

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**“Uniformidad de Distribución del Rotor R33 en Comparación al Aspensor
WR33 en un Sistema Poweroll”**

POR:

ALEJANDRO OMAR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, “Octubre” del 2015

DEDICATORIA

A Dios

Por brindarme el regalo más valioso que es la vida, por darme la fuerza y la sabiduría para lograr cada uno de mis objetivos.

A mis padres.

Felipe González Solano y Guadalupe Hernández Vásquez

Por darme su apoyo incondicional en todo momento, por darme todo el amor que solo ellos podrían brindarme y por darme sus consejos cuando más los necesitaba por todo eso mil gracias por todo mamá y papá.

A mis hermanos

Felipe, Ramón, Rosa Adelina, Gloria del Carmen, Jaime Judiel y Edgar David

Por darme su apoyo en todo momento, por confiar en mí, por motivarme para seguir adelante durante mi desarrollo profesional por todo eso les doy mil gracias.

A mi esposa

Elisa Yaquelin Cortes Gaytán

Por brindarme su amor incondicionalmente, por estar conmigo en los momentos malos y buenos, por no renunciar a nuestro amor a pesar de los problemas surgidos, por darme ánimos cuando los necesitaba por compartir parte de su vida conmigo y por soportar mi feo carácter.

A mis amigos

Humberto, Maribel, Daniel, Juan, Jonathan, etc.

Por nuestra amistad de toda la vida por apoyarme en momentos difíciles, por compartir tristezas y alegrías por todo eso les estoy profundamente agradecido. A mis compañeros de generación CXVI por todo lo que pasamos juntos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir, por permitirme lograr cada uno de mis objetivos

A mis padres

Por confiar en mí, por darme la oportunidad de vivir y por apoyarme en todo momento y por hacerme un hombre de bien

A mi alma terra mater

Por permitirme haber realizado mi preparación profesional en sus instalaciones

A mi hermano Jaime Judiel

Por haber confiado en mí y por ayudarme para lograr mi preciada meta de convertirme en ingeniero.

A mi profesor y amigo el MC. Ricardo Vaquera Chávez y a su esposa

Por brindarme su apoyo y amistad durante el desarrollo de mi carrera por sus consejos estoy profundamente agradecido; mil gracias.

A el MC. Gregorio Briones Sánchez y mis coasesores

Por brindarme sus conocimientos para llevar a cabo este proyecto que sin su ayuda hubiera sido imposible, gracias por compartirme sus conocimientos y por tenerme paciencia para realizar la investigación presente.

A todo el personal del departamento de riego y drenaje que participo en mi desarrollo profesional gracias por compartir cada uno de sus conocimientos y por tenerme paciencia en todo momento.

A todos los que me brindaron su amistad durante mi desarrollo profesional mil gracias.

INDICE

I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	2
Prueba de hipótesis y ensayo de significancia	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 LOS SISTEMAS POWER ROLL	4
2.1.1. Las características del sistema de riego Poweroll	5
2.2 Componentes Básicos del Sistema Poweroll	6
2.2.1 Descripción de los Componentes del sistema Poweroll	6
a) Transmisión hidrostática	6
b) Marco Doble	7
c) Acoples Doble Drenaje	7
d) Ruedas con Ranuras Profundas	8
e) emisores	9
f) nivelador de emisor	9
g) adaptador para manguera flexible	9
h) tubería de conducción de la línea regante	10
2.3 Ventajas y Desventajas	10
Ventajas del sistema de riego por Poweroll	10
Desventajas del sistema de riego por Poweroll	11
2.4 Longitud de la Lateral en el Sistema	11
2.5 Tipo de emisores	12

