, R2: 00:18, R3: 03:00, R4: 07:39
Tiempo evaluación	60 min
Rev/minuto	2

Anexo 7.10. Ficha de datos (año 2006) para evaluaciones de perfil de descarga en aspersor *Ultima* de 400 l/h, con boquillas de 1,8 y 1,6 mm, en ángulos de 26 y 16 grados respectivamente a 80 cm de altura. (R= repetición).