

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**Uniformidad del patrón de distribución en un aspersor gran cañón
de tipo turbina.**

POR:

JAIME JUDIEL GONZALEZ HERNANDEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO ABRIL DE 2011

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Uniformidad del patrón de distribución en un aspersor gran cañón
de tipo turbina.

REALIZADO POR:

JAIME JUDIEL GONZALEZ HERNANDEZ

Que se somete a la consideración del comité de asesoría, como requisito
parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

APROBADA



M.C. Gregorio Briones Sánchez

Asesor Principal



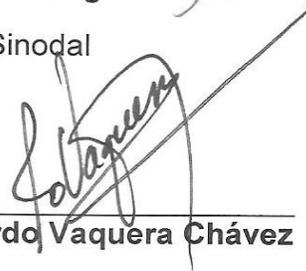
Dr. Raúl Rodríguez García

Sinodal



M.C. Oscar Lemus Ramírez

Sinodal



M.C. Ricardo Vaquera Chávez

Sinodal



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma
"ANTONIO NARRO"



División de
Ingeniería

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. ABRIL DE 2011

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la oportunidad de existir y hacer que a mi vida llegaran las personas indicadas y por permitirme lograr mis metas.

A mis padres:

Guadalupe Hernández Vázquez, por forjarme con amor y fortaleza, por darme la vida y apoyarme infinitamente.

Felipe González Solano, por enseñarme que los retos son para superarlos y no quedarnos observándolos únicamente.

Para ambos por hacer de mí una persona humilde y sencilla, con los valores de respeto, amor y comprensión.

A mis hermanos y cuñada:

Felipe, Ramón, Rosa, Gloria, Alejandro, Edgar y Rubí, por apoyarme y confiar en mí y darme palabras de aliento cuando más lo requerí.

A mi compañera y amor de mi vida:

Mayra Yudith, por apoyarme en este ultimo proyecto de mi vida y brindarme su amor, comprensión y apoyo.

A mis sobrinos:

Karen Mabel, Ovando de Jesús, Vanesa y Brisa Dánae

Por darme la dicha de convivir con ellos en sus travesuras, risas y alegrías.

.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA TERRA MATER:

Por permitirme ser parte de ella, darme la oportunidad de aprender entre sus aulas, por enseñarme a amar el campo que es plato donde nos servimos todos.

Por darme la oportunidad de terminara mi carrera de Ingeniero Agrónomo en irrigación y ser un Buitre.

A MIS ASESORES:

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, Dr. Raúl Rodríguez García, M.C. Ricardo Vaquera Chávez y MIH Oscar Lemus Ramírez.

Por apoyarme con sus conocimientos y ayudarme a terminar este proyecto.

A mis amigos:

José Manuel, Octavio, Edwin, Ing. José Luis, y Dilmar.

Por ser grandes personas y por las aventuras y travesías que pasamos juntos.

Al Ing. Ricardo Vaquera, por darme su apoyo incondicional como amigo.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO	PP
DEDICATORIA	<i>iii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iv</i>
INDICE DE CONTENIDO	<i>v</i>
INDICE DE TABLAS	<i>vi</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>vii</i>
I. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	4
1.2 Objetivo	5
1.3 Hipótesis	5
II. REVISION DE LITERATURA	6
2.1 Los sistemas de riego por aspersión	6
2.1.1 Los sistemas de riego tipo cañón	8
2.1.1.1 Adaptación de los cañones	9
2.1.1.2 Ventajas del cañón	9
2.1.1.3 Limitaciones del cañón	9
2.1.1.4 Clasificación de los sistemas de riego tipo cañón	10
2.1.1.5 Los sistemas de cañón estacionarios	12
2.1.2 Uniformidad de distribución	14
2.1.2.1 Factores que contribuyen a la irrigación no uniforme	15
2.1.3 Eficiencia de aplicación	16
2.1.3 Método de evaluación para dos aspersores	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 Materiales	19

3.2 Métodos	23
3.2.1 Evaluación del sistema	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 La distribución de las tasas de precipitación en las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202.	30
4.1 La distribución de las tasas de precipitación en las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25	36
V. CONCLUSION	43
VI. RESUMEN	44
BIBLIOGRAFIA CITADA	45
APENDICE A	47
APENDICE B	49

INDICE DE TABLAS

TABLA No	PP
Tabla 2.1 Clasificación de los rangos de uniformidades de distribución y su grado de aceptabilidad	16
Tabla 2.2 Eficiencia máxima de distribución del agua en diferentes sistemas de riego	17
Tabla 3.1 Tabla de operación del fabricante para los cañones, basados en el catálogo de productos 2010 de WADE RAIN	19
Tabla 4.1 Datos obtenidos durante la evaluación del Mercury 202	31
Tabla 4.2 Valores de CUW (%) obtenidos al traslapar las líneas de pluviómetros en el Mercury 202	31
Tabla 4.3 Datos obtenidos durante la prueba del Beta CLCBCC25	37
Tabla 4.4 Valores de CUW (%) obtenidos al traslapar las líneas de pluviómetros en el Beta CLCBCC25	37
Tabla 4.5 Coeficientes de uniformidad de acuerdo a la separación entre aspersores, la marca del cañón y las líneas traslapadas	42

Tabla 4.6 Tasa de Precipitación promedio (mm/Hr), Volúmenes promedio recolectados (cm³) y Lamina de riego promedio (cm) en cada línea de pluviómetros y de acuerdo al modelo del cañón **42**

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	PP
Figura 3.1 Cañón Mercury 202	19
Figura 3.2 Cañón Beta CLCBCC25	19
Figura 3.3 Partes que componen a un aspersor gran cañón de tipo turbina	20
Figura 3.4 Partes que componen a un aspersor gran cañón de tipo brazo oscilante	20
Figura 3.5 Tubo pitot	21
Figura 3.6 Manómetro Borden	21
Figura 3.7 Anemómetro	21
Figura 3.8 Vasos captadores	22
Figura 3.9 Cronometro	22
Figura 3.10 Probeta graduada	22
Figura 3.11 Arreglo de las líneas de pluviómetros en el área de cobertura del cañón Mercury 202.	25
Figura 3.12 Arreglo de las líneas de pluviómetros en el área de cobertura del cañón Beta CLCBCC25.	26
Figura 4.1 El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202 a 2 metros de separación entre colectores, al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 28 metros	32
Figura 4.2 El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202 a 2 metros de separación entre colectores, al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 26 metros	33
Figura 4.3 El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202 a 2 metros de separación entre colectores, al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 24 metros	34

- Figura 4.4 Distribución de la lluvia sobre el área de cobertura del cañón Mercury 202 en 3D para caracterizar el patrón simple de aspersión **35**
- Figura 4.5 El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25 a 2 metros de separación entre colectores, al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 28 metros **38**
- Figura 4.6 El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25 a 2 metros de separación entre colectores, al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 26 metros **39**
- Figura 4.7 El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25 a 2 metros de separación entre colectores, al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 24 metros **40**
- Figura 4.8 Distribución de la lluvia sobre el área de cobertura del cañón Beta CLCBCC25 en 3D para caracterizar el patrón simple de aspersión **41**

I. INTRODUCCION

La distribución de la lluvia sobre el planeta es irregular ya que depende de la configuración de las tierras, de los mares, las montañas y las selvas junto a la temperatura y los vientos. Todo ello hará más o menos posible y más o menos abundante el proceso incesante de la evaporación-condensación-precipitación.

La consecuencia evidente es que el agua, como elemento fundamental en la vida del hombre sobre la tierra, no se reparte por igual en todas las zonas del Planeta. Así hay zonas desérticas donde la lluvia, y por tanto el agua, es extremadamente escasa, o casi inexistente, y en cambio en otras donde la abundancia es continua y permanente. Es el agua quien ha generado que en el mundo existan zonas de riqueza y zonas de extrema pobreza.

Esto ha originado desde la antigüedad que el hombre, distribuido por toda la tierra, haya tenido que ingeniárselas para obtener agua donde él se ha ido estableciendo. Así se construyeron los primeros pantanos, los acueductos, los canales, las acequias, y los azarbes. Todo ello para poder cultivar las plantas que eran necesarias para su subsistencia. Durante muchos siglos la economía de los pueblos se cifraba en la agricultura como economía de subsistencia primero y como base de riqueza después. El dominio del agua es decir, su capacidad de almacenamiento y las técnicas de distribución, fueron determinantes para aquellas zonas donde la regularidad de las lluvias fue siempre un problema.

Por el agua se han enfrentado y se enfrentaran, los pueblos y las regiones, ya que el agua es un bien escaso, al tiempo que es fundamental en el desarrollo de su propia economía. De una mejor o peor gestión del agua depende sin duda que el desarrollo económico sea o no sostenible. **(Euroresidentes 2000).**

Las técnicas de riego se considera tan antiguo como el hombre mismo, ya que desde que este se vio en la necesidad de hacer uso de la agricultura también ha venido implementando el uso del riego, y conforme va pasando el tiempo ha buscado la forma de hacer más eficiente el uso del agua de riego.

En la actualidad se han investigado y desarrollado a través de todo el mundo, nuevos métodos y tecnologías mas avanzadas en riego, adaptándolas a las diferentes necesidades de las especies que se cultivan mundialmente.

Los sistemas de riego son y han sido sumamente esenciales en la producción, tanto a nivel agrícola como pecuario, por eso se ha venido incrementando su importancia y ha propiciado que se incremente la capacitación de los profesionista en todo el mundo para llevar a cabo este tipo de actividades.

Se debe destacar el espectacular avance que han tenido los sistemas de riego que existen en la actualidad, tales como los sistemas de riego por aspersión, en los cuales se puede englobar los aspersores gigantes (cañones), pivotes centrales, lateral rodante o side-roll, lateral semiportátil o de movimiento manual, así como también los sistemas de riego por goteo.

La correcta utilización del agua por el regador para conseguir un uso eficiente de la misma requiere la aplicación de las técnicas de programación de riegos, que indican el momento y la cuantía de cada riego, además de un adecuado manejo de las redes de distribución y del proceso de aplicación de agua.

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego.

Con estos cambios se puede conseguir ahorrar el agua, mano de obra, energía, suelo, etc., así como una mejora de los rendimientos de los cultivos.

La evaluación realizada a un conjunto de sistemas de riego puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema mas adecuado a las condiciones de cada zona regable.

Debido al elevado numero de variables que intervienen (caudal, presión, duración del riego, etc.) y al hecho de que todas están directa o indirectamente relacionadas, el problema de la correcta utilización del agua no tiene siempre una solución evidente, ni inmediata.

A veces las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un riego por aspersión puede mejorarse variando la presión de trabajo, tamaño y número de boquillas, altura de los emisores, duración de la postura de riego o cambiando el material desgastado (***Tarjuelo, 1999***).

1.1 Antecedentes

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos. De acuerdo con la Biblia el riego se originó al mismo tiempo que el hombre y en el mismo lugar. El Génesis (2:10) indica: De edén salía un río que regaba el jardín; y desde allí se dividía y se formaban de él cuatro brazos.

Durante la edad de bronce, iniciada alrededor de 3 500 años a.C., las primeras grandes obras de riego se desarrollaron en Egipto y Mesopotamia. Cuando el hombre descubrió algunos métodos para producir alimentos se hizo necesario su establecimiento en un lugar, por lo menos durante el tiempo que demora el desarrollo completo de un cultivo (desde el momento de la siembra hasta la cosecha). Los descubrimientos arqueológicos indican que esto ocurrió alrededor de 5000 años a.C. en los territorios hoy ocupados por Egipto, Irán, china, Turquía, España, Inglaterra, Perú, México y el sur de los Estados Unidos.

Las comunidades que vivieron en zonas donde la lluvia era abundante y bien distribuida, bajo otras condiciones favorables de la naturaleza, pudieron cultivar sus alimentos sin necesidad de preocuparse por el riego; en aquellas zonas donde la cantidad y la distribución del agua no correspondían a los requerimientos de agua de los cultivos, los seres humanos debieron desde muy temprano preocuparse por asegurar el abastecimiento de agua para las superficies cultivadas.

Al principio eran inundados los terrenos más planos; luego se construyeron terrazas que también se regaron por inundación, con métodos que variaron en eficiencia de acuerdo con la habilidad, el ingenio y la necesidad del hombre de economizar agua. Con el fin de aumentar la producción de alimentos el hombre se vio forzado a variar el curso de pequeñas corrientes de agua, hacer diques de contención para almacenar y regular sus recursos, emparejar las superficies que quería regar, elevar agua desde el suelo hacia la superficie y poner en practica varias técnicas sencillas que son los rudimentos de las técnicas modernas de riego y drenaje; eso le permitió mantener agua para realizar una agricultura menos riesgosa y más intensiva (**Gurovich 1985**).

En la actualidad la agricultura es uno de los sectores que tiene un mayor consumo de agua a nivel mundial, por consiguiente el reto del hombre por utilizarla de una forma mas eficiente posible, cada ves es mayor, al lograr una mayor eficiencia en el uso del agua podrá conseguir mejores rendimientos y así podrá satisfacer la gran demanda de alimentos que la humanidad requiere.

La humanidad ha dependido para lograr el desarrollo de la agricultura, del uso de la irrigación, y aun en la actualidad la irrigación sigue ofreciendo grandes beneficios hacia la agricultura y mas aun con los avances tecnológicos que se desarrollan a gran velocidad facilitando mas la manera de irrigar los campos destinados a la producción de alimentos; hoy en día la Fertirrigación ha facilitado el manejo y avance de la agricultura, ya que ayuda a ahorrar tiempo y esfuerzo para la aplicación de nutrimentos en el agua de riego necesarios para el buen desarrollo de la plata.

Se debe destacar el espectacular avance que han tenido los sistemas de riego por aspersión igual que los de goteo durante los últimos años: el perfeccionamiento de los mecanismos de alineación y de articulación permite a las unidades producidas salvar pendientes y obstáculos muy serios, lo que facilita su aplicación y operación en terrenos de relieve irregular (*Muñiz 2000*).

