

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**MODELADO Y EVALUACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE UN GRAN ASPERSOR
VIAJERO**

Por:

Eric Javier Santiago López

TESIS

Presentada como requisito parcial

Para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México junio del 2016

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

MODELADO Y EVALUACION PLUVIOMETRICA DE UN GRAN ASPERSOR VIAJERO

POR:

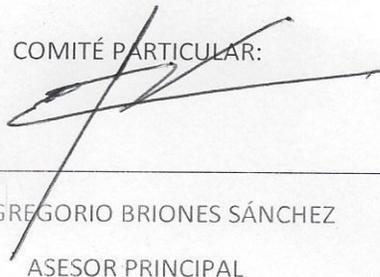
ERIC JAVIER SANTIAGO LÓPEZ

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACION DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

COMITÉ PARTICULAR:



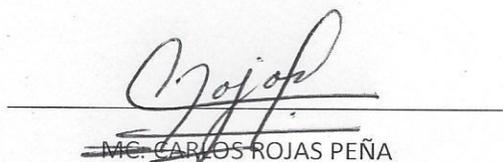
MC. GREGORIO BRIONES SÁNCHEZ

ASESOR PRINCIPAL



ING. JOSÉ ENRIQUE MANDUJANO ALVAREZ

ASESOR



MC. CARLOS ROJAS PEÑA

ASESOR
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



DR. LUIS SAMANIEGO MORENO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERIA



Coordinación de
Ingeniería

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. JUNIO DEL 2016

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
DEDICATORIAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE CUADROS	8
RESUMEN	9
SUMMARY	10
I. INTRODUCCION	11
OBJETIVOS	13
HIPOTESIS	13
II. REVISION DE LITERATURA	14
TIPOS DE ASPERSION	14
Sistemas de riego por aspersión.	14
Los cañones de riego.....	14
Cañones viajeros y enrolladores.....	14
Cañones viajeros.....	15
Los enrolladores.....	16
Sistema por aspersión estacionario.....	17
Los cañones	17
Los de brazo oscilante.....	17
Los de turbina.....	18
Las boquillas.....	19
Mecanismos	20
Mecanismos de propulsión.....	20
Mecanismos de fuelle hidráulico.....	20
Mecanismos de turbina.....	21
Mecanismos de funcionamiento, control y seguridad.....	21
Las mangueras	22
En los cañones viajeros.....	22
En los enrolladores.....	23
Condiciones de funcionamiento	23
Alas sobre carro.....	25

Uniformidad de distribución del agua.....	26
Gotas pequeñas-grandes y el problema con el viento	27
Pérdidas por arrastre y escurrimiento	27
Uniformidad de aplicación con efectos de velocidad y dirección del viento	28
Efectos de la velocidad del viento en riego por aspersión.....	28
III. MATERIALES Y METODOS	29
Lugar y fecha de establecimiento	29
Materiales y equipos requeridos	29
Preparación del lugar de la prueba	29
Metodología de la evaluación pluviométrica	30
Pruebas de pluviometría recabadas en cañón viajero	35
Pruebas en la UAAAN realizadas durante la investigación experimental.....	35
Pruebas realizadas por otras instituciones reportadas en la literatura	35
Métodos para la validación de modelos.....	35
La opinión de los expertos	35
Las mediciones del sistema real.....	36
Análisis de los resultados teóricos	36
Metodología para la predicción de la pluviometría para un aspersor viajero aplicando el modelo de Heerman y Hein (1968)	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
Resultados de la investigación experimental encontrados en las pruebas realizadas en el jardín hidráulico del campus Buenavista durante el estudio.	40
Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 1	41
Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 2	43
Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 3	45
Resultados de la investigación documental de las pruebas encontradas en la consulta de los recursos en línea.....	46
Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 4	47
Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 5	49
Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 6	51
V. CONCLUSIÓN	52
VI. BIBLIOGRAFIA.....	53

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente **a Dios** por haberme permitido terminar mis estudios, por estar siempre cerca de mí cuidándome para lograr mis metas.

A mis padres, por el amor y cariño que me brindan día a día, por el apoyo incondicional ya que sin ellos no estaría donde estoy ahora, por ser mi motivación para salir adelante, por el esfuerzo que hicieron para que yo pueda concluir con mis estudios y por estar siempre pendiente de mí.

A mis hermanas, por los consejos que siempre me brindaron, por aguantar mis enojos, mal humor y que a pesar de eso siempre se preocuparon por mí y por ser unas de las mejores hermanas que puedan existir en el mundo.

A mi alma mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitir que formara parte de la institución, por hacer de mí una persona diferente, por todas las atenciones, enseñanzas que me brindo a lo largo de mi carrera y por darme la oportunidad de formarme como un profesionista.

A todos mis profesores, que participaron en mi formación académica, por brindarme su sabiduría y por hacer de mí un buen profesionista.

A mis asesores:

M.C Gregorio Briones Sánchez, por llevar la dirección de mi tesis, por el apoyo incondicional que siempre me brindo, por su paciencia, por estar siempre pendiente, por su tiempo, por las asesorías que siempre me brindo y por depositar su confianza en mí.

Ing. Enrique Mandujano, por su asesoría brindada, su paciencia y apoyo que me brindo a lo largo de mi proyecto.

M.C Carlos Rojas Peña, por sus sugerencias en la revisión de mi tesis, su asesoría y su orientación en el presente proyecto.

A mis amigos, Geovanni, Juan Carlos, Ricardo, por el apoyo que siempre me brindaron, por brindarme su amistad a lo largo de mi carrera y por todos los momentos de diversión, estudio, tristezas y alegría que pasamos.

DEDICATORIAS

A mi Dios, por cuidarme siempre a lo largo de mi vida y por permitirme llegar hasta donde ahora estoy, por la vida y salud que me brindo a lo largo de mi carrera.

A mis padres, Ortensia López Hernández y Caralampio Santiago Alfaro.

Por ser siempre el pilar de todo lo que soy, por el apoyo incondicional que siempre me brindaron, por sus enseñanzas, ejemplos, consejos que fueron fundamentales para lograr terminar mis estudios y por ser los mejores padres del mundo.

Los quiero mucho.

A mis hermanas, Vicky Vilma Santiago López y Rudi Marlin Santiago López.

Por el apoyo y consejos que me brindaron a lo largo de mi carrera y por ser las mejores hermanas.

Las quiero.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición típica de una parcela regada con un cañón viajero.....	15
Figura 2. Disposición típica de una parcela regada con un cañón viajero.....	16
Figura 3. Cañón de brazo oscilante.....	18
Figura 4. Cañón de turbina.....	18
Figura 5. Diversos tipos de boquillas.....	19
Figura 6. Mecanismo de propulsión de fuelle hidráulico.....	20
Figura 7. Mecanismo de propulsión con turbina.....	21
Figura 8. Ejemplo de mecanismo guía para enrollamiento de la manguera.....	22
Figura 9. Intervalo de presión recomendado en el cañón según el caudal.....	24
Figura 10. Perfiles e altura de agua aplicada en sectores circulares de riego comprendidos entre 180° y 330° producidos por cañones con desplazamiento continuo.....	
Figura 11. Alas sobre carro.....	25
Figura 12. Preparación del terreno de la prueba.....	30
Figura 13. Colocación de los botes colectores sobre la estaca.....	32
Figura 14. Colocación de la manguera al carrito del cañón.....	32
Figura 15. Calibración del aspersor.....	33
Figura 16. Recorrido del aspersor en funcionamiento.....	33
Figura 17. Controlando manualmente la velocidad del aspersor viajero.....	34
Figura 18. Modelado de la evaluación pluviométrica de un cañón viajero.....	39
Figura 19. Grafica de la prueba 1.....	41
Figura 20. Grafica de la prueba 2.....	43
Figura 21. Grafica de la prueba 3.....	45
Figura 22. Grafica de la prueba 4.....	47
Figura 23. Grafica de la prueba 5.....	49
Figura 24. Grafica de la prueba 6.....	51

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro 1. Valores recomendados del espaciamiento entre bandas regadas en función de la velocidad del viento.</u>	
<u>Cuadro 2. Especificaciones de los cañones utilizados</u>	<u>38</u>
<u>Cuadro 3. Prueba 1 realizado en el jardín hidráulico de la UAAAN.</u>	<u>40</u>
<u>Cuadro 4. Análisis estadístico de t Student de la prueba 1.....</u>	<u>40</u>
<u>Cuadro 5. Prueba 2 realizado en el jardín hidráulico de la UAAAN.</u>	<u>42</u>
<u>Cuadro 6. Análisis estadístico de t Student de la prueba 2</u>	<u>42</u>
<u>Cuadro 7. Prueba 3 realizado en el jardín hidráulico de la UAAAN.</u>	<u>44</u>
<u>Cuadro 8. Análisis estadístico de t Student de la prueba 3</u>	<u>44</u>
<u>Cuadro 9. Prueba 4 realizado con datos de la Universidad de Carolina</u>	<u>46</u>
<u>Cuadro 10. Análisis estadístico de t Student de la prueba 4</u>	<u>46</u>
<u>Cuadro 11. Prueba 5 realizado con datos de un experimento en Australia.</u>	<u>48</u>
<u>Cuadro 12. Análisis estadístico t Student de la prueba5</u>	<u>48</u>
<u>Cuadro 13. Prueba 6 realizado con datos de un experimento en Portugal.</u>	<u>50</u>
<u>Cuadro 14. Análisis estadístico de t Student de la prueba 6</u>	<u>50</u>

MODELADO Y EVALUACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE UN GRAN ASPERSOR VIAJERO

RESUMEN

El cañón viajero es una maquina autopropulsada que cubre áreas rectangulares con un largo igual al largo de la manguera y el alcance del cañón y un ancho que depende de las características del diseño.

Se llevó a cabo un experimento en el jardín hidráulico de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el objetivo de conocer la pluviometría de un aspersor viajero a diferentes velocidades, por lo cual se realizaron tres pruebas, tomando en cuenta la velocidad del viento, el caudal, la presión del agua, la evaporación en el tiempo de trabajo del aspersor, diámetro de mojado del aspersor y el tiempo de recorrido del viajero. Utilizando un aspersor modelo 65 PJ de Rain Bird, boquilla de 1/4".

Para llevar a cabo esta prueba se utilizaron 9 botes colectores tanto del lado izquierdo como del derecho con una distancia de 2 metros entre cada uno de ellos, el diámetro de los colectores fue de 11 cm. Con un área de captación de 95 cm², fue necesario utilizar estacas de 40 cm de altura para que la hierba no influyera en los resultados, el recorrido del viajero fue de 34 metros donde se hicieron 3 pruebas a diferentes velocidades. La primera prueba fue con una velocidad de 1 metro por cada minuto, la segunda prueba fue 0.50 m en un minuto y la tercera prueba fue 0.25 m a cada minuto.

Los resultados obtenidos en las tres pruebas fueron diferentes, como era de esperarse por la diferencia de velocidades, ya que en la prueba 1 se obtuvo un volumen promedio de 7.361 ml, mientras que en la prueba 2 se obtuvo un volumen promedio de 17.38 ml y en la prueba tres se obtuvo un promedio de 31 ml. Esto demuestra la importancia que tiene un viajero al hacer un recorrido a menores velocidades ya que se obtienen mejores resultados y una uniformidad más homogénea.

En los otros tres modelos estudiados, se obtuvieron volúmenes de agua aceptables, pero se presentó también una variación pluviométrica entre los datos colectados en campo y los datos estimados.

Probablemente debido a lo antes expuesto en dos de las 6 pruebas evaluadas, la predicción del modelo se desvió y el error en la estima resulto muy alto desviando su certidumbre.

Palabras clave: área de captación, predicción del modelo, datos colectados, datos estimados, pluviometría.

MODELING AND EVALUATION OF A GREAT pluviométrica SPRINKLER TRAVELER

SUMMARY

The traveler canyon is a self-propelled machine that covers a long rectangular areas equal to the length of the hose and scope of the barrel and a width depends on design features.

Conducted an experiment in the hydraulic garden of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, with the aim of knowing the rainfall of a TripAdvisor sprinkler at different speeds, so three tests were carried out, taking into account the speed of the wind, flow, water pressure, evaporation time working the sprinkler, sprinkler wetted diameter and commuter travel time. Using a Model 65 PJ sprinkler Rain Bird nozzle 1/4 ".

To carry out this test 9 collectors boats both the left and the right with a distance of 2 meters were used between each of them, the diameter of the collector was 11 cm. With a catchment area of 95 cm², it was necessary to use stakes of 40 cm so that the grass would not influence the results, commuter travel was 34 meters where 3 tests were made at different speeds. The first test was with a speed of 1 meter per minute, the second test was 0.50 m in one minute and the third test was 0.25 m every minute.