2.6 Características de los emisores	12
2.7 Optimización de la eficiencia de riego	13
2.8 Uniformidad del riego en el sistema Poweroll	13
2.9 Factores que afectan la uniformidad del riego	14
III. MATERIALES Y METODOS	17
3.2 Localización	17
3.3 Características generales	18
3.4 Características de los emisores utilizados	18
a) Características del rotor R33 de Nelson	18
b) Características del aspersor WR33 de Wade Rain	21
3.5 Cálculo de los gastos de los emisores o aspersores	22
3.6 Predicción de la cobertura de cada emisor	22
3.7 Predicción de la lluvia arrojada por los emisores	23
3.8 Desarrollo del modelo	23
3.9 Aplicación del modelo	26
3.10 Validación del modelo	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Gasto aplicado por las boquillas y presiones de operación	30
4.2 Comparación de los CU del aspersor WR33 Vs rotor R33	31
4.3 Comparación de la pluviometría del R33 Vs WR33 en una malla para ver las zonas con mayor almacenamiento	32
4.4 Comparación del patrón de mojado del R33 Vs WR33	35
4.5 Resultados de la validación del modelo	39
V. CONCLUSIONES	39
VI. BIBLIOGRAFIA	40
APENDICE	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 foto del motor que mueve el sistema Poweroll	4
Figura 2.2 vista de un Poweroll en funcionamiento	5
Figura 2.3 vista de la transmisión hidrostática del sistema Poweroll	6
Figura 2.4 imagen del marco doble del sistema de alineación	7
Figura 2.5 acoples doble drenaje del sistema Poweroll	8
Figura 2.6 ruedas del sistema Poweroll	8
Figura 2.7 imagen del nivelador de emisores del sistema Poweroll	9
Figura 2.8 manguera y adaptador para la alimentación del sistema	10
Figura 2.9 imagen de la tubería principal del sistema	10
Figura 3.0 localización del lugar de la prueba	17
Figura 3.1 tabla de rendimiento del rotor R33	20
Figura 3.2 imagen del rotor R33	21
Figura 3.3 imagen de un aspersor de bronce WR33 de Wade Rain	22
Figura 3.4 alcance del chorro del rotor R33	23
Figura 3.5 patrón simple de aspersion	24
Figura 3.6 patrón de traslape de aspersion del rotor R33	26
Figura 3.6 modo de calcular las variables para la ecuación a utilizar	28
Figura 3.7 imagen del cálculo de desviación estándar utilizada en el modelo de Wilcox	28
Figura 3.8 cuadro de pluviometría recolectada en campo colocando los rotores (R33)	29
Figura 3.9 cuadro de pluviometría recolectada en campo colocando los aspersores (WR33)	29
Figura 4.1 comparación de CUw del rotor R33 contra el aspersor WR33	31

Figura 4.2 pluviometría del rotor R33 a un traslape de 12m x 12m	32
Figura 4.3 pluviometría del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 12m	32
Figura 4.4 pluviometría del rotor R33 a un traslape de 12m x 15m	33
Figura 4.5 pluviometría del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 15m	33
Figura 4.6 pluviometría del rotor R33 a un traslape de 12m x 18m	34
Figura 4.7 pluviometría del aspersor WR33a untraslape de 12m x 18m	34
Figura 4.8 mapa de recolección de lluvia durante la prueba delrotor R33	35
Figura 4.9 mapa de recolección de lluvia durante la prueba del aspersor WR33	35
Figura 4.10 mapa del patrón de mojado del rotorR33 a un traslape de 12m x 12m	36
Figura 4.11 mapa del patrón de mojado del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 12m	36
Figura 4.12 mapa del patrón de mojado del rotor R33 a un traslape de 12m x 15m	37
Figura 4.13 mapa del patrón de mojado del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 15m	37
Figura 4.14 mapa del patrón de mojado delrotor R33 a un traslape de 12m x 18m	38
Figura 4.12 mapa del patrón de mojado del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 18m	38

Uniformidad de Distribución del Rotor R33 en Comparación al Aspersor WR33 en un Sistema Powerroll

Por: Alejandro Omar González Hernández

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el jardín hidráulico del departamento de “Riego y Drenaje”, y en el campo experimental “el bajo” de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicado en Buenavista Saltillo, Coahuila. Este trabajo tiene como objetivo: evaluar el coeficiente de uniformidad aplicado por el rotor R33 de Nelson instalado en un sistema de riego, y traslapar los patrones de aspersión para encontrar las láminas de agua precipitadas sobre el terreno durante el movimiento periódico frontal de la tubería Powerroll comparadas con el aspersor de bronce WR33 de Wade Rain para identificar la mejor opción para este tipo de sistemas.