1.2 Objetivos

Comparar la pluviometría de un aspersor Mercury 202 tipo turbina contra la distribución de lluvias de un aspersor Beta CLCBCC25 de brazo oscilante.

Cuantificar la uniformidad de distribución del cañón Mercury 202 con una boquilla similar a la del cañón Beta CLCBCC25 de brazo oscilante y con la misma presión de trabajo en la línea de conducción.

1.3 Hipótesis

Ho: La pluviometría del cañón Mercury 202 es igual a la pluviometría del aspersor Beta CLCBCC25.

Ho: No hay diferencia entre aspersores Mercury 202 y el Beta CLCBCC25.

Ha: Si hay diferencia entre los aspersores, Mercury 202 y el Beta CLCBCC25.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Los sistemas de riego por aspersión

Este método implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae.

Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en las tuberías porta emisores (ramales, alas o laterales de riego) induce un caudal de salida. La diferencia entre ambos métodos radica en la magnitud de la presión y en la geometría del emisor.

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con sus hidrantes, los ramales o laterales de riego y los propios emisores. Estos últimos pueden ser tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores.

De todos ellos, los más utilizados son los aspersores, que pueden llevar una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que no sean demasiado distorsionados por el viento.

En general, los diferentes tipos de aspersores pueden agruparse en varias clasificaciones en base a distintos aspectos:

a) según la velocidad de giro:

- De giro rápido (>6 vueltas/min.) (de uso en jardinería, horticultura, viveros, etc.).
- De giro lento (de ½ a 2 vueltas/min.) (de uso general en la agricultura).

Para una misma presión, los de giro lento consiguen mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo espaciar más los aspersores.

b) según el mecanismo de giro:

- De reacción: la inclinación del orificio de salida origina el giro.
- De turbina: el chorro incide sobre la turbina que origina el giro.

- De choque: el chorro incide sobre un brazo con un muelle, que hace girar el aspersor de forma intermitente. Mediante un mecanismo especial pueden moverse sólo en un sector circular en lugar de abarcar el círculo completo (aspersor sectorial) (**Tarjuelo 1999**).

Los sistemas de riego por aspersión son clasificados principalmente de acuerdo al movimiento (total o parcial) de la porta-aspersores del equipo o de alguno de sus componentes, basándose en este criterio los sistemas de riego se clasifican en estacionarios subdividiéndose en permanente, semiportátil y completamente portátil y de movimiento mecánico continuo que se subdividen en (cañón viajero, pivote central, avance frontal).

Sistemas estacionarios. Este sistema se caracteriza porque la tubería lateral permanece mientras que los aspersores aplican el agua de riego, al concluir el tiempo de riego la bomba se apaga, el equipo se drena, posteriormente las tuberías porta-aspersores son colocadas en la siguiente posición de riego.

Sistema permanente. En este tipo de sistema todas las tuberías son fijas (conducción, principales y laterales) y por lo general se encuentran enterradas, son usados principalmente en huertas, parques, campos deportivos, jardines, praderas y otros.

Sistemas semi-portátiles. Los sistemas semi-portátiles se caracterizan porque sus componentes como la bomba y tuberías de conducción permanecen fijas, sin embargo, en este tipo existen dos variantes:

a). cuando todas las tuberías (principales y laterales) del sistema de riego son de aluminio y se pueden mover mecánicamente de una sección de riego a otra durante el ciclo de riego como es el caso del Side-roll.

b). cuando las tuberías (conducción y principal o de distribución) se encuentran enterradas, el lateral se alimenta de un hidrante y se puede mover en forma manual de una posición a la siguiente.

Sistemas portátiles. Son aquellos sistemas en los cuales todas las tuberías incluyendo en algunos casos la bomba presentan movimientos, ya que pueden ser

transportados para realizar el riego en áreas diferentes, el cambio de equipo se realiza manual o mecánicamente mediante un motor de remolque.

En los sistemas de movimiento mecánico continuo, los aspersores riegan conforme la tubería lateral avanza ya sea en círculo como en el caso del pivote central; o en línea recta tal es el caso de los sistemas de riego de avance frontal y cañón viajero (**Rojas y Briones 2001**).

2.1.1 Los sistemas de riego tipo cañón

Son grandes aspersores giratorios, de construcción robusta para resistir los esfuerzos que originan el elevado caudal descargado y la presión de trabajo, pudiendo ser de brazo oscilante o turbina. En cualquier caso, van dotados de los mecanismos necesarios para que puedan funcionar en forma sectorial, cubriendo normalmente sectores de 200° a 220°.

Lo más frecuente es que estos cañones se monten sobre carros o patines, adaptables a distintas anchuras y alturas según lo requiera el cultivo, que se desplazan a lo largo del campo mientras riegan.

Estos cañones trabajan normalmente a presiones de 400 a 1.000 kPa (4-10 bar), con descargas de 20 a 170 m³.h⁻¹, y pueden regar bandas de más de 100 m de ancho por 500 m de largo (5 ha) en una postura. La pluviometría suele variar entre 5 y 35 mm.h⁻¹.

Existen básicamente dos máquinas con cañones móviles: los <<cañones viajeros>> y los <<enrolladores>>, habiéndose desarrollado mucho más estos últimos, al menos en Europa, por ser más cómodos de manejar y necesitar menos mano de obra para su funcionamiento.

2.1.1.1 Adaptación de los cañones

Las condiciones que permiten establecer un sistema de riego por cañón en alguna de sus modalidades están determinadas por:

Cultivo: este método se emplea en una gran diversidad de cultivos como forrajes, cereales, praderas, papa y otros.

Suelo: se adapta a todo tipo de suelos, a excepción de los arenosos, ya que es inadecuado para suelos de velocidad de infiltración alta.

Pendientes: se utiliza en cualquier topografía especialmente en pendientes fuertes e irregulares.

Gastos: este método aprovecha básicamente gastos grandes, así como gastos relativamente pequeños.

2.1.1.2 Ventajas del cañón

- ◆ Baja inversión inicial con relación a la superficie regada.
- ◆ Alta eficiencia de aplicación (80%) en relación con el riego por superficie.
- ◆ No se requiere la nivelación de tierras.
- ◆ Control adecuado del agua de riego.
- ◆ Bajo costo de mano de obra.
- ◆ No se requiere de experiencia para operar el sistema.

2.1.1.3 Limitaciones del cañón

- ◆ Requiere de una presión elevada (4 a 10 Kg/cm²).
- ◆ Se produce escurrimientos en suelos arcillosos.

- ◆ Mala distribución del agua por efecto del viento, debido a la altura y longitud del chorro.
- ◆ Requiere de un uso excesivo de engría.
- ◆ El impacto de las grandes gotas provoca problemas al suelo.

2.1.1.4 Clasificación de los sistemas de riego tipo cañón

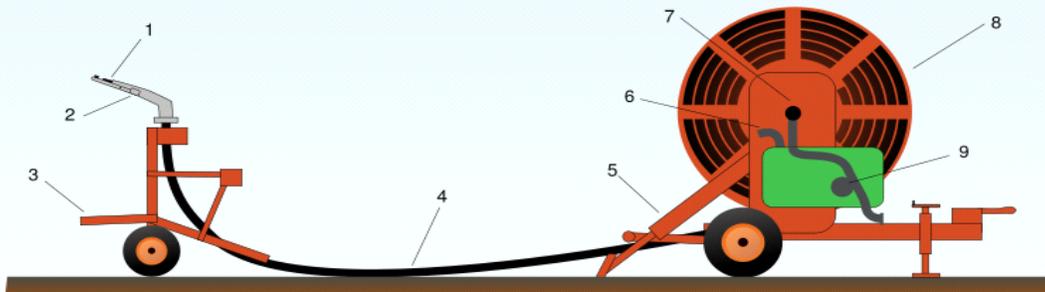
Mencionan (**Rojas y Briones 1990**) que en esta modalidad, el Riego por Aspersion es clasificado, principalmente en tres tipos.

Cañón viajero de manguera flexible guiado por cable

El equipo consta de un aspersor con boquilla de gran diámetro, montado sobre un vagón metálico de cuatro ruedas. El movimiento del sistema se produce por la acción del agua sobre una tubería hidráulica o sobrepistón, que acciona un malacate que enrolla el cable de acero a través del cual se dirige. Este equipo se encuentra previsto de dispositivos que permiten controlar la velocidad de avance, facilitando de esta forma su operación. El sistema se abastece a través de mangueras flexibles que se conectan a la toma localizada en las tuberías principales o de conducción.

- Un sistema de riego por aspersion con cañón viajero “sprinkler traveler gun” consiste de los siguientes componentes principales: equipo de bombeo, línea principal de suministro, manguera flexible, unidad viajera y el aspersor gran cañón. En las máquinas Estadounidenses, la unidad viajera es remolcada por un cable que se embobina en una polea; y en las máquinas Europeas, el cañón viajero es remolcado por la misma manguera cuando ésta es enrollada en un tambor giratorio. En la construcción y funcionamiento de una unidad viajera estas dos clases son distinguidas, unas remolcadas por cable y otras son remolcadas durante la operación por la manguera de arrastre.

1 Düse	6 Auslassventiel
2 Ablenkhebel	7 Narbe
3 Schlepphaken	8 Haspel
4 Zugschlauch	9 Turbine
5 Stützen	



En una unidad viajera de tambor arrollador (8) donde el carro porta-aspersora es jalado por la manguera de arrastre (4), la unidad viajera permanece en la orilla del campo solamente el aspersion montado sobre un carro es jalado sobre el terreno. El chasis o chasis con su aspersion es remolcado sobre el terreno antes de iniciar el riego con la ayuda de un tractor hasta la otra orilla del campo en esta operación al mismo tiempo gira el tambor (8) y la manguera (4) se desenrolla sobre la longitud necesaria (hasta 600 m).

La unidad viajera en sí permanece estacionada a un lado del hidrante de suministro. Por medio de un equipo de bombeo potente altamente efectivo, el caudal de agua requerido en el aspersion (1) es extraído desde el pozo o embalse e introducido en el sistema de riego a presión. El agua es conducida por medio de una tubería estacionaria o móvil desde el cabezal de descarga de la bomba hasta la unidad viajera y de allí se conecta a la turbina (9).

La turbina impulsa un engrane que hace girar el tambor (8) jalando el chasis del aspersion (1) lentamente sobre el terreno en la dirección de la máquina que enrolla la manguera de arrastre. El trabajo hidráulico que se desarrolla ocurre cuando el agua pasa por la turbina y sale por el cubo (7) del tambor hacia la manguera (4) fluyendo hacia la boquilla (1) del aspersion viajero. El chorro de agua generado es quebrado por un balancín (2) de oscilación periódica y el compacto chorro de agua es dividido en una lluvia para obtener una distribución más uniforme sobre el terreno regado.

Al estar el balancín golpeteando el chorro de agua se desplaza la dirección de la trayectoria dentro de un cierto segmento circular y en cada golpe el aspersor reacciona dando un impulso de rotación cambiando de segmento circular. El chorro del aspersor sale con violencia a través de la boquilla, la propulsión del chorro no es de trayectoria estrecha sino que se extiende en el aire y se rompe en grandes y pequeñas gotas que se precipitan sobre el terreno o sobre las plantas.

Cañón viajero de manguera rígida y guiada por carrete.

Este equipo es similar al anterior con la diferencia de que el movimiento del sistema se produce mediante el movimiento del agua en la tubería que acciona un carrete vertical instalado en una base giratoria del vagón de cuatro ruedas, el cual a su vez enrolla una manguera de plástico rígida que jala el vagón que lleva el aspersor.

Cañón viajero autopropulsado de tipo tractor.

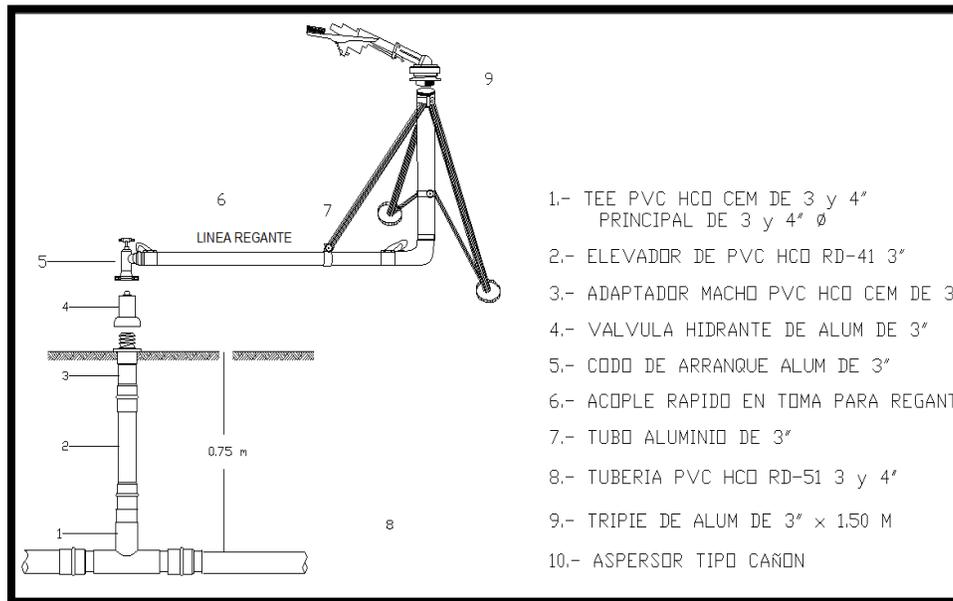
Consiste en utilizar un tractor de oruga que transporta a un aspersor similar a los anteriores; el motor proporciona la fuerza necesaria para moverse y hacer funcionar la bomba. El equipo se abastece a través de un canal de tierra construido a nivel, el tractor se mueve sobre el mientras efectúa el riego. La separación de los canales de abastecimiento son de 100 a 150 m aproximadamente dependiendo del diámetro de mojado y de las condiciones del viento.