The results of the three tests were different, as expected by the speed difference, as in test 1 an average volume of 7,361 ml was obtained, while in the test 2 an average of 17.38 ml volume was obtained and in three test an average of 31 ml was obtained. This demonstrates the importance of a traveler to take a tour at lower speeds and better results and a more homogeneous consistency are obtained.

In the other three models studied, acceptable volumes of water were obtained, but also presented a rainfall variation between data collected in the field and estimated data.

Probably due to the above two of the 6 tests evaluated the model prediction was diverted and error resulted in very high esteem by diverting its certainty.

Keywords: catchment area, prediction model, data collected, estimated data, rainfall.

Correo electronico; Eric Javier Santiago Lopez, elimaning3200@hotmail.com

I. INTRODUCCION

Los cañones pueden regar bandas de más de 100 metros de anchura y hasta 500 metros de largo. Estos sistemas están indicados para climas y cultivos en donde la lluvia permite espaciar los riegos, o bien donde se necesitan riegos de apoyo. Los cultivos que mejor se adaptan a este sistema de riego son aquellos que cubren una gran proporción de superficie.

El riego con cañones ofrece la ventaja de que se requiere una inversión inicial baja con relación a la superficie regada, sin embargo necesitan una elevada presión de trabajo (normalmente entre 4 y 10 kg/cm²). Además, el impacto de grandes gotas sobre el cultivo y el suelo puede ser perjudicial para el cultivo, sobre todo cuando éste se encuentra en germinación, fase inicial de desarrollo o floración. Por último, son sistemas muy afectados por el viento, debido a la gran altura y longitud que alcanza el chorro de agua, lo que supone uniformidad de aplicación más baja que otros sistemas de aspersión.

El cañón viajero está compuesto por un cañón de círculo ajustable, un rollo de manguera de polietileno, un carrete o tambor y su base o chasis con ruedas y tirón. La manguera se enrolla en el tambor a través del movimiento que este adquiere mediante la presión del agua que pasa por una turbina de alta velocidad.

Su característica principal es contar con un carrete donde va enrollado una manguera de abastecimiento al sistema; en la parte extrema de dicha manguera es colocado un cañón que puede proyectar hasta 70 metros de radio, según el modelo.

Utiliza aspersores de impacto de gran tamaño, denominados "cañones", que trabajan a altas presiones y mojan grandes superficies de terreno. Van instalados sobre un carro o patín adaptable a distintas alturas, según lo requiera el cultivo, y conectado al suministro de agua mediante una manguera. El equipo siempre riega hacia atrás con respecto al sentido de avance, consiguiéndose de esta manera que se desplace sobre suelo seco

Existen diferentes tamaños de máquinas, una gran variedad de diámetro y largos de manguera y, una amplia combinación de cañones; por lo que es necesario un diseño técnico para la correcta selección del cañón viajero a utilizar.

Los componentes de un sistema con cañón viajero son:

- Equipo de bombeo
- Equipo de fertilización
- Líneas de conducción y distribución

- Cañón viajero
- Emisores.

Sistemas de riego carrete de manguera, también llamados sistemas de cañón que viajan, constan de un solo cabezal rociador potente y portátil que lanza agua en un patrón circular. Estos aspersores móviles están instalados en los carros, con una manguera de agua adjunto. Los carros pueden ser posicionados siempre que sea necesario, siempre que permanecen conectados a una fuente de agua. Estos aspersores son los más utilizados en: áreas de forma irregular; difícil de alcanzar áreas y campos que no puede ser de otra de regadío a causa de cunetas, líneas eléctricas, árboles, edificios, etc.

Manguera dura frente a sistemas de mangueras blandas.

Irrigadores de carrete de manguera se establecieron en un área y permite la ejecución de una determinada cantidad de tiempo, y luego se trasladaron a regar un área diferente. Sistemas de mangueras duros trabajan con unas robustas mangueras de plástico que se daba vueltas a un carrete de manguera, tirando del carro de rociadores a lo largo del carril de riego, donde es necesario el riego. Se tambaleó y accionados por turbinas o motores de agua en el carrete de manguera, que convierten el carrete para enrollar y tire de la manguera pesado, duro y mover el carrito de la pistola. La velocidad de retracción puede ajustarse para aplicar diferentes cantidades de agua para el campo.

Dependiendo del tamaño del área a irrigar, la longitud de la manguera que se requiere, y otros factores como la fuente de agua y el presupuesto, ya sea sistemas de carrete de manguera puede ser adecuada para el riego necesario. Riego eficiente, productivo, requiere servicios de un carrete de manguera apropiada. Para aprender más acerca de los pros y los contras de la manguera con fuerza y máquinas de riego con manguera suave, hablar de sus necesidades de riego con servicio de sistemas con conocimientos carrete de manguera que pueden ayudar a determinar el mejor sistema para sus necesidades de riego!

OBJETIVOS

- Concentrar en la revisión de la literatura las características estructurales de las maquinas comerciales desarrolladas por las principales compañías.
- Desarrollar un prototipo de unidad viajera para estudiar el patrón de aspersión a diferentes velocidades de avance o desplazamiento.
- Utilizar las observaciones de campo para validar la precisión de un modelo aplicado en la simulación de la pluviometría de un aspersor viajero.

HIPOTESIS

La pluviometría de los grandes aspersores viajeros puede ser más uniforme dependiendo de la velocidad de recorrido que se emplee.

H0: Los datos colectados que se obtienen en las pruebas de pluviometría deben ser igual o estadísticamente parecidos a los estimados con el modelo.

HA: si la tendencia esperada no ocurre entonces se rechazaría H0.

II. REVISION DE LITERATURA

TIPOS DE ASPERSION

Sistemas de riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión pueden dividirse en dos grandes grupos: estacionarios (permanecen fijos mientras riegan) y desplazamiento continuo (aplican agua en movimiento). A su vez estos últimos se agrupan en: sistemas con desplazamiento de un aspersor de gran tamaño (**cañones y enrolladores**) y sistemas con desplazamiento de ramales o laterales de riego (pivotes centrales y laterales de avance frontal).

Los cañones de riego

Este sistema de riego utiliza aspersores rotativos de gran tamaño que trabajan a alta presión y mojan grandes superficies.

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, habiendo adquirido gran difusión en los últimos años dado su relativo bajo coste por hectárea regada y la escasa necesidad de mano de obra.

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

Los primeros cañones móviles surgen en 1965, en los Estados Unidos, los cuales eran modelos de cables y su uso se extendió rápidamente (Keller et al., 1990).

Cañones viajeros y enrolladores

Simpfendörfer (2001) menciona que existen básicamente dos máquinas con cañones móviles: los grandes aspersores viajeros y los enrolladores. Estos últimos tuvieron mayor desarrollo, al menos en Europa, por ser más cómodos de manejar y necesitar menos mano de obra para su funcionamiento. Surgen como consecuencia de cubrir mayores superficies por posición de riego, con el objeto de evitar la utilización de mano de obra, desde un solo punto de aspersión, cañón,

que proyecta un chorro de agua a una distancia de 30 a 70 m de radio según el modelo.

Este sistema de riego se puede adaptar fácilmente a diferentes suelos, cultivos y las condiciones topográficas, y además de la presentación de un bajo costo de inversión por hectárea, tiene una gran movilidad, permitiendo su uso en granjas y las zonas de regadío irregulares. Aunque también tiene algunas desventajas como: baja uniformidad de distribución, la necesidad de alta presión de trabajo, distribución de agua con grandes gotas de agua y las tasas de aplicación relativamente altas (KellerY Bliesner, 1990).

Cañones viajeros

Los viajeros de manguera tirados son máquinas de riego que por lo general utilizan una gran rotación de pistola de aspersión, requieren alta presión de funcionamiento y puede regar grandes áreas.

Los cañones viajeros consisten en un cañón montado sobre un carro que se desplaza con ayuda de un cable, y es alimentado por una manguera flexible arrastrada detrás del carro, estando el otro extremo unido permanentemente a un hidrante (figura 1).

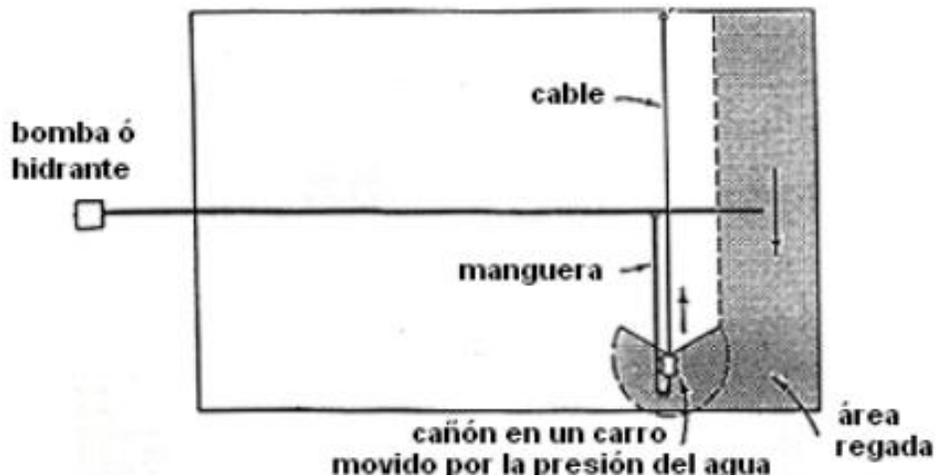


Figura 1. Disposición típica de una parcela regada con un cañón viajero

Los enrolladores

No se debe olvidar que el riego por aspersor con carretes es del tipo tecnificado, por lo que se requieren de operadores capacitados para mantener los equipos activos, en condiciones donde la mano de obra es reducida (Tarjuelo, 2005).

Los enrolladores constan de un cañón colocado sobre un carro o patín con ruedas, que es arrastrado por la propia manguera flexible de polietileno por la que recibe el agua a presión. La manguera se enrolla en un tambor que es accionado por la propia corriente de agua a través de un mecanismo de turbina o de fuelle hidráulico (figura 2).

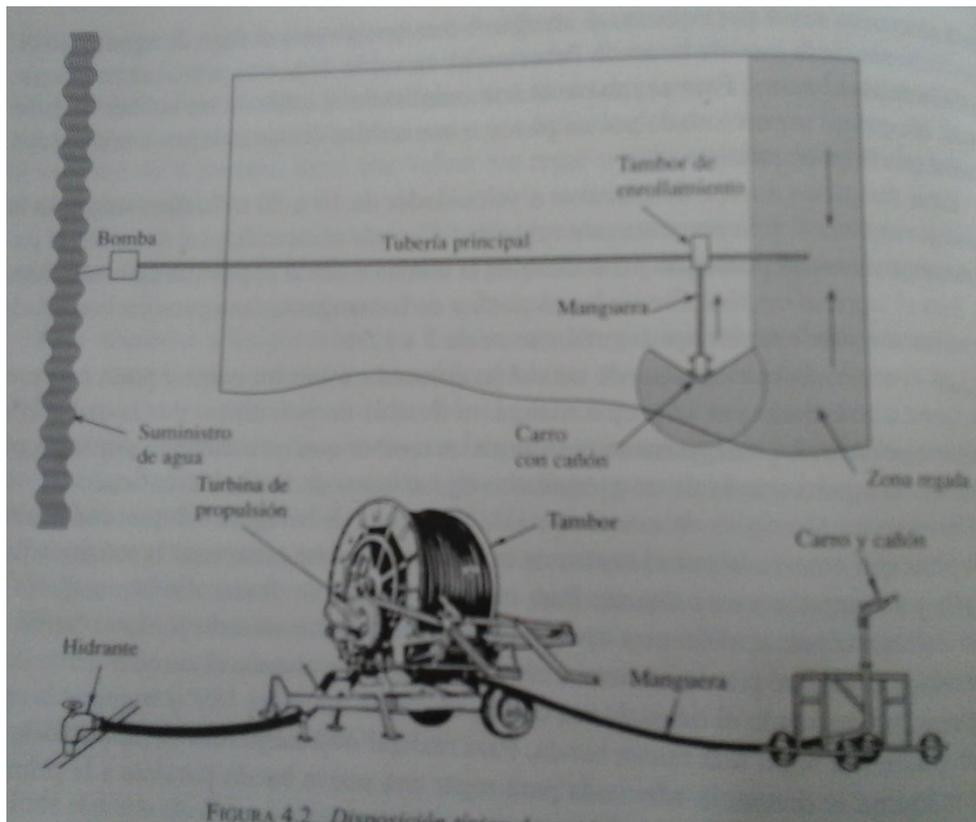


Figura 2. Disposición de un cañón viajero

Sistema por aspersión estacionario

Dechmi (2002), en un ensayo de maíz regado con sistema por aspersión estacionario, encontró que el coeficiente de uniformidad del contenido en agua del suelo fue mayor que el coeficiente de uniformidad de la aplicación del agua. Además, estos autores indicaron que si bien la variabilidad de la producción era menor que la encontrada en la distribución del agua de riego (medida sobre la superficie del cultivo), la relación entre ambas era estadísticamente muy significativa.