Los datos utilizados para validar el modelo provienen de una prueba de pluviometría realizada en terrenos propios de La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro situada en el kilómetro 6 de la Calzada Antonio Narro #1923.

El modelo se resolvió mediante el paquete de Excel, el cual fue eficiente para ayudar a obtener los datos estadísticos que se necesitaban en la evaluación del modelo. Y de esta manera ser una herramienta para poder ser utilizada por diseñadores o personas interesadas; por otra parte el programa Surfer se utilizó para graficar los patrones de precipitación de la prueba. **H₀**: el %Cu del rotor R33 es igual que el aspersor WR33; **H_a**: el %Cu del rotor R33 es mayor que el %Cu del aspersor WR33. Se rechaza H₀.

Prueba de hipótesis y ensayo de significancia:

Si $\%CU_{R33} = \%CU_{WR33}$ se acepta H_0 ., deduciendo que el rotor R33 de Nelson iguala la uniformidad del aspersor WR 33.

Si $\%CU_{R33} < \%CU_{WR33}$ se rechaza H_0 ., deduciendo que el aspersor WR33 es mejor que el rotor R33.

Los fundamentos del modelo son la ecuación de la elipse, la pluviometría del patrón simple de aspersión para cada aspersor y rotor; el método del elemento finito para visualizar el traslape de los perfiles individuales para los aspersores y rotores. La lámina precipitada se estima, colector por colector; como un producto de: lámina = intensidad promedio x tiempo de paso. La lámina calculada con el modelo muestra excelente uniformidad entre la separación de cada aspersor a lo largo de la tubería; no obstante el %CU al traslapar la lluvia de los rotores R33 no es muy buena debido a fugas existentes en el sistema, en cambio el aspersor de bronce WR33 de Wade Rain ha tenido mejor %CU en comparación del rotor debido a que la boquilla de compensación cubre un mayor radio y en el caso del rotor R33 carece de una segunda boquilla para uniformizar la pluviometría,

En 2 simulaciones de 3 realizadas, se rechazó la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_a : el %Cu del rotor R33 de Nelson es menor que el aspersor WR33 de Wade Rain.); deduciendo que el modelo de Wilcox para evaluar el $\%CU_{Wilcox}$ es altamente confiable en sus predicciones como ha quedado demostrado en otros estudios por lo cual se recomienda su aplicación en la evaluación, del coeficiente de uniformidad (%CU) en sistemas de riego por aspersión.

Correo electrónico; Alejandro Omar González Hernández, Alejandro_290491@hotmail.com

Palabras clave: Coeficiente de uniformidad de Wilcox, powerroll, rotor, aspersor, emisores, uniformidad, cobertura, %CU, patrón de mojado

I. INTRODUCCION

El coeficiente de uniformidad es un factor elemental cuando se requiere diseñar el sistema de riego por aspersión, los principales fabricantes de aspersores giratorios someten sus productos continuamente a estas pruebas en el terreno, y actualmente se dispone de muchos y muy útiles datos sobre algunos aspersores en operación en diversas circunstancias prácticas. Información muy importante que sirve para seleccionar aquella combinación de espaciamiento, descarga, boquilla, presión y por las condiciones del viento que cumplan con los requerimientos del cultivo y de acuerdo a las condiciones agroclimáticas de la zona. (Javier Jaramillo, marzo 2010).