Una de las principales características del sistema es el movimiento en línea recta.

2.1.1.5 Los sistemas de cañón estacionarios

Se usan en los cultivos altos como por ejemplo en maíz y en caña de azúcar y para ensamblar este sistema se acoplan: un aspersor gran cañón, un elevador, un codo de arranque, el enganche mecánico y un trípode. Todo el juego pesa aproximadamente 10 libras (4.5 Kg) en los equipos mas pequeños y 45 libras (20 Kg) en los equipos mas grandes.

El cañón estacionario es portátil, especial para campos irregulares; se engancha sobre hidrantes montados a lo largo de la tubería de suministro, pero también se puede manejar en una línea de aluminio, completamente portátil. El diseño de ingeniería de acoplamiento rápido incorporado por los fabricantes de válvulas y accesorios de aluminio vuelve simple el enganche y desenganche del cañón estacionario, el cual se ajusta a tubos de 2, 3, ó 4 pulgadas en diámetro con adaptador de gancho de 90°. Un solo operador puede realizar los cambios del equipo de una posición de riego a la siguiente.



El gasto requerido en un proyecto de riego con cañones estacionarios se puede estimar con la siguiente expresión basada en un balance volumétrico del agua (aplicación igual a demanda) para el área del cultivo:

$$Gasto = \frac{\text{superficie en Ha} \times \text{evapotranspiracion mm. dia}^{-1}}{0.36 \times \text{eficiencia} \times \text{horas diarias de operacion}}$$

2.1.2 Uniformidad de distribución

El coeficiente de uniformidad se usa para describir la “uniformidad” de aplicaciones. Idealmente, un sistema de irrigación aplicaría el agua de una manera totalmente uniforme, de modo que cada parte del área irrigada reciba la misma cantidad de agua. Desafortunadamente, parece que de ninguna manera alcanza esto. Incluso la precipitación natural no es totalmente uniforme. La frase “uniformidad de la irrigación” refiere tan realmente a la variación o a la falta de uniformidad en las cantidades de agua aplicadas a las localizaciones dentro del área irrigada. El esfuerzo significativo en diseño y gerencia del sistema de irrigación se dirige hacia ocuparse de los problemas relacionados con la uniformidad de la irrigación, o la carencia de él.

La uniformidad de la irrigación se relaciona con las cosechas con los efectos agronómicos de inferior y del sobre-riego. El agua escasa conduce a la alta tensión de la humedad en el suelo, a la tensión de planta y a las cosechas reducidas. Exceso del agua puede también reducir cosechas debajo de niveles potenciales a través de mecanismos tales como lixiviación de los alimentos de la planta, de la incidencia creciente de la enfermedad o de la falta de estimular crecimiento de las partes comercialmente valiosas de la planta.

La pendiente en la superficie de los suelos tienen un efecto significativo en la distribución del agua de los rociadores, sus resultados muestran que la aspersion ascendida tendrá que mantenerse perpendicular a la superficie del suelo para maximizar la uniformidad de aplicación del agua y para minimizar los riesgos de erosión ocurridos durante el periodo de riego (**Soares et al. 1991**), **citado por Ferrera 2007**.

Una baja uniformidad en un sistema de riego implica la existencia de zonas del suelo con excesos de agua y otras con escasez, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas. En cualquier caso, con una baja uniformidad será difícil obtener producciones satisfactorias.

La uniformidad de distribución de agua en los sistemas de aspersion es necesaria para un uso más eficiente del agua disponible. Además un riego eficiente permite

maximizar la producción y limitar las pérdidas por precolación profunda. Existen numerosos coeficientes para determinar la uniformidad del riego. Los parámetros más utilizados son el Coeficiente de Variación (CV), la uniformidad de distribución referida al 25% de área menos regada (UD) y el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), 1942.

2.1.2.1 Factores que contribuyen a la irrigación no uniforme

Señalan (**García y Briones 2003**) que los factores que afectan la distribución del agua en los sistemas de riego por aspersion son los siguientes:

1. Condiciones climáticas.
 - a) Velocidad del viento: valor absoluto y variación
 - b) Evaporación: energía solar, movimiento del aire, temperatura, humedad, etc.
2. Condiciones de equipo.
 - a) Marca y modelo del aspersor, configuración interna, velocidad de rotación, sus variaciones en la fabricación y el espaciamiento de los aspersores y laterales.
 - b) Diámetro y configuración de la boquilla.
 - c) La altura del elevador del aspersor.
 - d) Las condiciones hidráulicas del equipo.
3. Condiciones de operación.
 - a) La presión.
 - b) El espaciamiento de los laterales entre si.
4. Condiciones topográficas.
5. Efectos aerodinámicos.

Tabla 2.1 Clasificación de los rangos de uniformidades de distribución y su grado de aceptabilidad. (Tomado de las memorias. R. Martínez E.IX congreso nacional de irrigación, Culiacán, Sinaloa, México 1999), citado por Ferrera 2007.

Grado de Aceptabilidad	Uniformidad de Distribución (%)
Excelente	100-94
Bueno	87-81
Normal	75-68
Mala	62-56
Inaceptable	<50

2.1.3 Eficiencia de aplicación

El termino eficiencia es comúnmente usado por los ingenieros para expresar la razón de la potencia de salida a la potencia de entrada de un mecanismo. Una alta eficiencia (cerca de uno) indica que existe muy poca potencia perdida dentro de la maquina. Conceptos similares son usados en la evaluación de los sistemas de riego, sin embargo, las cantidades de entrada y salida del sistema son cantidades de agua en lugar de cantidades de potencia. Las eficiencias son definidas de tal manera que un sistema bien diseñado y operado tendrá una alta eficiencia.

Los parámetros que definen la eficiencia de un sistema de riego por aspersión están en función de la distribución del agua. Dicha distribución esta primordialmente en función de factores de diseño, operación y climatológicos **(García y Briones, 1986)**.

La **eficiencia** de un método de riego se refiere a la cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular, en relación con la cantidad total de agua que se usa.

El riego localizado en cultivos anuales tiene el inconveniente de que la densa red de tuberías situada sobre el terreno dificulta muchas tareas agrícolas, sobre todo las que emplean maquinaria: labores, tratamientos, cosecha etc. Lo normal es que, para algunos de estos trabajos, se recojan los ramales portagotos, lo que

implica un importante coste en mano de obra y equipos de recogida y extendido, así como en almacenes o lugares donde guardar las tuberías. Por tanto, la idea de riego subterráneo es muy atractiva, ya que todas las tuberías, incluso las laterales, se mantienen enterradas, sin los inconvenientes citados.

Tabla 2.2 Eficiencia máxima de distribución del agua en diferentes sistemas de riego.

Sistemas	Eficiencia (%)
surcos y melgas	50 ó menos
Compuertas	65
Aspersión	70
Side-Roll	75
Avance frontal	76
Pivote central	76
Micro-aspersión	85
Goteo	90
Cinta	92

2.1.4 Método de evaluación para dos aspersores

Los objetivos en esta prueba fueron evaluar la distribución de la pluviometría dentro del patrón simple de aspersión para el aspersor WR33 de Wade Rain y para el rotor R33 de Nelson irrigation y luego simular el traslape de las precipitaciones a separaciones de 12x18 m y comparar el Coeficiente de Uniformidad esperado en una línea Wheel Move o Power Roll.

Se puso a funcionar un aspersor WR33 a 40 PSI de presión medida con un manómetro Bourdon acoplado al aspersor mediante un aditamento Pitot, posicionando al centro de un arreglo de recipientes dispuestos en cuadrícula de 3x3m con una capacidad suficiente para coleccionar las lluvias precipitadas dentro del área de mojado del aspersor metálico de oscilación, doble boquilla y giro completo. Los volúmenes coleccionados durante la prueba de pluviometría (con duración de al menos una hora) fueron medidos con una probeta graduada y los datos fueron registrados en una hoja cuadrículada siguiendo el orden de la

colocación de los recipientes. Después fue puesto a funcionar el rotor R33 de boquilla simple y rotación completa, para mapear la pluviometría dentro del área mojada por este rotor.

Se inmovilizó el brazo para aforar el gasto de los aspersores por el método volumétrico directo adaptando unas mangueras cortas a las boquillas para dirigir el chorro de agua a un recipiente de volumen conocido y registrar el tiempo de llenado.

La distribución de los volúmenes colectados dentro del patrón simple de aspersión para ambos aplicadores, el aspersor WR33 y el rotor R33, son mostrados en la figura 1B del Apéndice B. La uniformidad de distribución para un traslape de 12m entre aspersores y de 18m entre posiciones de línea Wheel move, fue evaluada estadísticamente aplicando el Coeficiente de Uniformidad de Wilcox (CUW), encontrando un CUW = 85% para el aspersor WR33 y un CUW = 80% para el rotor R33 calificando la distribución de buena a regular (**Quintero y Briones, 2009**).

III. MATERIALES Y METODOS

El siguiente proyecto se realizo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el municipio de Saltillo, Coahuila, México, donde se llevo acabo la evaluación pluviométrica de los cañones <<Mercury 202>> nuevo y de reciente adquisición, donado por la empresa WADE RAIN y <<Beta CLCBCC25>> usado y desconocido ya que no se encuentran datos del mismo, que nos son útiles en este proyecto. En el siguiente cuadro se encuentra la localización exacta de los estudios de evaluación.

SISTEMA	LOCALIDAD	COORDENADAS		ALTITUD
Cañón estacionario	UAAAN, Buenavista, saltillo , Coahuila, México	25° 21' 03.28"N	101° 01' 47.61"O	1780MSNM

3.1 Materiales:

3.1. Tabla de operación del fabricante para los cañones, basados en el catálogo de productos 2010 de WADE RAIN.

DATOS	Mercury 202	Nelson serie 100
Boquilla (mm)	18	20
Caudal (m ³ .Hr ⁻¹)	27.1	28.4
Cobertura (m)	32	39.5
Presión (Kg.cm ⁻²)	3	3.5

- ❖ Cañones Mercury 202 (Figura 3.1) y Beta CLCBCC25 (Figura 3.2).



(Figura 3.1)



(Figura 3.2)

Figura 3.3 Partes que componen a un aspersor gran cañón de tipo turbina.

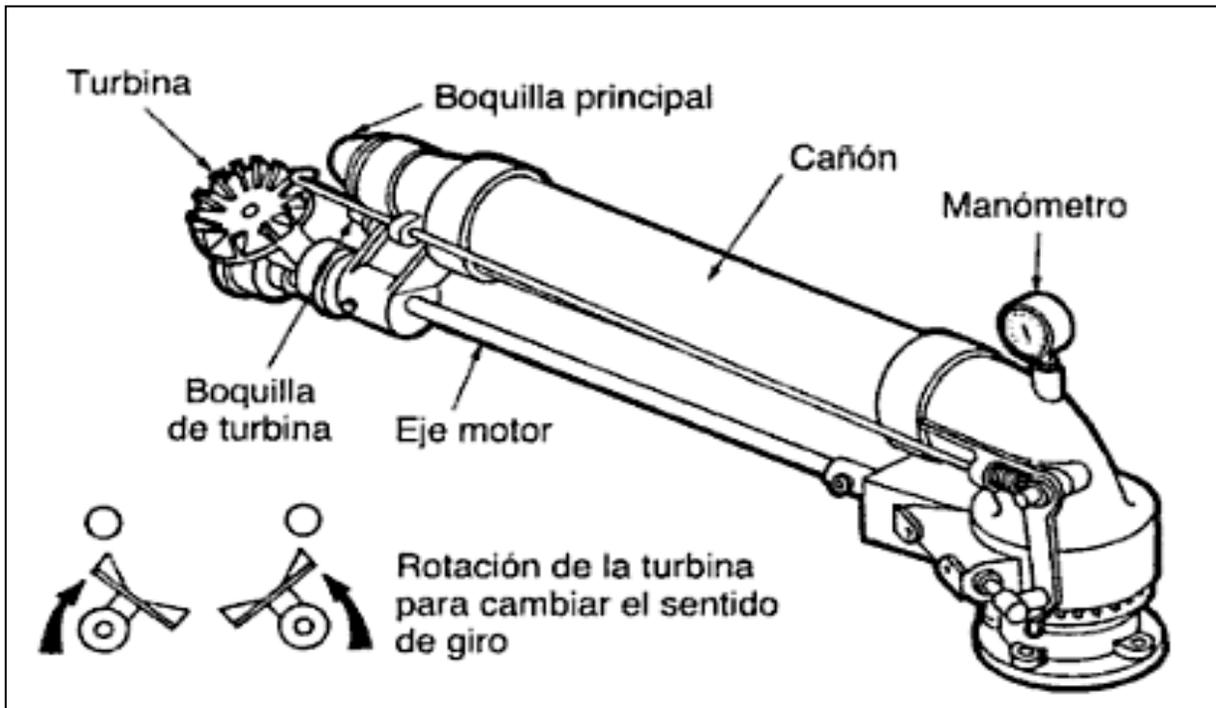
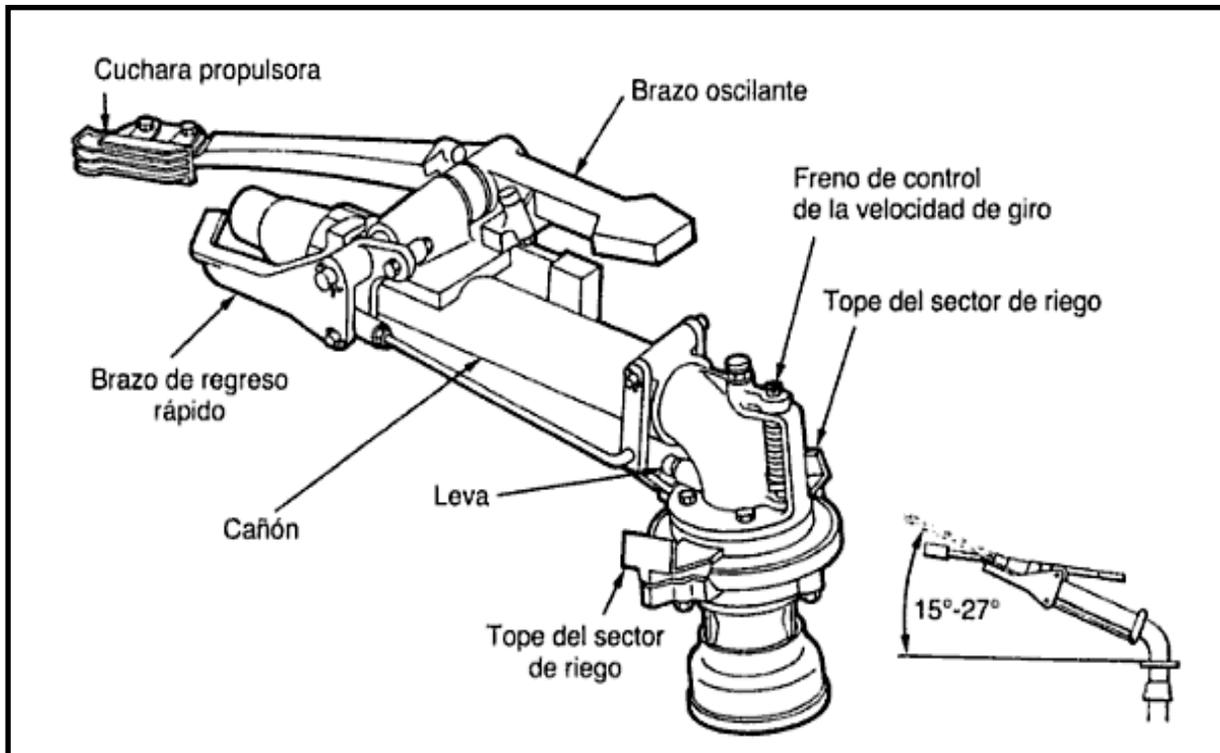