Sistema de riego superficial por aspersión mediante el cual el agua se aplica en un área generalmente fija, pues cuenta con tuberías y sus aspersores que no se desplazan durante el proceso de irrigación. Pueden desarmarse fácilmente sus componentes para trasladarlos a otro lugar, por lo cual también se le identifica como sistema de riego semiestacionario.

Martínez (2004) indica que la menor variabilidad espacial de distribución del rendimiento de maíz respecto a la del agua aplicada, en riego por aspersión, es debido a que el agua acumulada a lo largo del ciclo muestra mayor uniformidad ($CU_a=83\%$) que el promedio de cada aplicación ($CU =76\%$), lo que indica que, las evaluaciones unitarias de riego por aspersión pueden subestimar los valores de uniformidad de aplicación de agua del sistema, a los efectos de cálculo de proyecto y manejo de regadío.

Los cañones

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 de turbina. En cualquier caso van dotados de los mecanismos necesarios para que puedan funcionar en forma sectorial, cubriendo normalmente sectores de 200° a 220° .

Los de brazo oscilante

(Figura 3), que pueden hacerlo sobre un eje horizontal o vertical, suelen tardar de 2 a 5 minutos por revolución y avanzan a pequeños saltos, regresando normalmente de forma rápida a su posición inicial cuando funcionan como sectoriales. También los hay que girar a igual velocidad en ambos sentidos, utilizando dos brazos de funcionamiento alternativo u otro sistema que cambie la orientación de la cuchara del extremo del brazo donde incide el chorro.

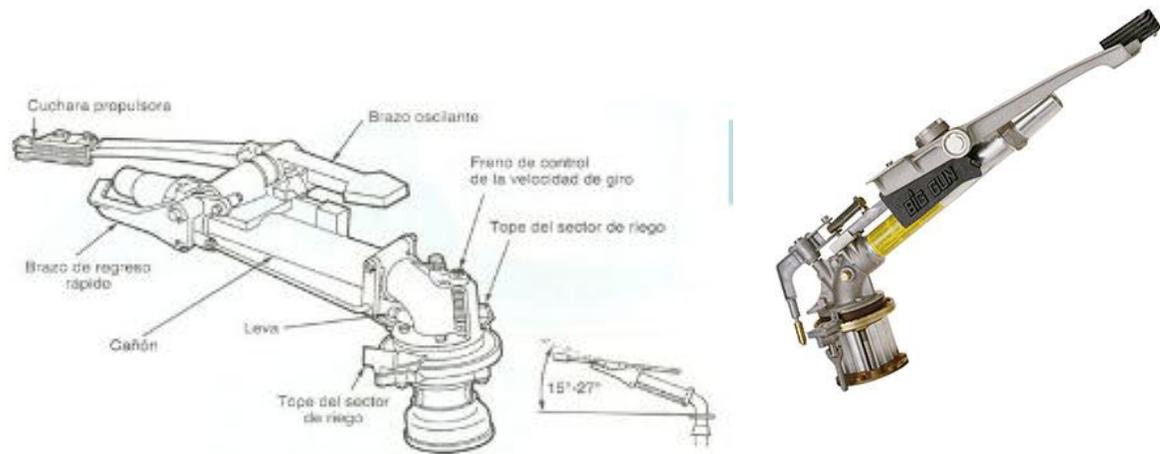


Figura 3. Cañón de brazo oscilante

Los de turbina

Siempre giran a igual velocidad en ambos sentidos. El chorro principal, o uno secundario, incide sobre los álabes de una pequeña turbina que transmite su giro al aspersor por medio de un mecanismo de cremallera y piñón (figura 4) la reversibilidad del giro se consigue haciendo oscilar la turbina, de manera que el chorro incidente origine el giro de la misma en sentido contrario, o con otro mecanismo similar.

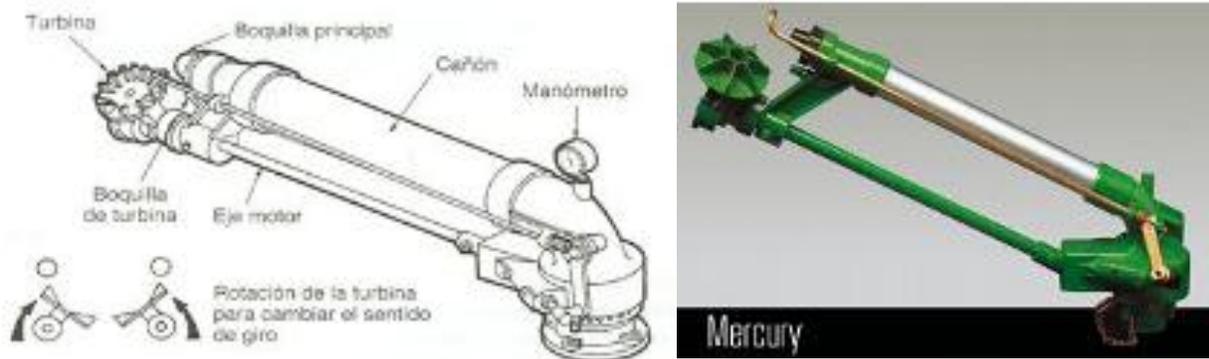


Figura 4. Cañón de turbina

Las boquillas

Las boquillas pueden ser cónicas (de plástico o metálicas) o de anillas (figura 4.5), en cuyo caso se produce mayor distorsión del chorro, rompiendo antes en gotas y disminuyendo el alcance. No obstante, las anillas tienen la ventaja de un fácil intercambio y una buena rotura de chorro a baja presión, aparte de resultar más baratas.

A la salida de la boquilla suelen llevar un rompe chorro que interrumpe parcialmente este y facilita su pulverización en gotas, así como el riego de las proximidades del cañón. Normalmente puede regularse el grado de obstrucción del chorro, e incluso puede actuar intermitentemente guiado por una leva o mecanismo similar.

El tubo del cañón suele llevar unos álabes fijos para encausar las líneas de corriente del fluido (figura 5) y conseguir un chorro más compacto, que tiene mayor alcance.



Figura 5. Diversos tipos de boquillas

Los diámetros de boquillas varían normalmente entre 12 y 40 mm, los ángulos de descarga del chorro entre 15° y 32°, aunque los más recomendables suelen ser 21° y 25°. Los ángulos menores tiene poco alcance, y los mayores son más afectados por el viento. Existen también cañones de riego con ángulo variable entre 15° y 45°.

Mecanismos

Mecanismos de propulsión

Aunque los cañones de riego pueden moverse propulsados por un motor de explosión o por la toma de fuerza del tractor, lo más frecuente es que lleven un motor hidráulico accionado por la propia corriente de agua, existiendo dos variantes: de pistón o fuelle o de turbina.

Mecanismos de fuelle hidráulico

Los mecanismos de pistón han sido prácticamente abandonados por su rápido deterioro cuando el agua lleva arena, habiendo sido sustituidos por el fuelle que, con un funcionamiento semejante, no presentan ese problema.

El fuelle se expande por acción de la presión del agua en su interior y se contrae por la acción de un muelle exterior que lo comprime al conectar la cámara interna con la atmosfera. El movimiento alternativo origina el giro del tambor a través de un mecanismo de trinquete (figura 6).

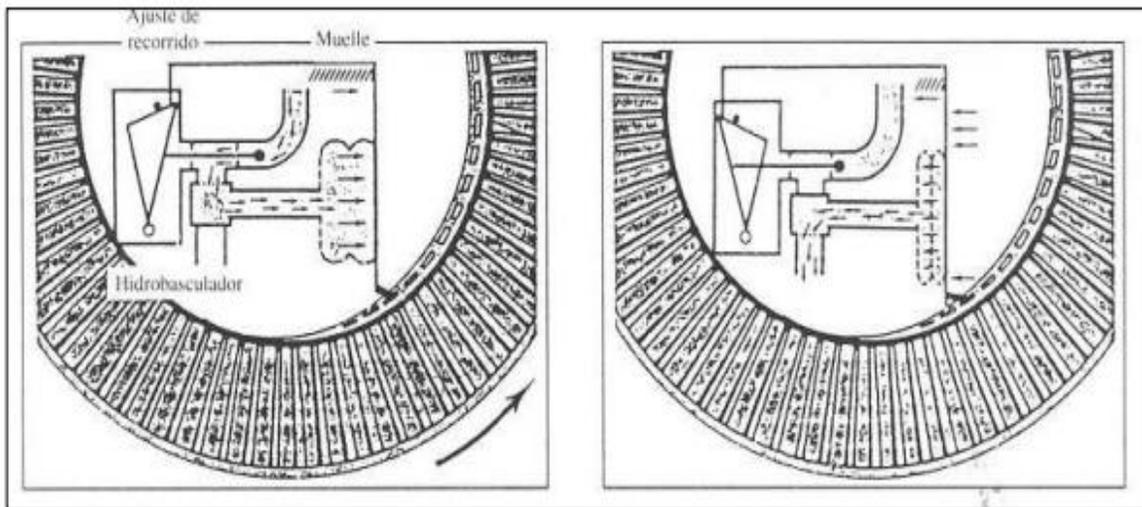


Figura 6. Mecanismo de propulsión de fuelle hidráulico

Mecanismos de turbina

Son los mecanismos más frecuentes en los enrolladores.

Estos no consumen agua, pero producen una pérdida de agua en el flujo principal de unos 50 a 100 kPa (0.5 a 1 bar) y a veces más.

La turbina, alimentada por una parte de caudal principal el cual transmite el giro al tambor de enrollamiento a través de una caja de engranajes o un sistema de poleas (figura 7).

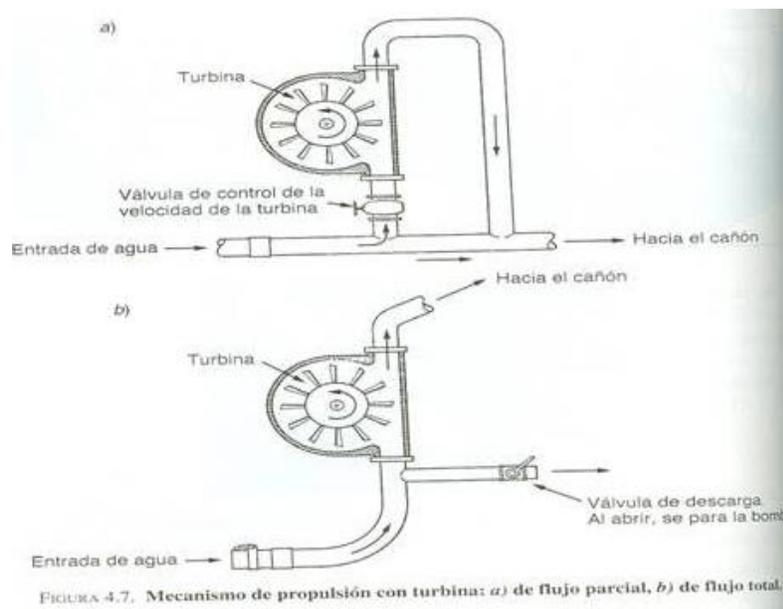


Figura 7. Mecanismo de propulsión con turbina

Mecanismos de funcionamiento, control y seguridad

Los mecanismos de guía de la manguera para su enrollamiento en el tambor constan básicamente de: una horquilla, que guíe el tubo y se mueva en traslación alternativa a derecha e izquierda sobre un tornillo con roscas o pistas sinfín cruzadas. El tornillo gira de forma continua por estar unido al tambor a través de un mecanismo de engranaje y cadena (figura 8).

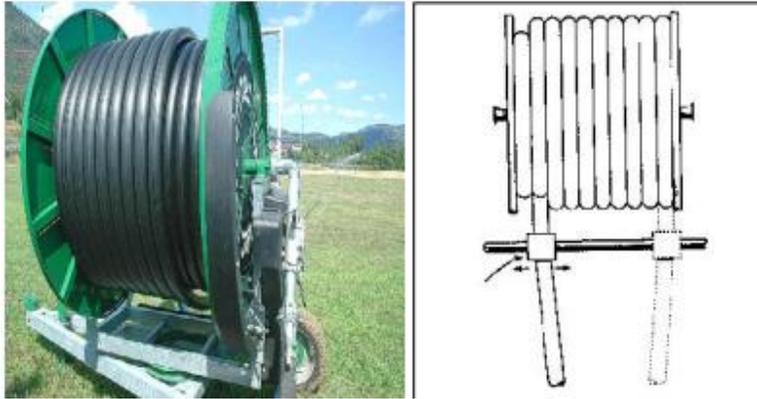


Figura 8. Ejemplo de mecanismo guía para enrollamiento de la manguera.