Los sistemas de riego Side Roll son ideales para cultivos bajos y de cobertura. Estos equipos se caracterizan por tener un sistema de ruedas y un motor de gasolina que da movilidad a la tubería regante.

Los equipos de Side Roll son sistemas de riegos modernos y fáciles de operar. Su diseño permite mantener los aspersores en la posición adecuada para obtener un riego uniforme. El sistema puede ser de hasta 490 m de longitud. El Side Roll más popular es el de 400 m y consta de 34 aspersores con una manguera de alimentación flexible de 100 mm (4"Ø) de diámetro y opera a una presión de hasta 60 psi a la entrada dependiendo de la longitud. (GRIMOSA; riegos modernos de la laguna 2013).

Su motor central evita el gran uso de mano de obra al cambiar la posición del equipo, además de prevenir el maltrato de los cultivos. El riego por aspersión por Side Roll es la manera ideal de producir cosechas y a la vez conservar los recursos valiosos y escasos de agua (IRRIMEX irrigación de México 2013).

El elemento más visible del Side Roll y por el cual se lleva su nombre, son sus grandes ruedas mecánicas con un tubo actuando como eje, las cuales gracias

a un motor gira a lo largo del campo a regar, dando movilidad también a la tubería en la cual se conduce el agua que se utiliza para regar.

En el caso de campos irregulares, el sistema de Side Roll incluye un nivelador de aspersor, que automáticamente coloca a todos los aspersores en la posición vertical cuando la línea se mueve a otra posición. Con este mecanismo se ahorra tiempo y se asegura un riego más eficiente. (PacifiIrrigation 2012)

1.1 Objetivos

- ❖ Aforar el gasto de los aspersores
- ❖ Medir la presión de operación de las boquillas
- ❖ Caracterizar la pluviometría de los patrones de aspersión
- ❖ Evaluar la UD del riego por aspersión a varios espaciados de línea (12,15 y 18 m)
- ❖ Proporcionar la tasa de precipitación promedio de la línea regante
- ❖ Evaluar la UD del riego por aspersión al operar la lateralPoweroll con aspersores convencionales (de impacto) en comparación a la misma línea operada con aspersores tipo rotor (nuevos para uso agrícola)

1.2 Hipótesis

El análisis de resultados obtenidos en campo se analizó mediante el paquete de Excel, el cual se aplicó para hacer los traslapes de la pluviometría de cada aspersor y rotor, para hacer más práctica la suma de lluvia que recibió cada colector por cada aspersor y rotor.

Ho: si el %Cu del rotor WR33 de Nelson es igual que el %CU del aspersor R33 de Wade Rain. Entonces se acepta Ho.

Ha: el %Cu del rotor R33 de Nelson es mucho mayor que el aspersor WR33 de Wade Rain. Se rechaza Ho.

Prueba de hipótesis y ensayo de significancia:

Si $\%CU_{WR33} = \%CU_{R33}$ se acepta H_0 ., deduciendo que el rotor R33 de Nelson NO PUEDE superar AL aspersor WR33.

Si $\%CU_{WR33} < \%CU_{R33}$ se rechaza H_0 ., deduciendo que el rotor R33 es mejor que el aspersor WR33 y si puede sustituirlo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LOS SISTEMAS POWER ROLL

El Powerroll es un sistema mecanizado de riego por aspersion que pone fin al trabajo duro de mover la tubería de riego. Ahorra tiempo, trabajo y dinero.

El Powerroll es una línea de rociadores hecho de aluminio montado sobre ruedas que riegan en su lugar. En medio de la línea se encuentra una pieza de motor mecanizado por un pequeño motor de gasolina. La línea de rociadores se conecta al suministro de agua o a la línea principal por una manguera flexible.



Figura 2.1 unidad motorizada que se usa para mover la tubería del Powerroll.