Figura 3.4 Partes que componen a un aspersor gran cañón de tipo brazo oscilante.



- ❖ Tubo pitot (Figura 3.5)
- ❖ Manómetro (Figura 3.6)



Figura 3.5

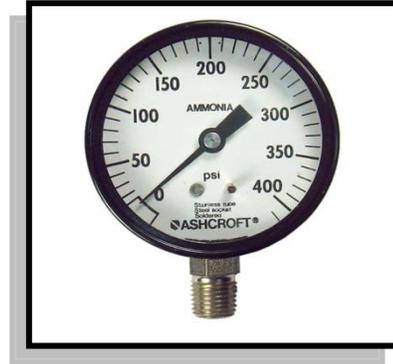


Figura 3.6

- ❖ Anemómetro (Figura 3.7)



Figura 3.7

❖ Vasos captadores (3.8)

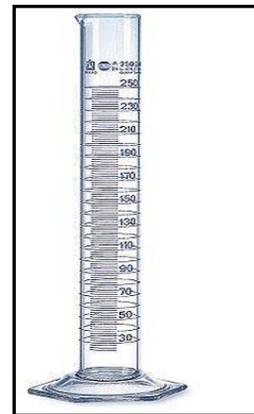


Figura 3.8

❖ Cronometro (Figura 3.9) y probeta graduada (Figura 3.10)



(Figura 3.9)



(Figura 3.10)

3.2 Métodos

3.2.1 Evaluación del sistema.

La evaluación del sistema se realizó con la finalidad de conocer si cumple con sus parámetros de trabajo, además para obtener un panorama un poco más amplio del funcionamiento y aplicación del agua de riego, y así con este sistema de riego en un determinado momento hacer las recomendaciones necesarias al productor para que tenga una mayor eficiencia en el uso del sistema.

Para determinar la uniformidad de aspersión en el sistema se utilizó el Coeficiente de uniformidad de Wilcox (CUW)

Para la evaluación de sistemas de riego por aspersión se debe aplicar las normas ASAE S330.1 Procedimiento de ensayos en aspersión con fines de investigación, las ISO 7749-1 (1995) y la 7749-2 (1990) que son para el equipamiento de riego agrícola, aspersores rotativos, diseño y requisitos de operación, estando relacionadas estas últimas dos a la UNE 68-072-86 para aspersores rotativos, requisitos generales y métodos de ensayo.

Los pasos realizados para evaluar un sistema de riego tipo cañón son:

1.- Determinación de la presión del sistema.

Es recomendable conocer el manejo de los manómetros ya que para la evaluación de un determinado sistema de riego es de gran utilidad.

La determinación de la presión del sistema se realizó con la ayuda de un manómetro Borden con aditamento pitot, se insertó en la boquilla de uno de los aspersores instalados en la línea de conducción procurando tener las menores fugas posibles para medir adecuadamente la presión; esto se hizo en uno de los aspersores más cercanos al cañón.

2.- Aforo de las boquillas de los cañones de riego.

Esta prueba se realizó utilizando un recipiente de volumen conocido en litros obteniendo resultados de gastos; (Lts/hr), con la ayuda de un cronómetro se determinó el tiempo de llenado del recipiente.

También se puede hacer el cálculo del caudal descargado a través de la boquilla, consultando el dato directo en la tabla de operación del fabricante del aspersor, haciendo la lectura de caudal con referencia al tamaño de la boquilla y la presión de operación.

Al igual que la determinación de la presión hay que tener cuidado de registrar el tamaño o número de boquilla utilizada con la cual se está trabajando; o bien utilizando la ecuación de los orificios.

La ecuación de descarga a través de un orificio está dada por:

$$Q = a * C * \sqrt{2gH}$$

Siendo “a” el área de la sección hidráulica de la boquilla en m², C = 0.95 un coeficiente de calibración para el modelo, g = la aceleración de la gravedad, H = es la carga de operación del aspersor en (mca).

3.- Prueba de pluviometría.

Antes de poner en marcha un nuevo sistema de riego es recomendable realizar una evaluación integral con el fin de determinar si los parámetros en el campo corresponden a los del proyecto, lo mismo ocurre con aquellos sistemas que llevan algunos años funcionando con el fin de determinar si algunos de sus componentes han perdido las características originales, en otros casos no sabemos con exactitud la pluviométrica que aportan los aspersores y si estos están trabajando con la presión adecuada, en este caso los valores que se obtienen en la evaluación permiten corregir los parámetros de explotación para lograr mayor eficiencia en el riego.

Para la evaluación de cualquier tipo de sistema de riego por aspersión es necesario hacer una prueba de pluviometría, esta prueba pluviométrica se realiza con la finalidad de conocer la distribución de las lluvias entre los aspersores, haciéndose uso de un método sencillo como lo es la prueba de los botes colectores a lo largo del sistema.

a).- En un campo donde se tiene un cultivo, o no se tiene ningún cultivo establecido, se debe probar el aspersor o los aspersores en una posición donde las diferencias de elevación son mínimas.

b).- Para la evaluación pluviométrica del cañón, se colocaron los colectores que según la norma UNE 68-072-86 serán de forma cilíndrica y de tamaño uniforme, con los bordes agudos y sin deformaciones, con una altura de al menos 12 cm y con un diámetro mínimo de 8.5 cm (recomendable mayor de 12 cm); en forma de cuadrantes empezando a 1 m de distancia desde el cañón y luego colocándolos a 2m a partir del primero, tratando de tener una mejor representación de los datos.

Figura 3.11 Arreglo de las líneas de pluviómetros en el área de cobertura del cañón Mercury 202.

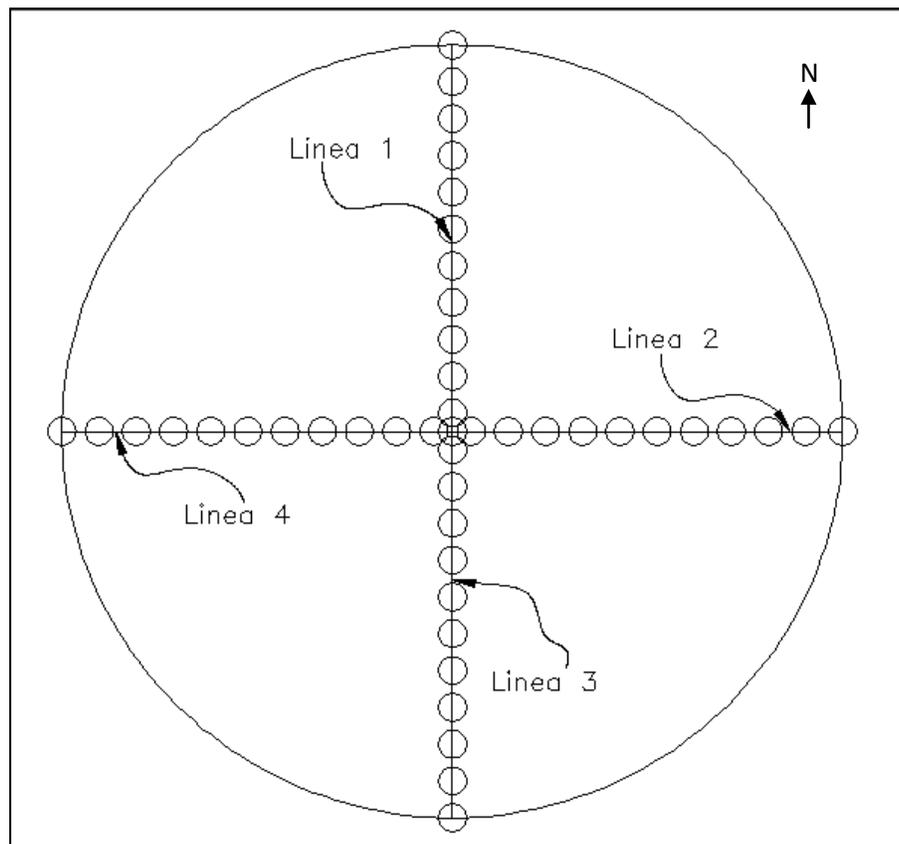
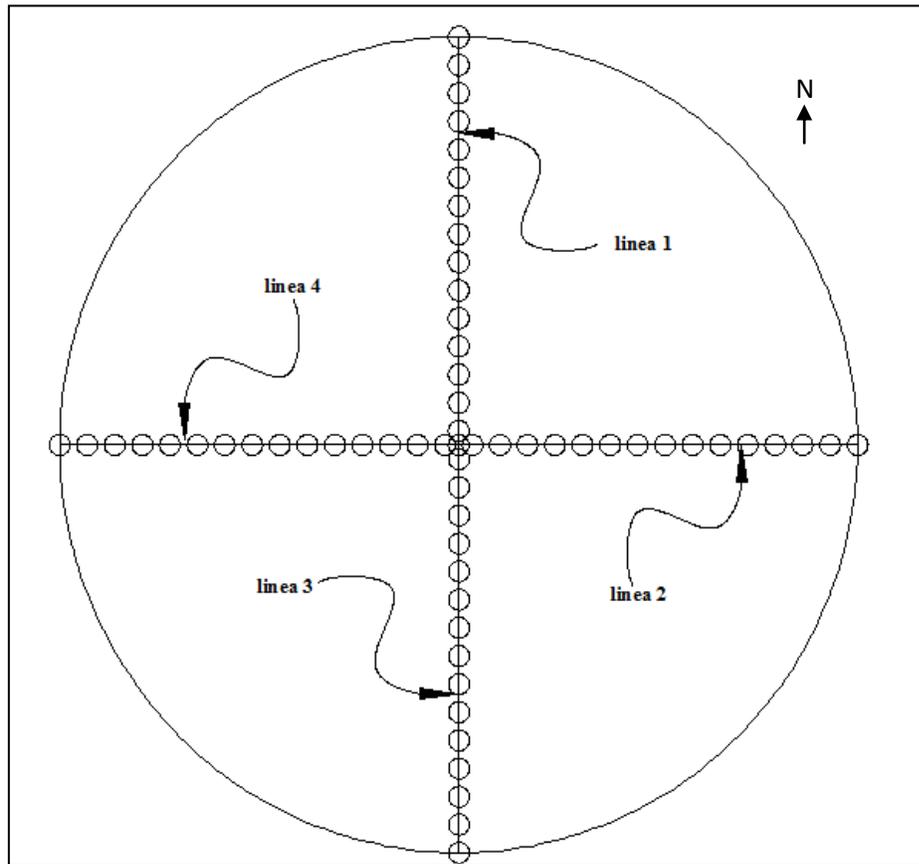


Figura 3.12 Arreglo de las líneas de pluviómetros en el área de cobertura del cañón Beta CLCBCC25.



c).- Se debe registrar las condiciones climáticas, tales como la dirección y velocidad del viento, la temperatura ambiental, la evapotranspiración y las condiciones de operación a las que se está sometiendo el cañón, en este caso no se tomaron las condiciones climáticas.

d).- Una vez que se haya concluido el tiempo de prueba en el sistema, se prosigue a medir los volúmenes colectados por los botes y se registran en los formatos 1 y 2 especificando el sistema de riego evaluado.

La lámina de riego (**LR**) se calculó de la siguiente manera:

$$LR = \frac{V_i}{AC}$$

Donde:

LR = Lamina de riego (cm)

V_i = Volumen colectado (cm³)

AC = Área del colector (cm²)

e).- Con los datos obtenidos en campo se determina la uniformidad de distribución del agua de riego en el sistema, los cuales se enfocan principalmente en la utilización del promedio de los volúmenes observados así como la desviación estándar de los mismos como es el caso de Christiansen 1942 y Wilcox. En esta evaluación se hizo factible el Coeficiente de Uniformidad de Wilcox (CUW).

Coeficiente de Uniformidad de Wilcox.

$$CUW = 100 \left(1 - \frac{Sx}{\bar{X}} \right)$$

Donde

CUW = Coeficiente de uniformidad de Wilcox (%)

Sx = Desviación estándar

\bar{X} = Promedio de los volúmenes colectados (cm³).