La parada de la maquina final del riego puede hacerse de tres formas:

- Desviando el flujo fuera de la tubería mediante una válvula de descarga.
- Cerrando lentamente el suministro de agua principal mediante una válvula automática.
- Desembragando el tambor del mecanismo de propulsión. En este caso no se cortarían el suministro del agua.

La mayor parte de las maquinas usan uno de los dos primeros e incorporan también el mecanismo de embrague como medida de seguridad en caso de que el primero falle, o simplemente para regar un cierto tiempo sin desplazarse, tanto al final como al principio de la banda regada.

Las mangueras

Suelen ser de diámetros entre 50 y 125 mm, con longitudes que varían entre 120 y 500 m, y son diseñados para soportar altas presiones y la fuerzas de atracción que aparecen al arrastrarse sobre el suelo. La vida útil de estas mangueras suele ser de 6 a 8 años.

En los cañones viajeros

Las mangueras suelen ser de lona fuerte recubierta con plástico que la protegen del desgaste interior y la hacen lisa interiormente. Estas mangueras, cuando no están sometidas a presión interna, permanecen aplastadas y son fácilmente enrollable en un tambor. Algunas máquinas llevan incorporado el tambor y en otras es un elemento independiente. Este es normalmente accionado por la toma de fuerza del tractor para realizar el enrollamiento.

En los enrolladores

Las mangueras suelen ser de polietileno (PE) de media densidad, para que tengan suficiente resistencia y no sean demasiado rígidas.

Estos equipos necesitan, normalmente, de un compresor para vaciar la manguera cuando haya que guardar la maquina durante el invierno.

Condiciones de funcionamiento

A pesar de ser el sistema de riego con cañones muy criticado por la mala uniformidad de reparto, el gran tamaño de gota (que puede dañar la estructura del suelo y el cultivo), la elevada presión de trabajo, la alta pluviometría , etc. La experiencia parece demostrar que puede conseguir una buena uniformidad de reparto y un tamaño medio de gota si se elige bien la presión de trabajo, el tamaño y tipo de boquilla y el espaciamiento entre las posiciones de riego.

Los cañones de riego son adecuados para un amplio abanico de cultivos, pero debe tenerse cuidado con los cultivos delicados, sobre todo durante la germinación y floración. Una técnica que puede resultar interesante durante la germinación o floración es utilizar boquillas más pequeñas trabajando a mayor presión para generar así tamaños de gotas más pequeños.

El sistema presenta problemas en suelos con débil estructura o de textura fina, y en general en suelos de baja velocidad de infiltración.

La uniformidad del agua con los cañones de riego móviles depende principalmente de: la variación de la velocidad de avance, de las características propias del aspersor y de sus condiciones de trabajo (presión, boquilla, ángulo de descarga, etc.), así como de la correcta selección de las condiciones de funcionamiento del equipo de riego.

Las presiones de trabajo recomendadas en el cañón para obtener un tamaño de gota medio y un buen reparto son (figura 9) (CEMAGREF, 1990):

Un exceso de presión produce mayor proporción de gota pequeña, que es más sensible a la acción del viento.

A partir de ellas puede deducirse que la presión a la entrada de la manguera, se ubicará entre 600 y 1.000 kPa (6-10 kg/cm²) según el caudal transportado y el diámetro y longitud de tubería.

La presión de funcionamiento del cañón no debe variar más de un 20% de su presión nominal en ningún punto de la parcela para que el caudal descargado no varíe más de un 10%.

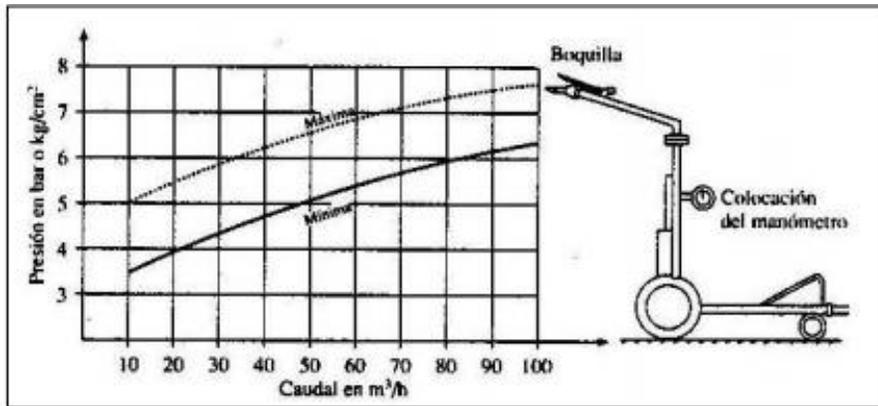


Figura 9. Intervalo de presión recomendado en el cañón según el caudal descargado

En la figura 4.10 (Keller, 1990) se muestran los perfiles de altura del agua aplicada, con el paso de un cañón con desplazamiento continuo sobre una línea de pluviómetros perpendicular a la dirección de desplazamiento cuando el cañón funciona en distintos sectores circulares entre 180°, 360° y 330°, teniendo un perfil de pluviometría uniforme (tipo F de Christiansen).

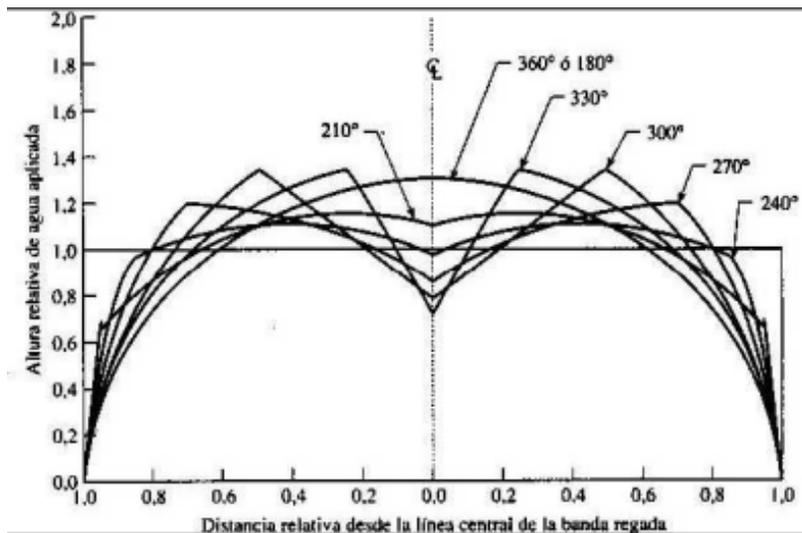


Figura 10. Perfiles de altura del agua aplicada en sectores circulares de riego comprendidos entre 180° y 330° producidos por cañones con desplazamiento continuo.

Cuadro 1. Valores recomendados del espaciamiento entre bandas regadas en función de la velocidad del viento.

Espaciamiento (% del diámetro de mojado).....	Velocidad del viento (m/s)			
	0-1	1-2.5	2.5-5	>5
	80	75-70	65-60	55-50

Los más altos del intervalo de espaciamiento son para boquillas cónicas, y los más bajos para las de anillas.

El diámetro mojado que se considera será el correspondiente a la presión mínima de funcionamiento en la parcela (Hmín.). El espaciamiento adoptado definitivamente, será el que o se aproxime a ese al dividir la dimensión correspondiente de la(s) parcela(s) en un número entero de bandas regadas.

Alas sobre carro

Pueden considerarse una variante de las maquinas anteriores, donde se sustituye el cañón por un ramal o ala con emisores, que se ausenta sobre el carro y se mueve igual que lo hacia el cañón (figura 10).

Estas alas pueden trabajar a muy baja presión, con toberas, difusores o aspersores de baja presión (200-250 kPa). También pueden equiparse con tubos colgantes que llevan difusores en su extremo y trabajan a unos 50 kPa (0.5 kg/cm²), localizando directamente el agua a pie de planta sin mojar el follaje. Este puede ser muy útil en cultivos como tomates, melones, etc., evitando buena parte de los tratamientos fitosanitarios.

En general con estas alas, se obtiene mejor uniformidad de reparto de agua que con los cañones, además de trabajar con mucha menor presión y no tener problemas de tamaño de gota, pero tienen que estar bien calculadas para que no se produzca escorrentía dada la pequeña anchura mojada (con toberas y difusores), lo que los obligará a funcionar en general con pequeñas dosis de riego, pudiendo tener que realizar mayor número de riegos que con los cañones.

La longitud de ala suele variar entre 20 y 40 m, necesitando carros mayores que los cañones y con lastre (que pueden ser depósitos de agua). La anchura mojada varía entre 20 y 50 m según longitud de ala y tipo de emisor utilizado.



Figura 11. Alas sobre carro

A pesar de que las alas resultan atractivas en un principio, hay que decir que necesitan más mano de obra que los cañones (sobre todo para plegarlas y desplegarlas para el transporte), además de una mayor inversión inicial.

Uniformidad de distribución del agua

Keller *et al.* (1990) indicaron que la uniformidad depende mucho más del manejo de los sistemas de riego que el tipo de sistema utilizado.

Montero *et al.* (1997) menciona que el criterio de la uniformidad de distribución del agua en los sistemas de aspersión es necesaria para un uso más eficiente del agua disponible, y que además, un riego eficiente permite maximizar la producción y limitar las pérdidas por percolación profunda.

Bernardo *et al.* (2005) y Faria *et al.* (2009) sostienen que las características de distribución del agua de los aspersores dependen del modelo del aspersor considerado, de sus condiciones operacionales, altura de instalación, diámetro de la boquilla, presión de trabajo y ángulo de giro y las condiciones climáticas durante su operación.

La uniformidad de distribución del agua con los cañones de riego móviles depende principalmente de: la variación de la velocidad de avance, las características propias del aspersor y de sus condiciones de trabajo (presión, boquilla, ángulo de

descarga), así como de la correcta selección de las condiciones de funcionamiento del equipo de riego (ángulo sectorial de majamiento y traslape de las franjas regadas). A todo esto hay que añadir la distorsión producida por el viento según su intensidad y dirección (Tarjuelo et al., 2000).

El conocimiento de las características de distribución del agua de los aspersores, es importante para que los proyectistas establezcan mejores condiciones de operación del sistema de riego por aspersión, de manera que se pueda optimizar la uniformidad de aplicación del agua (Prado et al, 2007).

Gotas pequeñas-grandes y el problema con el viento

Vories *et al.*, (1997) menciona que las gotas pequeñas son fácilmente arrastradas por el viento, distorsionando el modelo de reparto del agua y aumentando la evaporación. Las gotas gruesas tienen gran energía cinética, las cuales son transferidas a la superficie del suelo, pudiendo romper los agregados y afectar a la capacidad de infiltración o a la formación de costras.

El efecto del tamaño de la boquilla es menor que el de la presión. Hay una mayor proporción de gotas pequeñas cuanto menor es el tamaño de la boquilla, explicándose porque el aire llega más rápidamente hasta el centro del chorro cuando menor es el diámetro de éste (Bernardo et al., 2005)

Bubbenzer y Jones (1971) verificaron que más grandes gotas de agua causaron el efecto de salpicado superior, separando más partículas del suelo, que las gotas más pequeñas.

Pérdidas por arrastre y escurrimiento

Las pérdidas por arrastre dependen de la velocidad del viento, del tamaño de las gotas y de la distancia que tengan que recorrer hasta llegar al suelo. En la realidad, cuando se manejan estos conceptos no hay que olvidar que no puede hablarse estrictamente de pérdidas, ya que el microclima que se produce alrededor del cultivo durante el riego origina, entre otros efectos, una disminución considerable de la transpiración del cultivo. En experiencias con pluviómetros, las pérdidas se cuantifican entre el 2% y el 40% (mayoritariamente entre 5 y 15%), calculando éstas con diferencia entre el volumen emitido por los aspersores y el recogido en los pluviómetros (Yazar, 1998).

A veces incompatible con la capacidad de consumo que conduce a problemas de escurrimiento. Como una consecuencia, los agricultores, que poseen estos sistemas, muestran sólo una satisfacción parcial con el sistema, que se debe principalmente a su costo más bajo, si se compara con otros rociadores sistemas de riego (Sousa et al., 1999).

Uniformidad de aplicación con efectos de velocidad y dirección del viento

La uniformidad de aplicación del agua es un criterio de funcionamiento importante para el diseño y manejo de cualquier sistema de riego por aspersión. No obstante, la lámina de agua aplicada por estos sistemas no es completamente uniforme en toda la parcela regada. El principal factor que distorsiona el patrón de distribución del agua en el riego por aspersión, es la velocidad y dirección del viento (Tarjuelo, 1999; Dechmi et al., 2004).