Coeficiente de uniformidad de Christiansen 1942.

$$CUC = 100 * \left[1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{\bar{X}n} \right]$$

CUC = Coeficiente de uniformidad de Christiansen (%)

\bar{X} = Promedio de los volúmenes colectados (cm^3).

n = Numero de datos

$\sum |X_i - \bar{X}|$ = La sumatoria de la diferencia de los valores absolutos de los volúmenes colectados en cada colector y la media de los volúmenes colectados.

Área del Colector (AC)

$$AC = (\pi) \times (RC^2)$$

DONDE:

AC = Área del colector (cm^2)

π = Constante 3.1416.

RC² = Radio del colector (cm)

Área irrigada (AI)

$$AI = (\pi) * (R^2)$$

DONDE:

AI = Área Irrigada (m^2).

π = Constante 3.1416.

R² = Longitud de alcance del chorro (m).

Tasa de precipitación (TP)

$$TP = \left(\frac{VC * 60}{TE * AC} \right) * 10$$

DONDE:

TP = Tasa de precipitación en mm.hr⁻¹.

VC = Volumen colectado en cada colector en cm³

AC = Área del colector en cm²

TE = Tiempo de duración de la prueba en minutos.

IV. RESULTADOS Y DISCUCION

4.1 La distribución de las tasas de precipitación en las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202.

Los resultados de la comparación de dos aspersores tipo cañón se obtuvieron a través de una evaluación de la pluviometría, ubicando los colectores para medición de los volúmenes precipitados en un campo deportivo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, y los resultados se muestran a continuación, haciendo un análisis de los datos en relación al CUW y el traslape entre líneas. Para el aspersor Mercury 202 se encontró una Tasa de Precipitación promedio de **L1**= 9.71 (mm/Hr), **L2** = 10.13 (mm/Hr), **L3** = 11.66 (mm/Hr) y **L4** = 11.15 (mm/Hr), dando una vuelta completa el cañón en 8 min. En los volúmenes colectados se obtuvo un promedio en la **L1** =61.54 cm³, **L2** = 64.18 cm³, **L3** = 73.90 cm³ y **L4** = 70.63 cm³, la uniformidad de distribución (CUW) por el método de Wilcox a 28m fueron en **L₁₋₃** = 56.61%, **L₂₋₄** = 52.90%; a 26m en **L₁₋₃** = 67.29%, **L₂₋₄** = 63.83% y a 24m en **L₁₋₃** = 79.68%, **L₂₋₄** = 77.88%. Con los valores de CUW obtenidos a un espaciado entre aspersores de 24 m, el sistema se considera aceptable encontrándose en un rango del 75 a 81% de acuerdo a la tabla 2.1, de lo cual se puede deducir que el cañón Mercury 202 es recomendable para su uso en el riego agrícola.

Tabla 4.1 Datos obtenidos durante la evaluación del Mercury 202			
Presión	Inicio	Finalización	Tiempo de giro
45 Lb. In ⁻²	12:48 Hrs	1:28 Hrs	8 min.
Boquilla	Tiempo de evaluación		
18 mm	40 min.		

Tabla 4.2 Valores de CUW (%) obtenidos al traslapar las líneas de pluviómetros en el Mercury 202		
No. Línea	Separación entre aspersores (m)	CUW (%)
1 – 3	28	58.09
2 – 4		54.61
1 – 3	26	68.58
2 – 4		65.25
1 – 3	24	79.68
2 – 4		77.88

El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202 a 2 metros de separación entre colectores, se muestra en la Figura 4.1 encontrando un coeficiente de uniformidad CUW = 58.09% y 54.61% al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 28 metros.

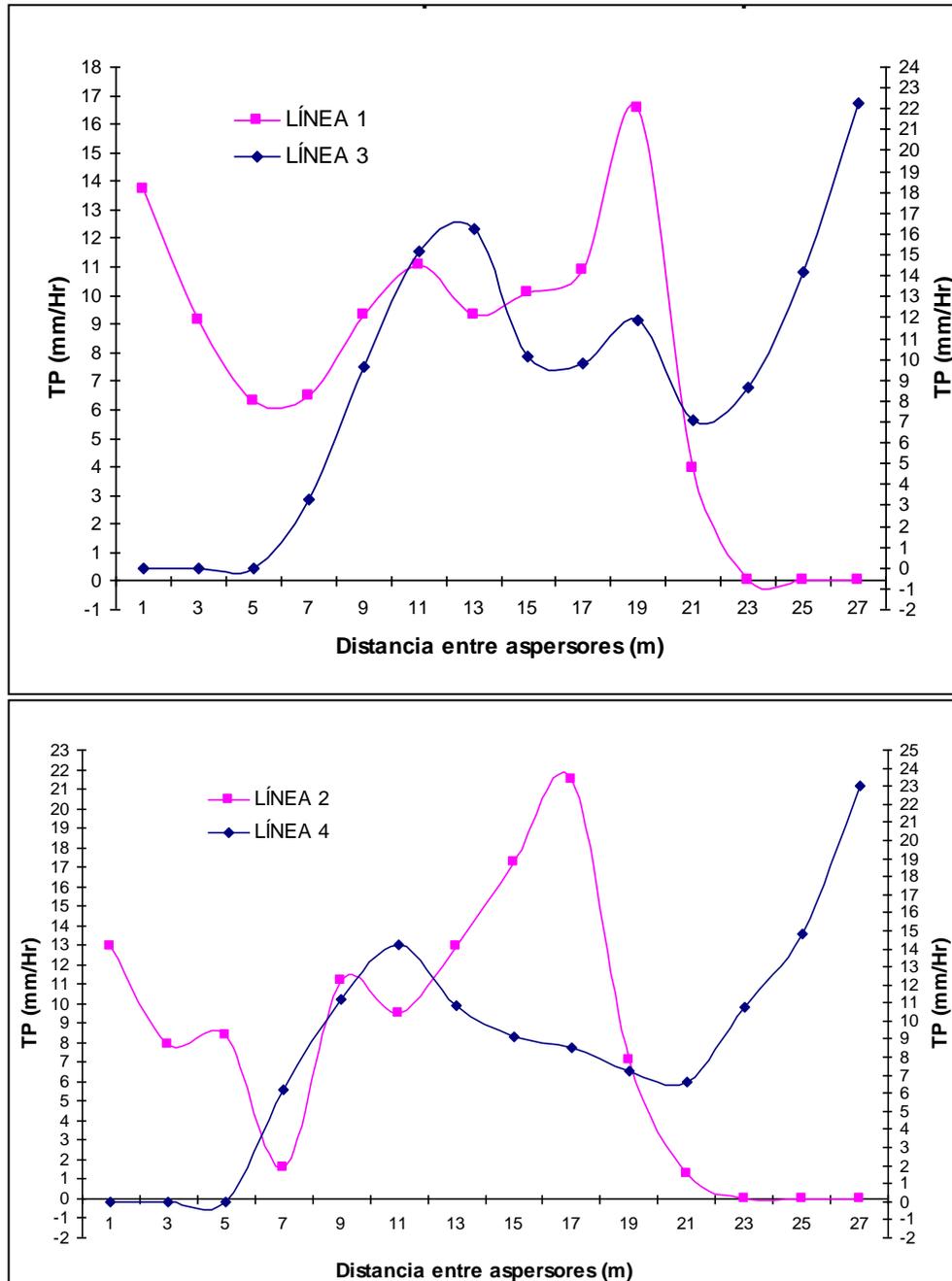


Figura 4.1 Tasa de precipitación (mm/Hr) en las líneas de pluviómetros para el aspersor Mercury 202.

El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202 a 2 metros de separación entre colectores, se muestra en la Figura 4.2 encontrando un coeficiente de uniformidad CUW = 68.58% y 65.25% al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 26 metros.

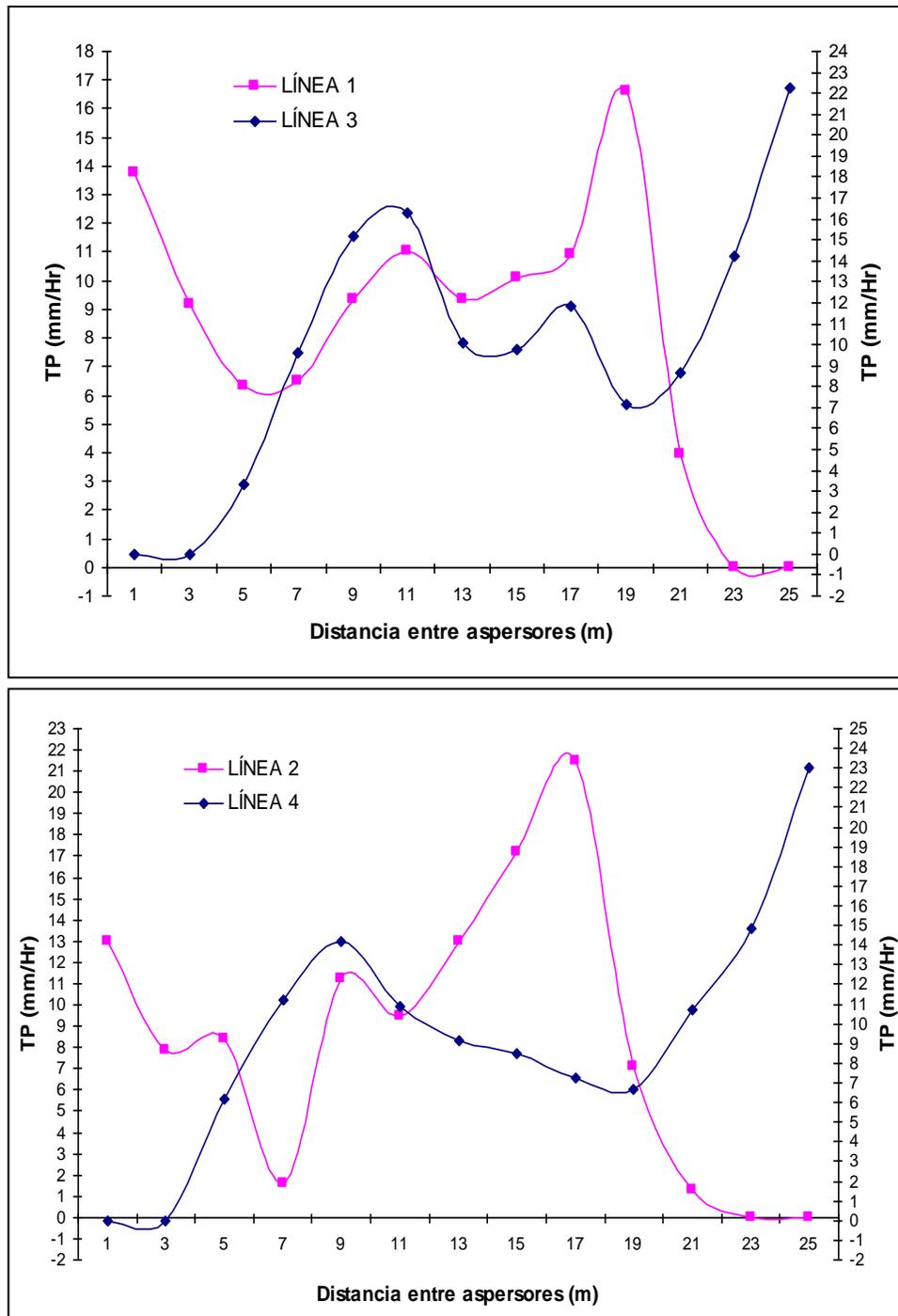


Figura 4.2 Tasa de precipitación (mm/Hr) en las líneas de pluviómetros para el aspersor Mercury 202.

El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Mercury 202 a 2 metros de separación entre colectores, se muestra en la Figura 4.3 encontrando un coeficiente de uniformidad CUW = 79.68% y 77.88% al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 24 metros.

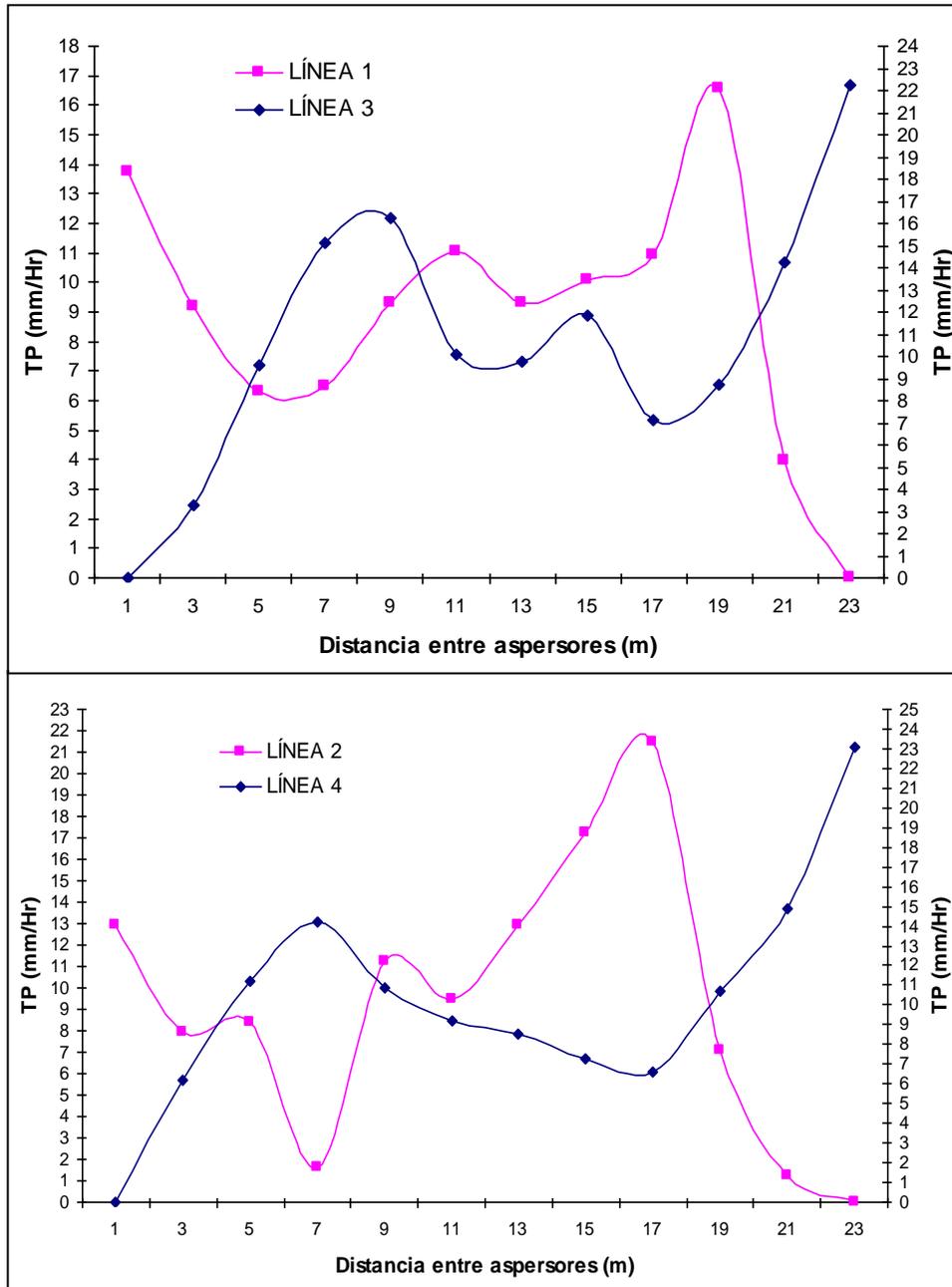
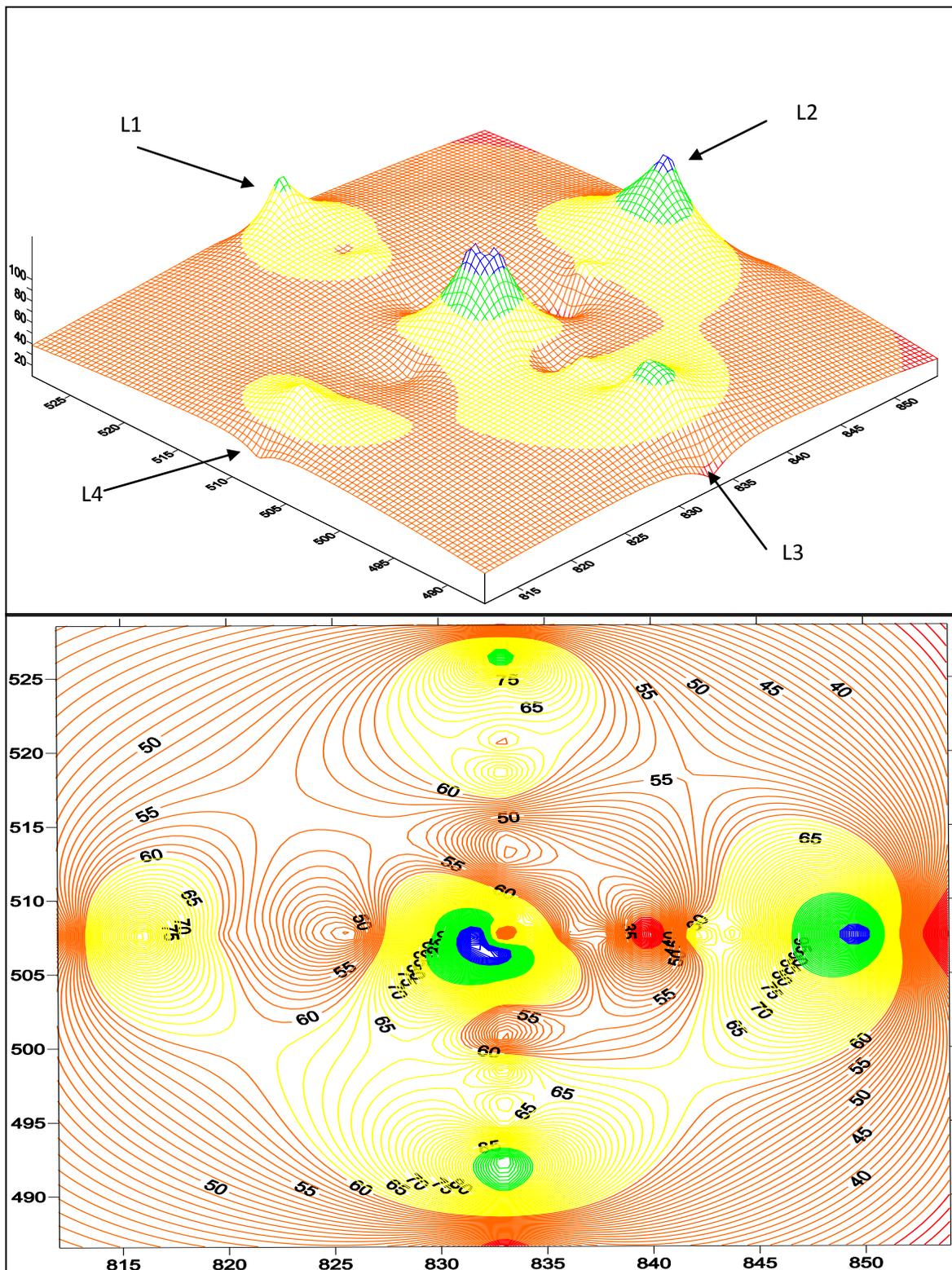


Figura 4.3 Tasa de precipitación (mm/Hr) en las líneas de pluviómetros para el aspersor Mercury 202.

Figura 4.4 Distribución de la lluvia sobre el área de cobertura del cañón Mercury 202 en 3D para caracterizar el patrón simple de aspersión.



4.2 La distribución de las tasas de precipitación en las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25.

Los resultados de la comparación de dos aspersores gran cañón se obtuvieron a través de una evaluación de la pluviometría, ubicando los colectores para medición de los volúmenes precipitados en un campo deportivo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, y los resultados se muestran a continuación, haciendo un análisis de los datos en relación al CUW y el traslape entre líneas. Para el aspersor Beta CLCBCC25 tipo brazo oscilante, se encontró una Tasa de Precipitación promedio de **L1**= 1.49 (mm/Hr), **L2** = 7.78 (mm/Hr), **L3** = 5.72 (mm/Hr) y **L4** = 8.26 (mm/Hr), dando una vuelta completa el cañón en 16 min. En los volúmenes colectados se obtuvo un promedio en la **L1** =9.46 cm³, **L2** = 49.26 cm³, **L3** = 36.26 cm³ y **L4** = 52.33 cm³, la uniformidad de distribución (CUW) por el método de Wilcox a 28m fueron en **L1-3** = 6.73%, **L2-4** = 46.01%; a 26m en **L1-3** = 8.73%, **L2-4** = 45.44% y a 24m en **L1-3** = 9.01%, **L2-4** = 51.18%. Con los valores de CUW obtenidos a un espaciado entre aspersores de 24 m y al compararlos con los del cañón Mercury 202, el sistema se considera inaceptable, encontrándose en un rango menor del 51% de acuerdo a la tabla 2.1, de lo cual se puede deducir que el cañón Beta CLCBCC25 es inadecuado para su uso en el riego agrícola.

Tabla 4.3 Datos obtenidos durante la prueba del Beta CLCBCC25			
Presión	Inicio	Finalización	Tiempo de giro
45 Lb.In ⁻²	10 Hrs	10:40 Hrs	16 min.
Boquilla	tiempo de evaluación		
20 mm	40 min		

Tabla 4.4 Valores de CUW (%) obtenidos al traslapar las líneas de pluviómetros en el Beta CLCBCC25		
No. Línea	Separación entre aspersores (m)	CUW (%)
1 – 3	28	6.73
2 – 4		46.01
1 – 3	26	8.73
2 – 4		45.44
1 – 3	24	9.01
2 – 4		51.18

El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25 a 2 metros de separación entre colectores, se muestra en la Figura 4.5 encontrando un coeficiente de uniformidad $CUW = 6.73\%$ y 46.01% al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 28 metros.

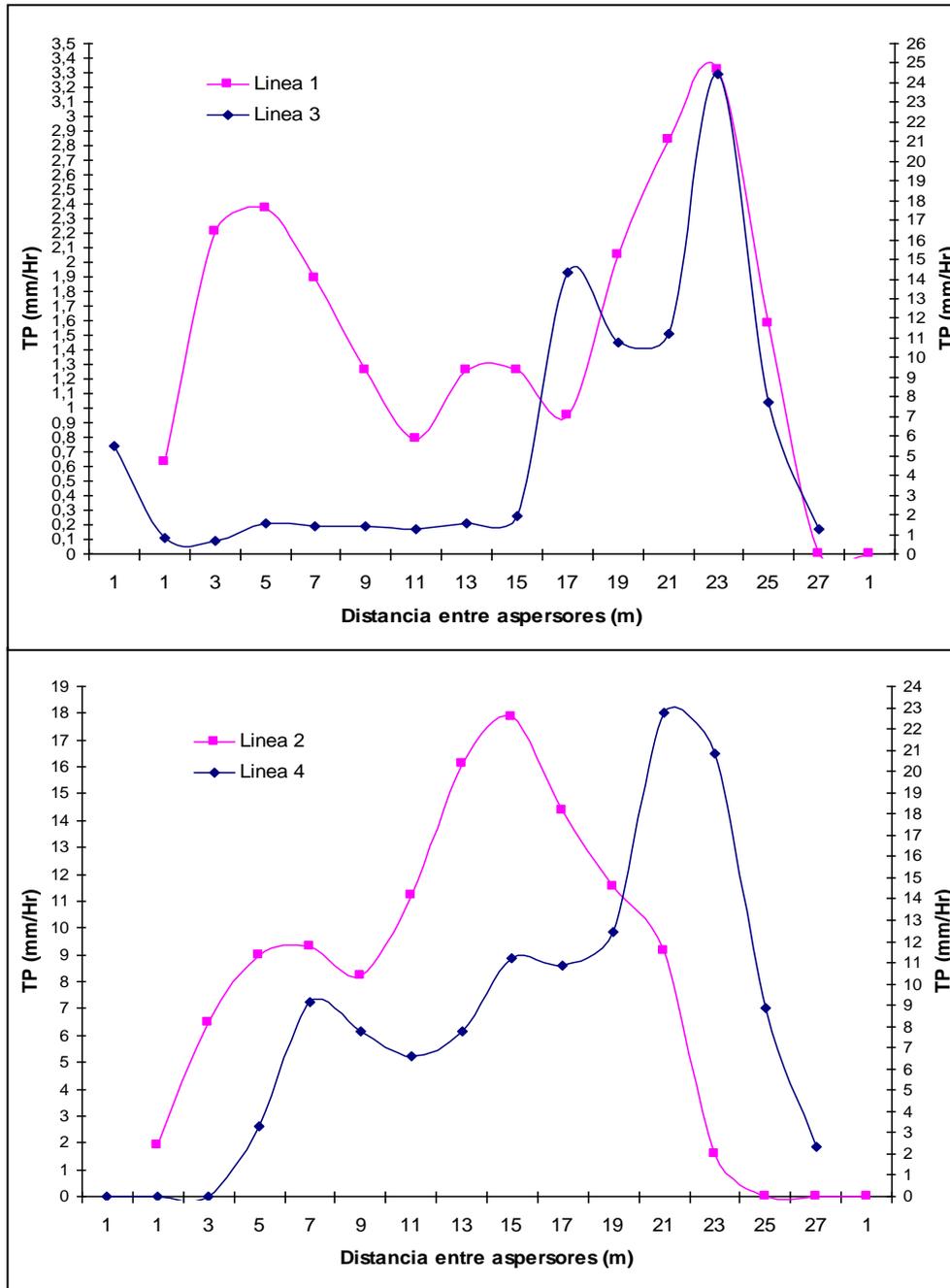


Figura 4.5 Tasa de precipitación (mm/Hr) en las líneas de pluviómetros para el aspersor Beta CLCBCC25

El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25 a 2 metros de separación entre colectores, se muestra en la Figura 4.6 encontrando un coeficiente de uniformidad $CUW = 8.73\%$ y 45.44% al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 26 metros.