Li y Kawano (1996), estudiaron la relación entre la uniformidad de aplicación del agua en superficie (CU) con riego por aspersión y la distribución de la humedad en el suelo (CUs), usando bloques de yeso a 10 cm de profundidad en un suelo desnudo, encontrando que el agua fue mucho más uniformemente distribuida en el suelo que aquella medida en la superficie, con valores en el suelo por encima del 90%, cuando en superficie estuvieron por debajo del 60%.

Efectos de la velocidad del viento en riego por aspersión

Velocidades de viento mayores de 2,1 m s⁻¹ resultan en una aplicación desigual de agua, llevando a una aplicación excesiva de agua en algunas zonas y a un estrés hídrico en otras, lo que puede dar lugar a una pérdida relevante del rendimiento. Las diferencias en velocidad y dirección del viento entre los distintos eventos de riego llevan a un proceso de compensación que resulta en un coeficiente de uniformidad acumulado o estacional (CUa) más alto que el coeficiente de uniformidad promedio (CUm) de los eventos de riego individuales (Dechmi, 2002).

III. MATERIALES Y METODOS

Lugar y fecha de establecimiento

La prueba se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo Coahuila México. Mayo 2015. Las pruebas de campo y de funcionamiento en el jardín hidráulico, con coordenadas geográficas; latitud (25°21'16.91"N) y longitud (101° 2'8.50"O) y el procesado de datos, consulta de libreta y discusión de resultados en el Centro de Cómputo Académico.

Materiales y equipos requeridos

- aspersor modelo 65 PJ de Rain Bird, boquilla de 1".
- 18 botes colectores con un diámetro de 1 cm
- 18 estacas de 40 cm
- Probeta graduada de 100 cm³
- manguera para viajero
- carruaje (porta-aspersor remolcado por manguera)
- hidrante para irrigación de la unidad viajera
- manómetro de caratula
- hidrómetro/ aforador
- cinta métrica
- machete
- azadón
- jeringa
- bomba eléctrica

Preparación del lugar de la prueba

Para que la prueba se pudiera realizar sin inconvenientes y sin problemas, fue necesario hacer un corte de la maleza que impedía que la prueba se hiciera satisfactoriamente ya que estaba muy crecida. Se necesitaba que no hubiera obstrucciones de maleza porque se colocarían botes colectores de plástico sobre una pequeña estaca de 40 cm.

Aparte de eso se tuvo que hacer un pequeño camino de 1 metro y medio de ancho con una longitud de 40 m. que es por donde sería el recorrido del cañón viajero.



Figura 12. Preparación del terreno de la prueba

Metodología de la evaluación pluviométrica

1. Antes de iniciar el recorrido del cañón, se adaptó el manómetro en la boquilla del aspersor para medir la presión.

2. Se registraron los detalles de la marca y modelo del cañón, y el tipo de boquilla adjunto (anillo o cónica).

3. Seleccionamos un lugar de prueba para los botes colectores aproximadamente a medio camino a lo largo de la ruta de viaje. Ubicándolos de acuerdo al siguiente procedimiento:

- La ubicación debe ser bastante amplia por delante del cañón para que el agua se aproxime a los botes colectores antes de que la prueba comience.

- Lo suficientemente lejos del final del camino, de forma que la cobertura del cañón pase completamente sobre todos los botes colectores.

- Los botes colectores deben estar en posición vertical y estable por encima de la superficie del suelo. Establecer los botes colectores en línea recta perpendicular al camino.

- Colocar los recipientes a igual espaciamento. Trabajar hacia fuera de la línea central colocando el primer bote a 1 o 2,5 metros de la línea central y posteriormente los botes siguientes a 2 o 5 metros de espaciado, tanto a la derecha como a la izquierda.

- Los botes colectores exteriores deben estar en los bordes de la tira que se humedece. Añadir dos botes colectores adicionales a cada lado para permitir cambios en las condiciones del viento.

- Si existe la posibilidad de lluvia durante el ensayo, colocar una lata aún más fuera del alcance del cañón para recoger la lluvia. Cualquier lluvia recogida deberá deducirse de la cantidad recogida en todos los demás latas.

- Peso de los botes con piedras para evitar que se vuele o sean golpeados por el corriente de agua desde el cañón. Asegúrese de que la hierba u otro follaje no interfiera con el agua al entrar en los botes.

4. Medir la velocidad de funcionamiento del cañón.

- Registre la distancia recorrida y el tiempo.

5. En algún momento conveniente durante la prueba, registrar la dirección del viento y la velocidad aproximada.

- medir la presión de funcionamiento en el cañón adaptando un manómetro bourdon con aditamento pitot.

- medir el diámetro de la cobertura del cañón

- medir la distancia entre cada ruta de viaje (o separación del carril de riego)

6. Cuando el cañón ha pasado completamente sobre la hilera de los botes colectores, medir los volúmenes en cada bote con la probeta. Cada volumen debe ser anotado en el espacio correcto, en el campo de registro.

7. Asegúrese de que todos los datos de campo se han registrado y capturado en la hoja de registro de campo clasificada por pruebas.

8. si los volúmenes son muy pequeños extraer y medirlos con la jeringa (de chef).



Figura 13. Colocación de los botes colectores sobre la estaca



Figura 14. Colocación de la manguera al carrito del cañón



Figura 15. Calibración del aspersor



Figura 16. Recorrido del aspersor en funcionamiento



Figura 17. Controlando manualmente la velocidad del aspersor viajero

Pruebas de pluviometría recabadas en cañón viajero

Pruebas en la UAAAN realizadas durante la investigación experimental

Para hacer el estudio de modelado y evaluación pluviométrica en aspersores viajeros fue necesario la toma de datos, tanto de construcción como de operación. Se recabaron los datos de las 6 pruebas, donde 3 se realizaron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el jardín hidráulico y las otras tres se encuentran navegando en internet reportadas por otras instituciones.

Pruebas realizadas por otras instituciones reportadas en la literatura

En la cuarta prueba se hizo la validación del modelo con datos de una calibración reportados por el servicio de Extensión Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte por Evans y colaboradores (s/f), obteniendo los datos necesarios para llevar a cabo la prueba. La prueba número cinco se corrió con datos de Australia reportados en el libro de trabajo por Creighton, Robertson, Smith (2001) por un programa de manejo de agua para evaluar sistemas de riego presurizados en el taller de cañones viajeros.

Y la sexta prueba proviene del centro de investigación de ingeniería agrícola de Portugal; realizada esta última por Rolim y Pereira (2005) en su aplicación realizada de visual basic para diseñar y evaluar un sistema de cañón viajero.

Métodos para la validación de modelos

Hablando en general hay tres métodos para la validación de modelos y alguna combinación de ellos puede ser aplicada de modo apropiado a los diferentes aspectos de un modelo particular.

Estos modelos son:

- La intuición de los expertos
- Medición del sistema real
- Análisis de resultados teóricos

La opinión de los expertos

Es un análisis de un paso; realizado por alguien que examina la salida del modelo, el “experto” conoce del sistema pero no tanto del modelo.

Las mediciones del sistema real

Su comparación con las estimaciones del modelo es lo más confiable, y es la forma más confiable preferida para validar un modelo de simulación.

En la práctica, sin embargo esto a menudo no es factible porque el sistema real no existe o porque todavía no se instala o debido a que las mediciones pudieran resultar muy caras (costosas) para tomarlas. En el caso de un modelo de simulación cuando los datos completos de la medición están disponibles puede ser posible usar la simulación.

Análisis de los resultados teóricos

Basado en leyes operacionales que coinciden con las salidas del modelo, lo cual pudieran ser tomados como tendencia de que el modelo predice correctamente.

Metodología para la predicción de la pluviometría para un aspersor viajero aplicando el modelo de Heerman y Hein (1968)

Para el cálculo de la pluviometría estimada se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_p = \frac{r \cdot \pi \cdot d_{\max}}{2 \cdot v} (1 - m^2)$$

$$d_{\max} = \frac{1.5 Q}{\pi \cdot r^2}$$

Donde:

D_p = lluvia estimada por colector en mm

Q = caudal arrojado por la boquilla del aspersor en litros por hora

r = radio de alcance del aspersor en metros

d_{\max} = intensidad máxima de precipitación en mm/hora que ocurre al centro del patrón elíptico.

m = fracción de distancia que define la posición de un colector con relación a la ruta recorrida por el aspersor viajero; dada por la relación: x/r .

v = velocidad de viaje en m/hora

La simulación por ordenador de la actuación de la aspersión en pivote central y cañones viajeros se presentó por primera vez por Heermann y Hein (1968). Un programa del Centro de simulación fácil de usar para Evaluación y Diseño en pivote (CPED). Las entradas y las opciones necesarias para el modelo fueron presentadas por Heermann (1990). Edling (1979), James (1984), y Bremond y Molle (1995) han escrito los programas de simulación para evaluar las diferentes características de los sistemas de pivote central. La clara ventaja de simulación sobre las pruebas de campo es el gran número de opciones de diseño y condiciones de operación que se pueden comparar con el tiempo y los recursos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las seis pruebas realizadas para evaluar la pluviometría de un cañón viajero, se obtuvieron diferentes resultados debido a que se utilizaron diferentes modelos de aspersores, así también como diferentes presiones, boquillas y velocidades de recorrido entre cada una de las pruebas.

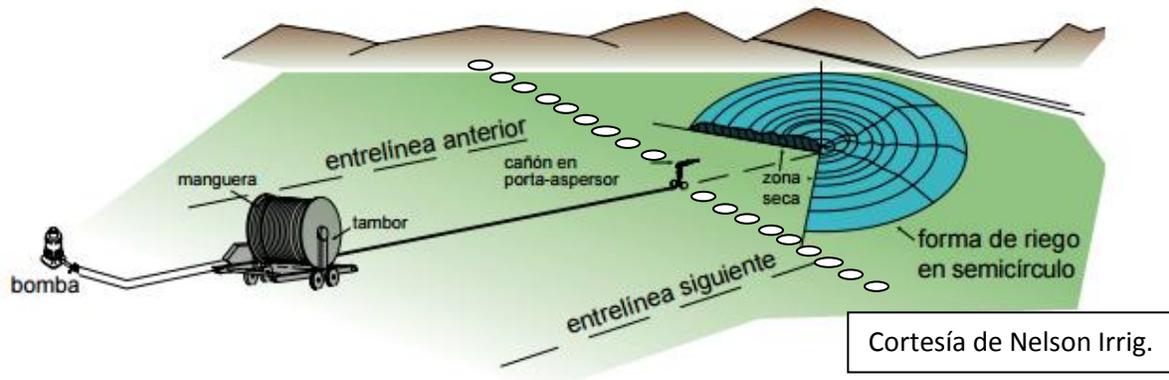
Los cañones viajeros son ideales para muchas aplicaciones dependiendo del diseño del sistema según el área, la configuración de la parcela, la forma del campo, el tipo de cultivo y de suelo, la ubicación de la fuente de agua y las condiciones de bombeo. Aunque también basándose en su experiencia de las condiciones de servicio en su área y del rendimiento de los varios componentes del sistema, dependerán mucho los resultados que se obtengan.

Cuadro 2. Especificaciones de los cañones utilizados

Prueba	Marca del aspersor	Modelo del aspersor	Tamaño de boquilla (mm)	Presión de operación (kg/cm ²)	Diámetro de alcance (m)	Caudal del aspersor (GPM)
1	Rain Bird	65 PJ	6.35	2.81	34	11.5
2	Rain Bird	65 PJ	6.35	2.81	34	11.5
3	Rain Bird	65 PJ	6.35	2.81	34	11.5
4	Nelson	150	25	4.92	97	197
5	Nelson 150 serie	Southern Cross 75	25	4.48	97	220
6	Teste	1400T/plus	20.32	4.07	85	143

Figura 18. Modelado de la evaluación pluviométrica de un cañón viajero

CAÑONES BIG GUN® para el riego por enrollador



Resultados de la investigación experimental encontrados en las pruebas realizadas en el jardín hidráulico del campus Buenavista durante el estudio.

Cuadro 3. Prueba 1 realizado en el jardín hidráulico de la UAAAN.