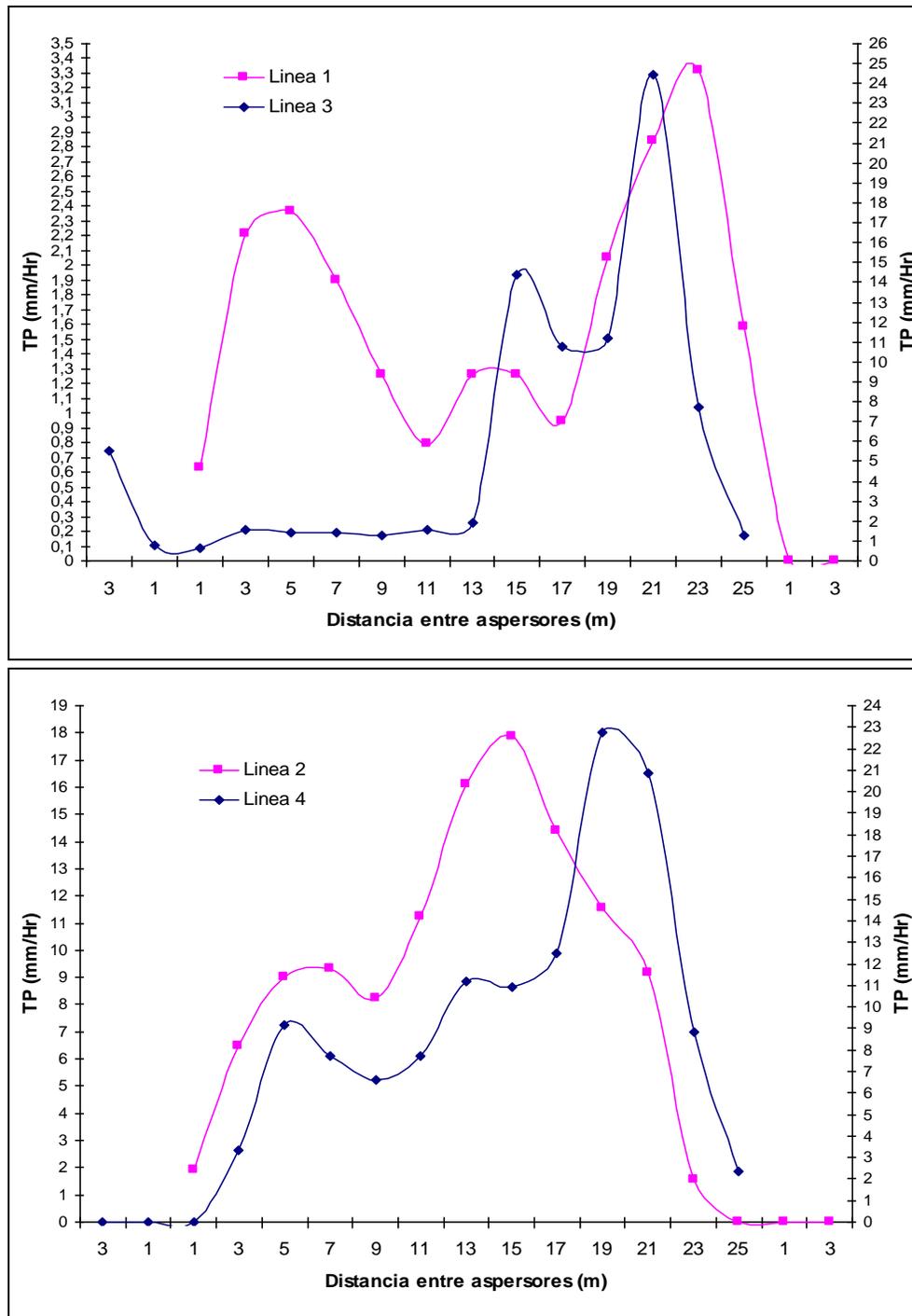


Figura 4.6 Tasa de precipitación (mm/Hr) en las líneas de pluviómetros para el aspersor Beta CLCBCC25

El perfil de distribución de la lluvia observada a través de las líneas de pluviómetros en el cañón Beta CLCBCC25 a 2 metros de separación entre colectores, se muestra en la Figura 4.7 encontrando un coeficiente de uniformidad $CUW = 9.01\%$ y 51.18% al traslapar las líneas 1-3 y 2-4 a un espaciado de 24 metros.

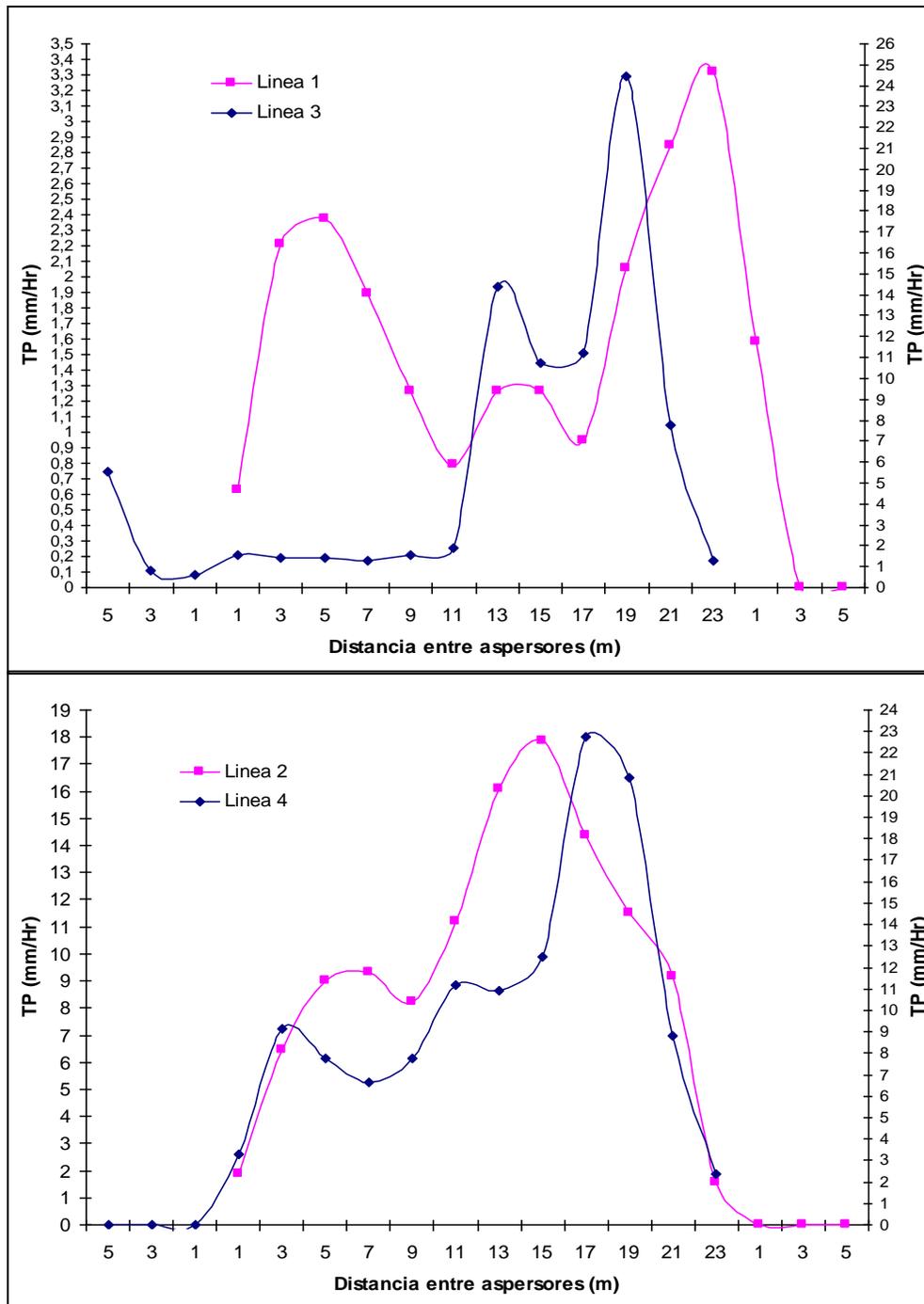


Figura 4.7 Tasa de precipitación (mm/Hr) en las líneas de pluviómetros para el aspersor Beta CLCBCC25.

Figura 4.8 Distribución de la lluvia sobre el área de cobertura del cañón Beta CLCBC25 en 3D para caracterizar el patrón simple de aspersión.

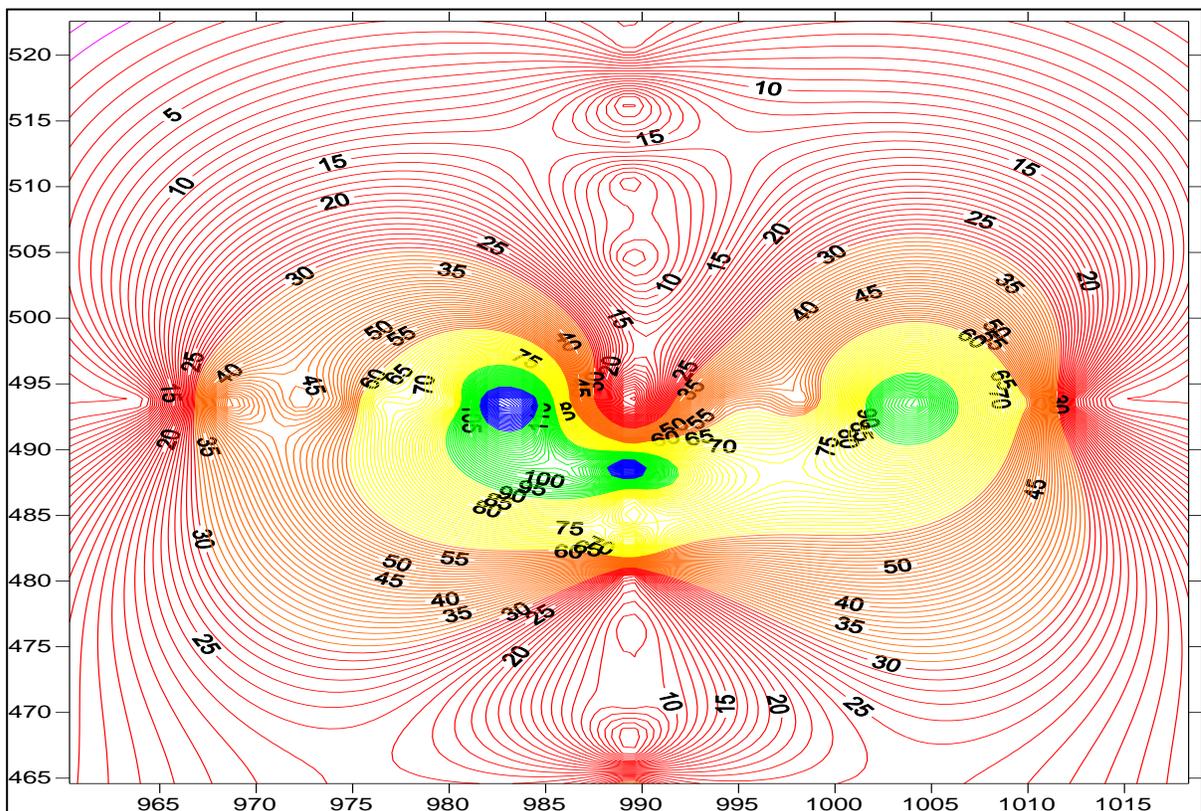
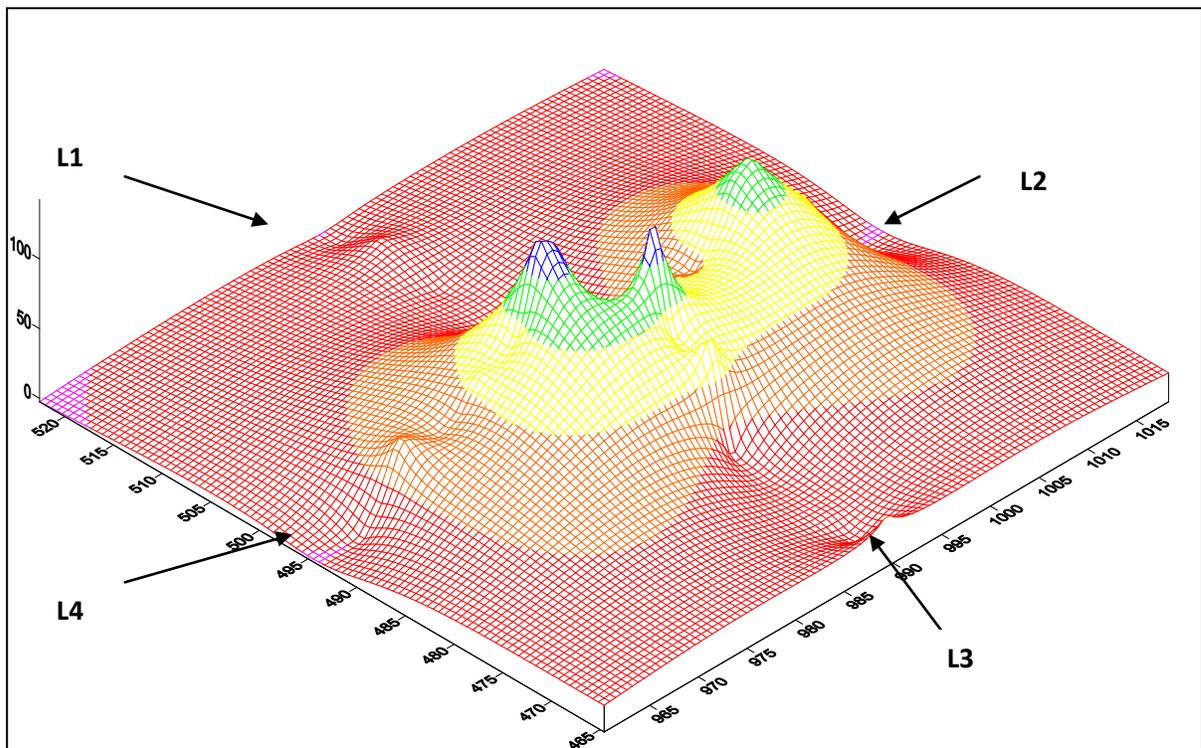


Tabla 4.5 Coeficientes de uniformidad de acuerdo a la separación entre aspersores, la marca del cañón y las líneas traslapadas.

TRASLAPE Separación entre aspersores (m)	Numero de líneas traslapadas	CUW (%)	
		Mercury 202	Beta CLCBCC25
24	1 - 3	79.6845	9.0131
	2 - 4	77.8832	51.1853
26	1 - 3	68.5821	8.7312
	2 - 4	65.2535	45.4436
28	1 - 3	58.0931	6.7393
	2 - 4	54.6184	46.0091

Tabla 4.6 Tasa de Precipitación promedio (mm/Hr), Volúmenes promedio recolectados (cm³) y Lamina de riego promedio (cm) en cada línea de pluviómetros y de acuerdo al modelo del cañón.