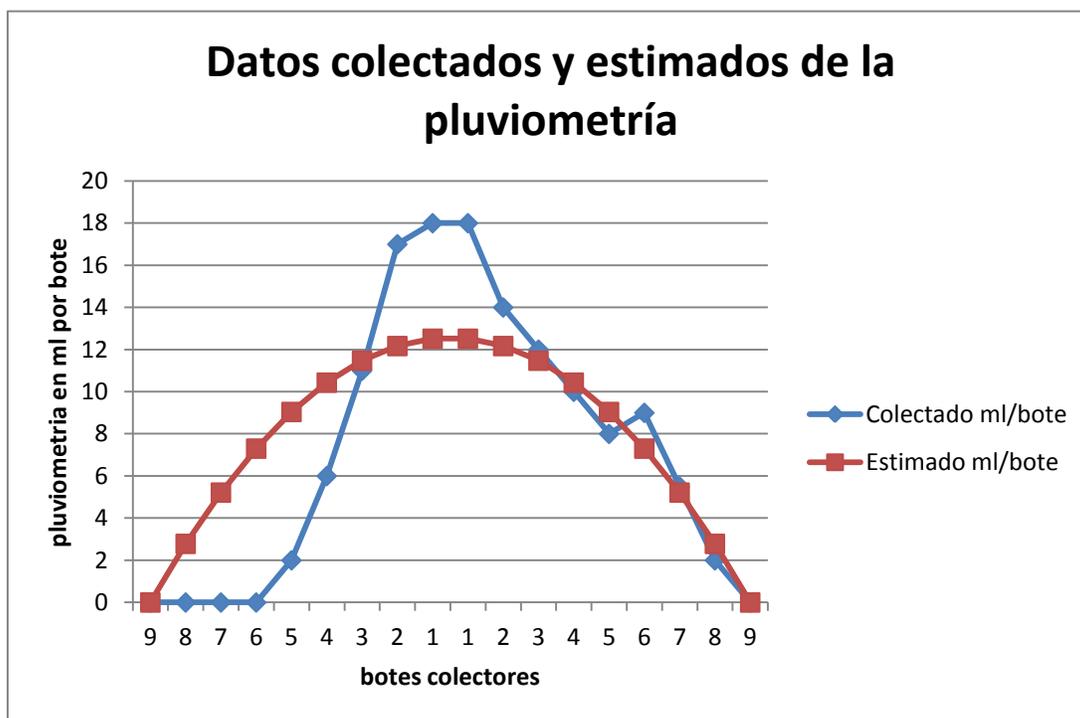
PRUEBA 1		Avance: 1 m por min.	
# bote	Distancia x al bote	Colectado ml/bote	Estimado ml/bote
L9	17	0	0
L8	15	0	2.781742065
L7	13	0	5.215766371
L6	11	0	7.30207292
L5	9	2	9.04066171
L4	7	6	10.43153274
L3	5	11	11.47468602
L2	3	17	12.17012153
L1	1	18	12.51783929
R1	1	18	12.51783929
R2	3	14	12.17012153
R3	5	12	11.47468602
R4	7	10	10.43153274
R5	9	8	9.04066171
R6	11	9	7.30207292
R7	13	5.5	5.215766371
R8	15	2	2.781742065
R9	17	0	0

Cuadro 4. Análisis estadístico de t Student de la prueba 1

Estadístico de t Student			
	0.781146208		Coef. Correlación
t Student, t_c =	0.279913217	Decisión:	0.840805235
t Student, t_{α} =	2.339060933	acepto H_0	error típico de la estima
			3.686224821

El análisis estadístico de la prueba t Student aplicada para validar la confianza del modelo encontró una “t calculada” de $t_c=0.27$ menor que la “t de tabla”. De lo que se infiere que el error típico de la estima $E_{xy}=3.68\%$ no es significativo y la correlación entre matrices resulto satisfactoria ($r=0.84$).

Figura 19. Gráfica de la prueba 1



Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 1

En esta primera prueba podemos ver las variaciones que existen en los botes del lado izquierdo donde hubo efectos del viento y por esa razón los últimos botes del lado izquierdo no obtuvieron agua colectada.

El patrón de distribución en línea roja, representa lo estimado en ml por bote en ausencia de viento que tiene un seguimiento perfecto en forma de parábola, esto nos indica que los datos en la pluviometría tanto del lado izquierdo como del lado derecho, muestran un aumento congruente desde el primer bote que es donde se obtuvo mayor agua hasta el último donde se obtuvo menor volumen sobre bote.

El patrón de distribución en línea azul representa los datos colectados en campo, observando que las condiciones del clima y velocidad del viento (3 km/h) en el momento de la prueba ocasionaron una desviación en la tendencia. Por ello fue que se obtuvieron diferencias en la cantidad de agua colectada en cada uno de los botes de la izquierda y los que están cerca de la ruta.

Puede notarse que en la línea de botes del lado izquierdo la cantidad de agua colectada en los botes 9,8,7,6 fue nula sin registro de agua, a partir del bote 5 hasta el uno va aumentando el volumen congruente con las predicciones. En los botes del lado derecho, los volúmenes colectados coincidieron más con los volúmenes estimados.

Cuadro 5. Prueba 2 realizado en el jardín hidráulico de la UAAAN.

PRUEBA 2 Avance: 50 cm por min.

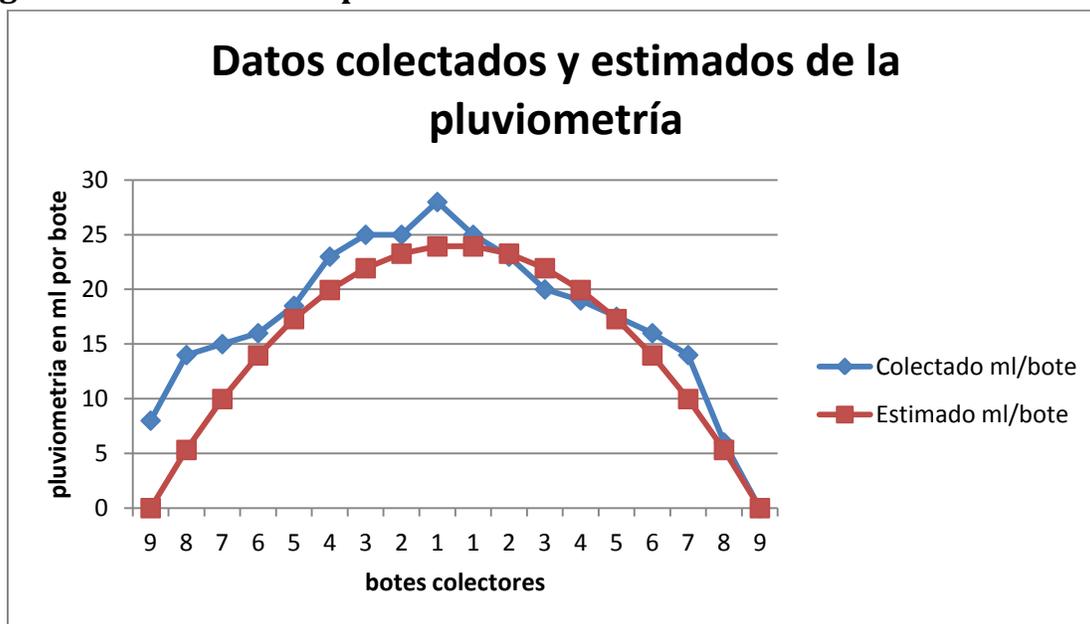
# bote	Distancia x al bote	Colectado ml/bote	Estimado ml/bote
L9	17	8	0
L8	15	14	5.319964622
L7	13	15	9.974933666
L6	11	16	13.96490713
L5	9	18.5	17.28988502
L4	7	23	19.94986733
L3	5	25	21.94485407
L2	3	25	23.27484522
L1	1	28	23.9398408
R1	1	25	23.9398408
R2	3	23	23.27484522
R3	5	20	21.94485407
R4	7	19	19.94986733
R5	9	17.5	17.28988502
R6	11	16	13.96490713
R7	13	14	9.974933666
R8	15	6	5.319964622
R9	17	0	0

Cuadro 6. Análisis estadístico de t Student de la prueba 2

Estadístico de t Student			
	0.377965617		Coef. Correlación
t Student, t_c =	0.89266395	Decisión:	0.93850296
t Student, t_{α} =	2.339060933	acepto H_0	error típico de la estima
			2.607851624

El análisis estadístico de la prueba t Student aplicada para validar la confianza del modelo encontró una “t calculada” de $t_c=0.89$ menor que la “t de tabla”. De lo que se infiere que el error típico de la estima no es significativo del orden de un 2.6% y la correlación entre matrices resulto satisfactoria ($r=0.93$) como se puede apreciar en el cuadro 6.

Figura 20. Gráfica de la prueba 2



Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 2

En la segunda prueba obtuvimos mayor uniformidad de agua colectada en cada uno de los botes, debido a que la velocidad de avance del aspersor fue menor que en la prueba uno. Únicamente tenemos un bote sin registro de agua en el lado derecho.

El patrón de distribución en línea roja, representa lo estimado en ml por bote en ausencia de viento que tiene un seguimiento perfecto en forma de parábola, esto nos indica que los datos en la pluviometría tanto del lado izquierdo como del lado derecho muestran un aumento congruente, desde el primer bote que es donde se obtuvo mayor agua hasta el último donde se obtuvo menor volumen sobre bote.

El patrón de distribución en línea azul representa los datos recolectados en campo, observando que las condiciones del clima y velocidad del viento (0 km/h) en el momento de la prueba no ocasionaron una desviación en la tendencia. Por ello fue que se obtuvieron registros de agua en cada uno de los botes colectores de ambos lados.

Puede notarse que en la línea de botes del lado izquierdo la cantidad de agua colectada fue casi perfecta ya que se obtuvieron volúmenes de agua de 8 ml del bote más lejano a la ruta del aspersor. Lo mismo pasó en la línea de botes del lado derecho donde únicamente en el bote 9 fue nula sin registro de agua. De esta manera los volúmenes de agua recolectados coincidieron más con los volúmenes estimados.

Cuadro 7. Prueba 3 realizado en el jardín hidráulico de la UAAAN.

PRUEB 3 Avance: 25 cm por min.

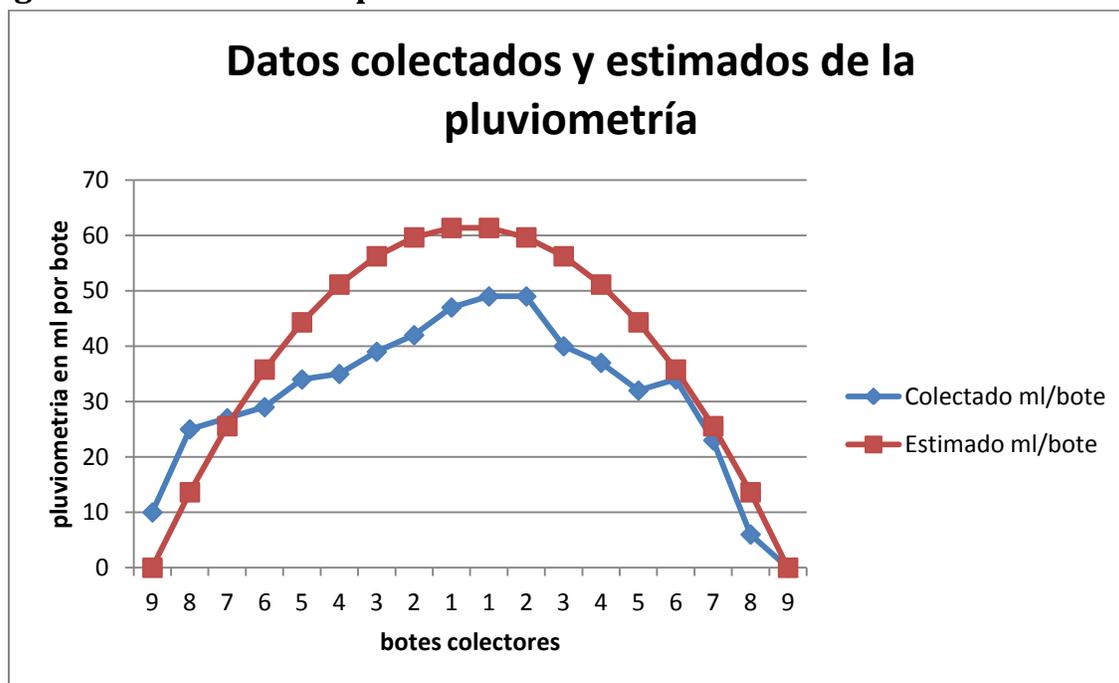
# bote	Distancia x al bote	Colectado ml/bote	Estimado ml/bote
L9	17	10	0
L8	15	25	13.63709241
L7	13	27	25.56954827
L6	11	29	35.79736758
L5	9	34	44.32055034
L4	7	35	51.13909654
L3	5	39	56.2530062
L2	3	42	59.6622793
L1	1	47	61.36691585
R1	1	49	61.36691585
R2	3	49	59.6622793
R3	5	40	56.2530062
R4	7	37	51.13909654
R5	9	32	44.32055034
R6	11	34	35.79736758
R7	13	23	25.56954827
R8	15	6	13.63709241
R9	17	0	0

Cuadro 8. Análisis estadístico de t Student de la prueba 3

Estadístico de t Student			
	0.210427405		Coef. Correlación
t Student, t_c =	1.275141118	Decisión:	0.945310563
t Student, t_{α} =	2.339060933	acepto H_0	error típico de la estima
			4.74632975

El análisis estadístico de la prueba t Student aplicada para validar la confianza del modelo encontró una “t calculada” de $t_c=1.27$ menor que la “t de tabla”. De lo que se infiere que el error típico de la estima no es significativo del orden de un 4.75% y la correlación entre matrices resulto satisfactoria ($r=0.94$).