Parámetros calculados	No. Línea	Mercury 202	Beta CLCBCC25
TP Promedio (mm.Hr ⁻¹)	1	9.7177	1.4947
	2	10.1340	7.7789
	3	11.6699	5.7263
	4	11.1531	8.2632
Volumen Recolectado Promedio (cm ³)	1	61.5455	9.4667
	2	64.1818	49.2667
	3	73.9091	36.2667
	4	70.6364	52.3333
Lamina de Riego (cm)	1	0.6478	0.0996
	2	0.6756	0.3818
	3	0.7780	0.5186
	4	0.7435	0.5509

V. CONCLUSION

De acuerdo al análisis realizado para el sistema de riego por aspersión tipo cañón y observando la condición de los equipos evaluados se llega a determinar la siguiente conclusión.

El funcionamiento del cañón Mercury 202 tipo turbina, ubicado en uno de los campos deportivos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, que fue sometido a condiciones normales de trabajo (sin viento); con una presión de 45 Lb. Pulg⁻² tiene una uniformidad de distribución del 77 a 79% a una separación de 24 m entre los aspersores, siendo este valor aceptable en el rango esperado en estos sistemas de riego, desempeñando mejor uniformidad de distribución que el cañón Beta CLCBCC25 tipo brazo oscilante, el cual bajo las mismas condiciones de trabajo tuvo una uniformidad de distribución de 9 a 51% que de acuerdo al rango de aceptabilidad son valores inadecuados.

En el campo se observó mayor alcance del aspersor Beta CLCBCC25 en comparación al aspersor Mercury 202, como lo establecen las normas de los fabricantes. Los alcances observados en la prueba de campo al aire libre fueron comparativamente menores a los reportados por los fabricantes a la misma presión y tamaño de boquilla de cada cañón.

VI. RESUMEN

El objetivo de la evaluación fue cuantificar la pluviometría y comparar la uniformidad de distribución del agua de riego aplicada por los cañones de riego Mercury 202 y Beta CLCBCC25, obteniendo la uniformidad de distribución a diferentes distancias entre aspersores (traslapes).

Las variables medidas durante y después de la evaluación son: uniformidad de distribución por el método de Wilcox, tasa de precipitación (TP) mm.Hr^{-1} , volúmenes colectados y la lamina de riego. Se hizo una prueba de pluviometría para conocer la distribución de las lluvias en las cuatro líneas de pluviómetros, siendo un método sencillo ya que consiste en capturar las lluvias en los pluviómetros colocando al centro los cañones de riego.

El funcionamiento del cañón Mercury 202 tipo turbina, ubicado en uno de los campos deportivos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, que fue sometido a condiciones normales de trabajo (sin viento); con una presión de 45 Lb. Pulg^{-2} tiene una uniformidad de distribución del 77 a 79%, siendo este valor aceptable en el rango del 75 a 81% esperado en estos sistemas de riego, tomando en cuenta los rangos de aceptabilidad en la tabla 2.1; desempeñando mejor uniformidad de distribución que el cañón Beta CLCBCC25 tipo brazo oscilante, que bajo las mismas condiciones de trabajo tuvo una uniformidad de distribución del 9 a 51% que de acuerdo al rango de aceptabilidad son valores inadecuados por encontrarse entre un rango menor del 50% en la tabla 2.1. Demostrando que el Mercury 202 alcanza una eficiencia recomendable ya que esta por arriba del 75% en la uniformidad de distribución del agua de riego aplicada.

PALABRAS CLAVE: Evaluación, Uniformidad de distribución, aspersor gran cañón Mercury 202 tipo turbina, Beta CLCBCC25 tipo brazo oscilante.

BIBLIOGRAFIA.

Rojas P.L. y G. Briones S., 2001. Diseño y operación de sistemas de riego. UAAAN. Departamento de riego y drenaje, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. PP 56-59.

I.G. Casillas y Briones S.G., 2003. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Trillas, UAAAN, 1997 (Reimp. 2003). PP 87-88.

L.A. Gurovich, 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, San José, Costa Rica, (IICA). PP 7-8.

Muñiz R.J.M. 2000. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua, en diferentes sistemas de riego sobre el cultivo de papa (Tesis). Departamento de riego y drenaje. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

R.V. Ferrera 2007. Evaluación de la uniformidad de distribución de agua en un sistema de riego por aspersión tipo pivote central en tres etapas de desarrollo del cultivo de maíz (Tesis). División de ingeniería, Departamento de riego y drenaje, UAAAN, Buenavista, saltillo, Coahuila, México.

M.M. Quintero González y G. Briones S. 2009. Patrón simple de precipitación para el aspersor WR33 y para el rotor R33 (Tesis). División de ingeniería, departamento de riego y drenaje, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Rojas P.L. y G. Briones S. 1990. Sistemas de riego. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. PP 102-103.

Tarjuelo M-B.J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. 5-6, 333, 345, 361.

Euroresidentes Ityls siglo XXI, 2000. Tecnología de riego avanzado, España disponible en: http://www.euroresidentes.com/Jardineria/sistemas_de_Riego/riego/Riego.htm

Aragón investiga, disponible en: <http://www.aragoninvestiga.org/wp-content/uploads/Uniformidad%20del%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n.pdf>

Junta de andulancia, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Conserjería de Agricultura y pesca, disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/sar/servlet/FrontController?action=Static&url=normalizacion.jsp&ec=info>

Junta de andulancia, servicios de asesoramiento al regante, procedimiento para la realización de evaluaciones de riego por aspersión, disponible en:

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/sar/contents/es/info/infoSAR/protocolos/protocoloaspersion.pdf>

Miliarium Aureum 2004, S.L., disponible en: http://www.miliarium.com/monografias/sequia/Métodos_Riego.htm

Instituto dominicano de investigaciones agropecuarias y forestales, IDIAF, Caracterización de la distribución del agua en riego por aspersión estacionario, disponible en: <http://www.interempresas.net/Jardineria/Articulos/41974-Characterizacion-de-la-distribucion-del-agua-en-riego-por-aspersión-estacionario.htm>

Apéndice A

Formato 1, hoja de datos del sistema de riego por aspersión tipo cañón.

NOMBRE DEL EVALUADOR: _____.

TIPO DE CULTIVO: _____.

NOMBRE DE LA LOCALIDAD: _____.

TEXTURA DEL SUELO: _____.

PROFUNDIDAD RADICULAR DEL CULTIVO: _____ cm.

% DE HUMEDAD EN LA ZONA RADICULAR: _____ %.

VELOCIDAD DE INFILTRACION DEL SUELO: _____ cm.Hr⁻¹.

TIPO DE ASPERSOR GRAN CAÑÓN: _____.

MARCA DEL ASPERSOR Y MODELO: _____.

TIPO DE BOQUILLA Y TAMAÑO: _____.

PRESIÓN DE OPERACIÓN NOMINAL: _____ PSI.

ESPACIAMIENTO DE LÍNEAS: _____ m.

FRECUENCIA DEL RIEGO: _____ días.

DIÁMETRO DE MOJADO DEL ASPERSOR, DW: _____ m.

LONGITUD RECORRIDA POR EL ASPERSOR: _____ m.

TIEMPO DE INICIO DE LA PRUEBA: _____ Hrs.

TIEMPO DE TERMINACION DE LA PRUEBA: _____ Hrs.

DURACION DE LA PRUEBA: _____ Hrs.

DISTANCIA CUBIERTA POR EL CHORRO: _____ m.

DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE LA PRUEBA: _____ m.seg⁻¹.

Formato 2, Tablas para la toma de datos durante la prueba de los aspersores gran cañón:

Datos obtenidos durante la evaluación			
Presión	Inicio	Finalización	Tiempo de giro
Boquilla	Tiempo de evaluación		Caudal aforado

Volumen Recolectado (ml)					
No. De Bote	Distancia	Linea 1	Linea 2	Linea 3	Linea 4
1	1				
2	3				
3	5				
4	7				
5	9				
6	11				
7	13				
8	15				
9	17				
10	19				
11	21				
12	23				
13	25				
14	27				
15	29				
16	31				
17	33				

Apéndice B

Coeficiente de uniformidad para el aspersor Mercury 202 al traslapar las líneas 1 y 3 a 24 m de distancia entre aspersores.							
No. Dat.	DIST. (m)	LINEA 3	LINEA 1	L1 y L3			
				X	X-Xmed	(X-Xmed)^2	
1	1	141	0	141	16.833	283.3600	
2	3	90	25	115	-9.167	84.0284	
3	5	55	105	160	35.833	1284.0254	
4	7	45	69	114	-10.167	103.3618	
5	9	75	64	139	14.833	220.0268	
6	11	62	59	121	-3.167	10.0280	
7	13	64	70	134	9.833	96.6938	
8	15	103	59	162	37.833	1431.3586	
9	17	96	41	137	12.833	164.6936	
10	19	61	40	101	-23.167	536.6960	
11	21	21	58	79	-45.167	2040.0308	
12	23	0	87	87	-37.167	1381.3636	
				Suma	1490.0000	0.000	7635.6667
				Xmed	Sx	Sx²	CUW
				124.1667	25.2251	636.3056	79.6845

Coeficiente de uniformidad para el aspersor Mercury 202 al traslapar las líneas 2 y 4 a 24 m de distancia entre aspersores.							
No. Dat.	DIST. (m)	LINEA 4	LINEA 2	L2 y L4			
				X	X-Xmed	(X-Xmed)^2	
1	1	146	0	146	22.417	502.5084	
2	3	94	8	102	-21.583	465.8388	
3	5	68	45	113	-10.583	112.0062	
4	7	42	136	178	54.417	2961.1772	
5	9	46	109	155	31.417	987.0090	
6	11	54	82	136	12.417	154.1744	
7	13	58	60	118	-5.583	31.1732	
8	15	69	71	140	16.417	269.5080	
9	17	90	10	100	-23.583	556.1720	
10	19	71	53	124	0.417	0.1736	
11	21	39	50	89	-34.583	1196.0046	
12	23	0	82	82	-41.583	1729.1708	
				Suma	1483.0000	0.000	8964.9167
				Xmed	Sx	Sx²	CUW
				123.5833	27.3327	747.0764	77.8832

Coeficiente de uniformidad para el aspersor Beta CLCACC25 al traslapar las líneas 1 y 3 a 24 m de distancia entre aspersores.						
No. Datos	Línea 3	Línea 1		X	(X-Xmed)	(X-Xmed) ²
1	8	21	4	33	-24.1667	584.029389
2	49	18	5	72	14.8333	220.026789
3	155	13	35	203	145.8333	21267.3514
4	71	6		77	19.8333	393.359789
5	68	8		76	18.8333	354.693189
6	91	8		99	41.8333	1750.02499
7	12	5		17	-40.1667	1613.36379
8	10	8		18	-39.1667	1534.03039
9	8	12		20	-37.1667	1381.36359
10	9	15	0	24	-33.1667	1100.02999
11	9	14	0	23	-34.1667	1167.36339
12	10	4	10	24	-33.1667	1100.02999
			SUMA	686	-0.0004	32465.6667
				Xmed	Sx	CUW
				57.1667	52.0141541	9.0131

Coeficiente de uniformidad para el aspersor Beta CLCACC25 al traslapar las líneas 2 y 4 a 24 m de distancia entre aspersores.						
No. Datos	Línea 2	Línea 4		X	(X-Xmed)	(X-Xmed) ²
1	12	21	0	33	-94	8836
2	41	58	0	99	-28	784
3	57	49	0	106	-21	441
4	59	42		101	-26	676
5	52	49		101	-26	676
6	71	71		142	15	225
7	102	69		171	44	1936
8	113	79		192	65	4225
9	91	144		235	108	11664
10	73	132	0	205	78	6084
11	58	56	0	114	-13	169
12	10	15	0	25	-102	10404
			Suma	1524	0	46120
				Xmed	Sx	CUW
				127	61.9946234	51.1853

Figura 1B, Volúmenes colectados en ml/recipiente dentro del patrón simple de aspersión para: A. El aspersor WR33 de Wade Rain con un aforo de 11 litros en 20 segundos a 40 PSI y B. El rotor R33 de Nelson Irrigation con un aforo de 11 litros en 29 segundos a 40 PSI. Duración de la prueba A: 1.25 horas y la prueba B: 1 hora.

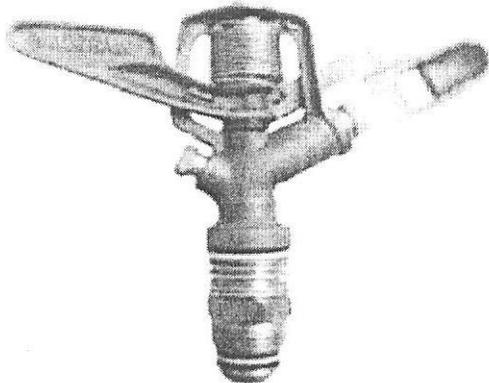


Figura 1. Aspersor WR 33 de $\frac{3}{4}$ " de bronce

0	4	4	10	16	17	13	4	1	
5	21	37	50	55	57	27	10		
14	43	60	66	67	60	51	23		
0	18	40	52	79	86	68	50	35	12
5	24	50	57	89	⊕	84	58	45	14
4	21	45	50	55	55	50	42	12	
1	13	34	50	44	48	40	25	5	
27	33	30							

Patrón A

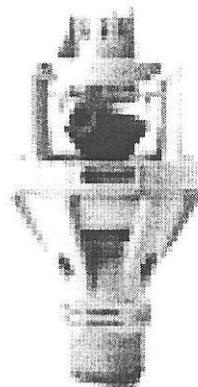


Figura 2. Rotor Nelson R33 de $\frac{3}{4}$ " de plástico

0	0	3	8	10	9	5	3		
2	1	23	26	26	23	40	4		
3	11	26	31	50	43	41	25	11	
7	15	33	41	40	34	53	43	32	12
7	8	18	33	32	27	35	44	41	19
9	25	38	34	28	⊕	37	35	35	15
6	14	18	26	23	29	31	27	17	
8	16	27	31	27	16	10	12		
0	15	18	11	18	9	17			

Patrón B