Figura 21. Gráfica de la prueba 3



Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 3

En la tercera prueba obtuvimos mayor uniformidad de agua colectada en cada uno de los botes, debido a que la velocidad fue menor que en las dos pruebas anteriores. Obteniendo solo un bote sin registro de agua en el lado derecho.

El patrón de distribución en línea roja, representa lo estimado en ml por bote en ausencia de viento que tiene un seguimiento perfecto en forma de parábola, esto nos indica que los datos en la pluviometría tanto del lado izquierdo como del lado derecho muestran un aumento congruente, desde el primer bote que es donde se obtuvo mayor agua hasta el último donde se obtuvo menor volumen sobre bote.

El patrón de distribución en línea azul representa los datos colectados en campo, observando que las condiciones del clima y velocidad del viento (0 km/h) en el momento de la prueba no ocasionaron una desviación en la tendencia. Por ello fue que se obtuvieron registros de agua similares en cada uno de los botes colectores de ambos lados.

Puede notarse que en la línea de botes del lado izquierdo la cantidad de agua colectada fue buena porque se obtuvieron volúmenes de agua de 10 ml del bote más lejano a la ruta del aspersor. De la misma forma la línea de botes del lado derecho, donde únicamente el bote 9 no obtuvo registro de agua. De esta manera el agua colectada coincidieron más con los volúmenes estimados.

Resultados de la investigación documental de las pruebas encontradas en la consulta de los recursos en línea.

Realizado por Evans y colaboradores (s/f)

Cuadro 9. Prueba 4 realizado con datos de la Universidad de Carolina del Norte.

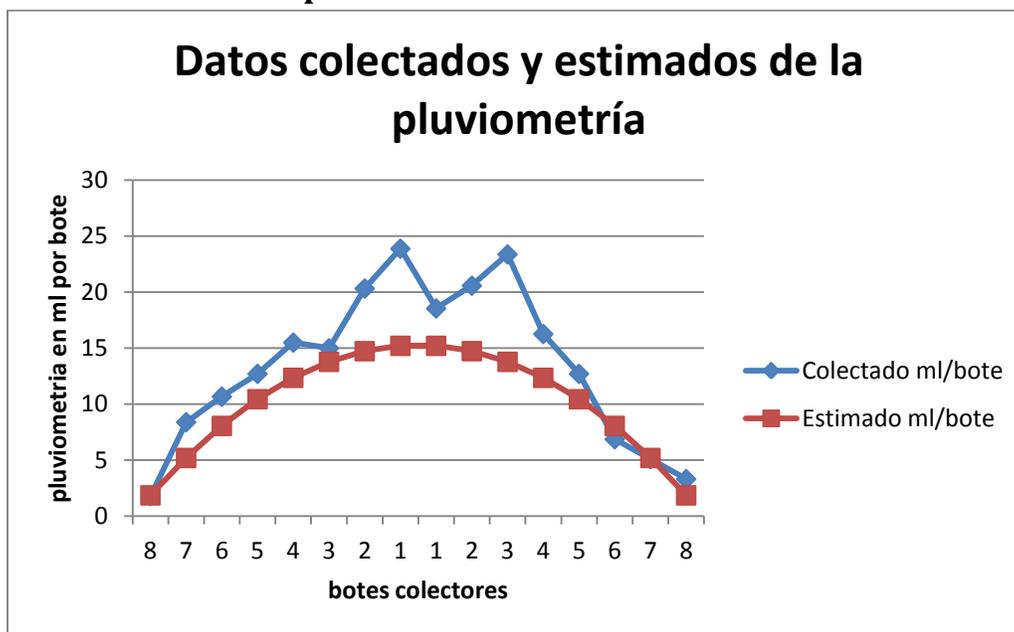
Prueba 4		97.5 m en 105 min	0.92 m por min	
# bote	Distancia x al bote ft	Distancia x bote m.	Colectado ml/bote	Estimado ml/bote
L8	150	45.72	1.778	1.848545558
L7	130	39.624	8.382	5.187853662
L6	110	33.528	10.668	8.050117751
L5	90	27.432	12.7	10.43533783
L4	70	21.336	15.494	12.34351389
L3	50	15.24	14.986	13.77464593
L2	30	9.144	20.32	14.72873396
L1	10	3.048	23.876	15.20577797
R1	10	3.048	18.542	15.20577797
R2	30	9.144	20.574	14.72873396
R3	50	15.24	23.368	13.77464593
R4	70	21.336	16.256	12.34351389
R5	90	27.432	12.7	10.43533783
R6	110	33.528	6.858	8.050117751
R7	130	39.624	5.08	5.187853662
R8	150	45.72	3.302	1.848545558

Cuadro 10. Análisis estadístico de t Student de la prueba 4

Estadístico de t Student			
	0.13551282		Coef. Correlación
t Student, t_c =	1.526948877	Decisión:	0.946383007
t Student, t_{α} =	2.339060933	acepto H0	error típico de la estima
			2.336915392

El análisis estadístico de la prueba t Student aplicada para validar la confianza del modelo encontró una "t calculada" de $t_c=1.52$ menor que la "t de tabla". De lo que se infiere que el error típico de la estima no es significativo del orden de un 2.33% y la correlación entre matrices resulto satisfactoria ($r=0.94$).

Figura 22. Gráfica de la prueba 4



Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 4

En la cuarta prueba el volumen colectado en cada uno de los botes fue buena, obteniendo registros de agua en todos los botes tanto del lado izquierdo como del derecho.

El patrón de distribución en línea roja, representa lo estimado en ml por bote en ausencia de viento que tiene un seguimiento perfecto en forma de parábola, esto nos indica que los datos en la pluviometría tanto del lado izquierdo como del lado derecho muestran un aumento congruente, desde el primer bote que es donde se obtuvo mayor agua hasta el último donde se obtuvo menor volumen sobre bote.

El patrón de distribución en línea azul representa los datos colectados en campo, observando que las condiciones del clima y velocidad del viento (2 km/h) en el momento de la prueba ocasionaron una desviación en la tendencia. Por ello fue que se obtuvieron diferencias en la cantidad de agua colectada en los botes cercanos a la ruta del aspersor.

Puede notarse que en la línea de botes del lado izquierdo la cantidad de agua colectada fue buena porque se obtuvieron volúmenes congruentes. De la misma forma la línea de botes del lado derecho. Únicamente se obtuvieron diferencias en los botes cercanos a la ruta del aspersor, ya que en el bote 1 del lado izquierdo se obtiene un volumen menor que los demás, lo mismo pasa con los botes 1 y dos del lado derecho con un menor registro de agua.

Cuadro 11. Prueba 5 realizado con datos de un experimento en Australia.

Reportados en el libro de trabajo por Creighton, Robertson, Smith (2001) por un programa de manejo de agua para evaluar sistemas de riego presurizados en el taller de cañones viajeros.

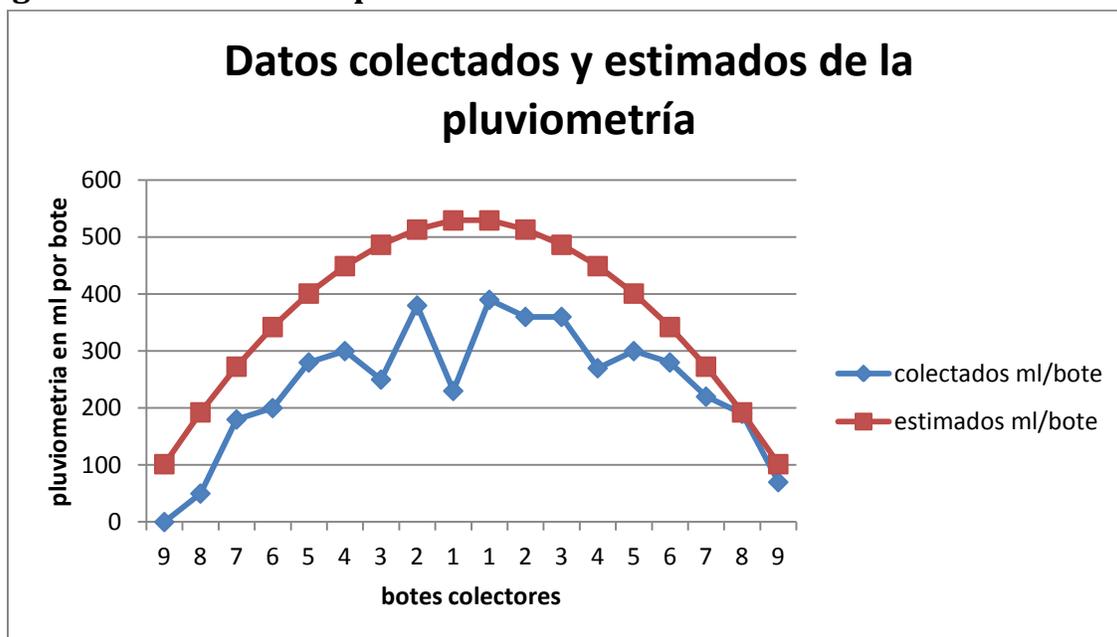
Prueba 5		35 m en 60 min	0.58 m por min
# bote	Distancia x al bote	Colectado ml/bote	Estimado ml/bote
L9	36	0	101.5860658
L8	32	50	192.4788616
L7	28	180	272.6783873
L6	24	200	342.1846428
L5	20	280	400.9976283
L4	16	300	449.1173437
L3	12	250	486.543789
L2	8	380	513.2769643
L1	4	230	529.3168694
R1	4	390	529.3168694
R2	8	360	513.2769643
R3	12	360	486.543789
R4	16	270	449.1173437
R5	20	300	400.9976283
R6	24	280	342.1846428
R7	28	220	272.6783873
R8	32	190	192.4788616
R9	36	70	101.5860658

Cuadro 12. Análisis estadístico t Student de la prueba 5

Estadístico de t Student			
	0.006575287		Coef. Correlación
t Student, t_c =	2.884848088	Decisión:	0.884928245
t Student, t_{α} =	2.339060933	rechazo H_0	error típico de la estima
			53.74744842

El análisis estadístico de la prueba t Student aplicada para validar la confianza del modelo encontró una "t calculada" de $t_c = 2.88$ mayor que la "t de tabla". De lo que se infiere que el error típico de la estima es muy alto del orden 54% como se muestra en el cuadro 12 y la correlación entre matrices no resulto satisfactoria ($r=0.88$).

Figura 23. Gráfica de la prueba 5



Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 5

En la quinta prueba el volumen colectado en cada uno de los botes fue buena, obteniendo registros de agua en todos los colectores, donde solo se obtuvo un bote del lado izquierdo sin registro de agua.

El patrón de distribución en línea roja, representa lo estimado en ml por bote en ausencia de viento que tiene un seguimiento perfecto en forma de parábola, esto nos indica que los datos en la pluviometría tanto del lado izquierdo como del lado derecho muestran un aumento congruente, desde el primer bote que es donde se obtuvo mayor agua hasta el último donde se obtuvo menor volumen sobre bote.

El patrón de distribución en línea azul representa los datos colectados en campo, observando que las condiciones del clima y velocidad del viento (3 km/h) en el momento de la prueba ocasionaron una desviación en la tendencia. Por ello fue que los registros de agua en cada uno de los botes colectores fue diferente, teniendo mayor variación en los recipientes de la izquierda.

Puede notarse que en la línea de botes del lado izquierdo la cantidad de agua colectada fue algo deficiente empezando por el bote 9 donde no se obtuvo registro de agua, así como en los colectores 3 y 1 donde se obtiene una descendencia de volumen colectado. En cambio la línea de botes del lado derecho se obtuvo una distribución más uniforme teniendo registros en todos los botes y con una pluviometría aceptable.

Cuadro 13. Prueba 6 realizado con datos de un experimento en Portugal.

Realizada por Rolim y Pereira. 2005, en su aplicación de visual basic para diseñar y evaluar un sistema de cañón viajero.

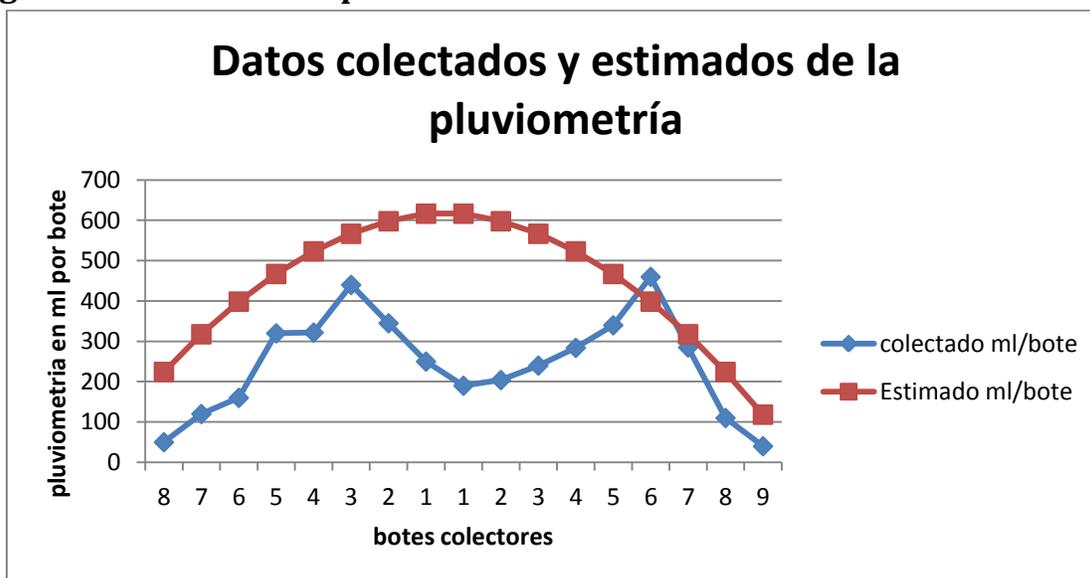
PORTUGAL		0.43 m por minuto	
# bote	Distancia x al bote	Colectado ml/bote	Estimado ml/bote
L8	24	50	224.2966711
L7	21	120	317.7536175
L6	18	160	398.7496376
L5	15	320	467.2847316
L4	12	322	523.3588993
L3	9	440	566.972141
L2	6	345	598.1244564
L1	3	250	616.8158457
R1	3	190	616.8158457
R2	6	204	598.1244564
R3	9	240	566.972141
R4	12	284	523.3588993
R5	15	340	467.2847316
R6	18	460	398.7496376
R7	21	285	317.7536175
R8	24	110	224.2966711
R9	27	40	118.3787987

Cuadro 14. Análisis estadístico de t Student de la prueba 6

Estadístico de t Student			
	0.000264742		Coef. Correlación
t Student, tc=	4.04445737	Decisión:	0.58744657
t Student, t α=	2.339060933	rechazo H0	error típico de la estima
			103.1780178

El análisis estadístico de la prueba t Student aplicada para validar la confianza del modelo encontró una "t calculada" de $t_c = 2.88$ mayor que la "t de tabla". De lo que se infiere que el error típico de la estima es muy alto del orden 103 % como se muestra en el cuadro 12 y la correlación entre matrices no resulto satisfactoria ($r=0.58$).

Figura 24. Gráfica de la prueba 6



Análisis del modelado pluviométrico de la prueba 6

En la sexta prueba el volumen colectado en cada uno de los botes fue buena, obteniendo registros de agua en todos los colectores, pero fue uno de los modelos donde se obtuvo mayor variación en cuanto a volumen registrado, comparado con lo estimado en ml por bote.

El patrón de distribución en línea roja, representa lo estimado en ml por bote en ausencia de viento que tiene un seguimiento perfecto en forma de parábola, esto nos indica que los datos en la pluviometría tanto del lado izquierdo como del lado derecho muestran un aumento congruente, desde el primer bote que es donde se obtuvo mayor agua hasta el último donde se obtuvo menor volumen sobre bote.

El patrón de distribución en línea azul representa los datos colectados en campo, observando que las condiciones del clima y velocidad del viento (6 km/h) en el momento de la prueba ocasionaron una desviación en la tendencia. Por ello fue que los registros de agua obtenidos en cada uno de los botes colectores de ambos lados fueron diferentes unos de otros, obteniendo mayor volumen de agua en algunos botes más lejanos, a diferencia de los que estaban más cercanos a la ruta del aspersor que recibieron menor volumen de agua.

Puede notarse que en la línea de botes tanto del lado izquierdo como del derecho la cantidad de agua colectada fue algo deficiente principalmente en los colectores más cercanos a la ruta, donde se obtiene una descendencia de volumen en comparación con los botes que se encontraban a una mayor distancia del aspersor.

V. CONCLUSIÓN

Podemos concluir que la distancia entre las entrelíneas de los botes colectores depende en gran parte de las condiciones de viento del área, cualquier que sea el tipo de aspersor usado. Que los vientos fuertes tienden a deformar el patrón de riego y darle una forma oval. Por lo tanto, la dirección de traslado debería ser perpendicular al viento preponderante siempre y cuando sea posible. Aunque en cierta parte, el movimiento continuo de riego irregular mejora la uniformidad de distribución.

Uno de los principales factores que influyen en el estudio de un modelo de aspersor viajero es la condición del clima y velocidad del viento, teniendo una velocidad de viento fuerte provoca distorsiones del chorro y la distribución no es favorable. Si la pluviometría del sistema supera a la capacidad de infiltración se produce escorrentía, así como un posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas (si son grandes). Puede presentarse una influencia importante del viento sobre la uniformidad de distribución en superficie, teniendo presente que la uniformidad de aplicación se mejora con la redistribución del agua dentro del suelo.

Pudimos darnos cuenta que la velocidad del chorro se incrementa a medida que aumenta la presión a la boquilla del aspersor, rompiendo el chorro en gotas más finas y extendiendo el alcance. El traslado continuo permite mantener una uniformidad de distribución relativamente constante sobre una amplia gama de presiones. Por lo tanto, la selección de las presiones y trayectorias adecuadas depende principalmente del tamaño de las gotas que conviene lo mejor al cultivo y el suelo a regar.

Probablemente debido a lo antes expuesto en dos de las 6 pruebas evaluadas, la predicción del modelo se desvió y el error en la estima resulto muy alto desviando su certidumbre.

En la comparación de datos observados la decisión estimada se encuentra:

$t_c = 0.27, 0.89, 1.27, 1.52, 2.88, 4.04$

Error típico de la estima = 3.68%, 2.60%, 4.74%, 2.33%, 53.64%, 103.17%

Coefficiente $r = 0.84, 0.93, 0.94, 0.94, 0.88, 0.68$

Para las pruebas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 respectivamente por lo cual se acepta H_0 en 4 pruebas de las 6 realizadas.

VI. BIBLIOGRAFIA

Arenillas, A. (1987): Maquinas de riego. Evolución, situación actual y perspectiva razonables>>, 19 Conferencia Internacional de la Mecanización Agraria, FIMA.

Australia. www.perthregionnrm.com.

BERNARDO, S., A. SOARES & C. MANTOVANI: Manual de irrigação, 596pp. Sétima ed. Viçosa-MG, Imprensa Universitária, 2005.

Bremond, B. y B. Molle. 1995. Caracterización de la lluvia en diversos pivote central: influencia del procedimiento de medición. Diario de Riego y Drenaje Ingeniería, ASCE, vol. 121 (5): 347-353.

Bubbenzer G D; Jones B A (1971). Drop size and impact velocity effects on the detachment of soil under simulated rainfall. Transactions of the ASAE, 14(4), 625–628.

CEMAGREF (1990): Irrigation, Guide pratique, Cemagref. CEP y RNED-HA, Montpellier.

Constantino Constantinidis, Bonifica ed Irrigazione. Edagrícola. Ediciones Calderini. Bologna, Italia. 1970.

Dechmi, F. 2002. Gestión del agua en sistemas de riego por aspersión en el Valle del Ebro: análisis de la situación actual y simulación de escenarios. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. España.

Dechmi, F.; E. Playan, J. Cavero, A. Martínez Cob and J. M. Faci. 2004. Couple crop and solid set sprinkler simulation model. I: Model development. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE, 130 (6): 499-510.

Edling, R.J. 1979. Variación de la operación de pivote central con pendiente del terreno. Trans. de ASAE

EFITTA/WCCA 2005; Villa Real, Portugal.

Evans R.O., Barker J.C, Smith J.T. and Sheffield R.E. S/F. Field calibrations procedures for animal wastewater application equipment. Hard Rose and cable tow traveler irrigation system. North Carolina State University.

Gary Creighton, Graeme Robertson, Peter Smith (2001). Introduction to irrigation management. Evaluation your pressurised system. System y travelling irrigation and rotating booms. Wáter managment program. 5,8-10. NSW Agriculture. Hard Rose and cable tow traveler irrigation system North Carolina State Univ.

Heermann, D. F. y P. R. Hein. 1968. Las características de rendimiento del autopropulsado sistema de riego por aspersión de pivote central. Trans. ASAE 11 (1): 11-15.

Heermann, D. F. y T. L. Spofford. 1998. Evaluación de los sistemas de riego de pivote central. ASAE Papel 98-2068. St. Joseph, MI.

James, L.G. 1984. Efectos de la selección de la bomba y el terreno de la actuación de pivote central. Trans. de ASAE 27 (1): 64-68,72.

JENSEN (1980): Design and operation of form irrigation system, ASAE, monograph number 3, St. Joseph, Michigan, USA.

KAY, M. (1983): Sprinkler irrigation, Equipment and practice, Batsford Academic and Educational Ltd. London.

Keller J; Bliesner R D (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York.

KELLER, J. & R. D. BLIESNER: Sprinkle and trickle irrigation, 652pp., NY, Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1990.

KELLER, J., y BUESNER , R.D, (1990):Sprinkle and tickle irrigation, AVI Book, van Nostrand Reinhold, New York.

Li, J. and H. Kawano. 1996. The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. Agricultural Water Management. 32: 29-36.

Martínez, R. 2004. La distribución del agua bajo riego por aspersión estacionario y su influencia sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral. ETSIA, Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete-España.

MONTERO, J., J.F. ORTEGA, J.M. TARJUELO y F.T. HONRUBIA: Análisis de las pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión, En: XV Congreso Nacional de Riego, 25 a 27 de junio de 1997, Lleida, Cataluña, España, 1997.

North carolina Cooperative extensión Service. 5-9 pp.

PAIR, et al, (1975): Sprinkler irrigation, Sprinkler irrigation Association Maryland, USA.

PRADO, G. A. COLOMBO & P.F BIAGIONI: “Ângulo de giro e espaçamento entre carregadores em sistemas autopropelidos de irrigação com o PLONA-RL400”, Jaboticabal, Brasil, Engenharia Agrícola, 27(2): 36-41, 2007.

Radi Pandiselvan, Nawab Jan Amreena Jan, Guosanj Kunjurayan Rajesh Ganapath 2014. Development and performance evaluation of mobile irrigation for

dry land agriculture. Scientific Journal Agr. Engineering. University and Belgrade. No 3. 2014. 53-62 pp. archiv. nar. ac. rs/

Rolim J. y Pereira L.S. 2005. Design and evaluation y taveling-gun system: the simulation model TRAVGUN. Africulture Engineering Research Center, ISA UTL; Tapada de Ajuda 1349-017. Lisbon, Portugal. L.S pereira@isa.utl.pt.

ROLLAN, L. (1984): La mecanización del riego por aspersion>>, Boletin de Riegos y Drenajes.

Smith Rod, Craig Baillie and Glen Gordon, 2002. Performance and travelling gun irrigation machines. Proc. Aust. Soc. Sugar cane Technology. Vol. 24. National centre for Enginnering and Agriculture. University Soultren Queensland, Australia.

Smithrod@usq.edu.au

Sousa P L; Silva L L; Serralheiro R P (1999). Comparative analysis of main on-farm irrigation systems in Portugal. Agricultural Water Management, 40, 341–351.

Tarjuelo, J. M. 1999. El riego por aspersion y su tecnología. 2ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. España.

TARJUELO. J. M., F. ORTEGA & J. MONTERO: Modelling Evaporation and Drift Losses in Irrigation with Médium Size Impact Sprinklers Ander Semi-arid condition”, Agric. Water Manage, 43(3): 263-284, 2000.

VORIES, E., R. VON BERNUTH & R. MICHELSON: “Simulating sprinkler performance in wind”, Journal of Irrigation and Dramage Engineering, 113(1): 119-130, 1997.

VORIES, E., R. VON BERNUTH & R. MICHELSON: “Simulating sprinkler performance in wind”, Journal of Irrigation and Draage Engineering, 113(1): 119-130, 1997.

www.bae.ncsu.edu/

YAZAR, A.: “Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions”, Agr. Water Mngt, 8(4): 339-449, 1984.