Cuando se cumple un plazo de irrigación (de 8 a 12 horas), el operador apaga la línea, lleva la manguera conectora a la siguiente posición de trabajo a lo largo de la línea principal y arranca la pieza de motor mecanizado. Mientras mantiene el control por medio de transmisión hidrostática, el operador hace rodar la línea completa a través del campo a la siguiente posición de irrigación, por lo general de 18 metros. El operador regresa a la línea principal, vuelve a conectar la manguera

y comienza el siguiente periodo de riego. Todo el procedimiento del traslado del equipo debe durar alrededor de 20 minutos.



Figura 2.2 vista de un Powerrollen funcionamiento.

Cuando la línea Powerollha llegado a todo el campo, el operador da reversa a la línea al punto original para que el sistema esté listo para el ciclo siguiente de riego.

El sistema Powerolle está diseñado para ser simple de operar y mantener. También es sencillo de instalar. No se requiere de herramientas ni de equipos especiales como camión grúa, lo que significa que Poweroll puede ubicarse en las zonas rurales donde se necesita una infraestructura mínima para la operación exitosa.

2.1.1. Las características del sistema de riego Poweroll

La unidad motriz Poweroll, de Wade rain, con transmisión hidrostática, combinada con un gran chasis de doble raíl, permite salir del fango a plena potencia, baja velocidad y permite una alta velocidad en el suelo seco. El operador tiene un mejor control con el rango de potencia ajustable de la

transmisión hidrostática; una mayor potencia entregada si se le compara con unidades hidráulicas.

2.2 Componentes básicos del sistema Poweroll

Las unidades básicas que componen el sistema de riego por Poweroll son: el grupo de bombeo, el grupo de suministro de energía eléctrica, las tuberías de conducción en PVC o aluminio con sus hidrantes, y un ramal de riego con sus emisores y reguladores de presión.

Son sistemas semifijos, siendo la toma de agua y el abastecimiento de energía fijas, al igual que la tubería e hidrantes, siendo móvil el ramal de riego. La máquina de riego se compone de un motor de transmisión hidrostática, los tramos de tuberías mediante ruedas de desplazamiento, los emisores con sus respectivos niveladores, la toma de agua para suministrar el gasto al sistema y los acoples doble drenaje.

2.2.1 Descripción de los Componentes del sistema Poweroll

a) Transmisión hidrostática

Transmisión hidrostática se aplica el esfuerzo de torsión para mover la carga. El operador ajusta la velocidad y potencia para adaptarse a la carga y el contorno de la tierra, lo que mantiene un mejor control entregando más caballos de fuerza posibles con las unidades hidráulicas.

La transmisión hidrostática Wade Rain proporciona cambios suaves de velocidad desde el ir adelante, parar y dar marcha atrás todo con un simple control. Elige su velocidad de menos de un metro por minuto hasta 20 metros por minuto.



Fig. 2.3 vista de la transmisión hidrostática del sistema Poweroll

b) MarcoDoble

Las piezas del motor PowerollWade Rain, combinan una transmisión hidrostática con un marco doble asentado sobre una base de ruedas de 4 metros de ancho. Esto permite que pueda sacarse del barro y la tierra mojada con todo el poder a una velocidad lenta, y luego ajustar a alta velocidad en la tierra seca.

El marco más ancho da más poder, aumentando el nivel para rodar la línea y mantener las piezas de motor con la línea. El nivel marco doble extra larga de PowerollWade Rain, tiene dos baleros con seguro para cada eje de rueda para asegurar una alineación fácil y un mejor seguimiento. Reduce la mano de obra y el daño en la siembra.



Fig. 2.4 imagen del marcodoble del sistema de alineación

c) Acoples Doble Drenaje

El PowerollWade Rain viene con acoples de doble drenaje. Acopladores de drenaje drenan ambos, de la junta de acople y de la válvula de drenaje. Esto significa que su línea de rueda se descarga rápida y completa, de modo que usted puede mover la línea a su siguiente posición. Una línea de rueda típica con una tubería de 100 mm lleva 8 y $\frac{1}{2}$ minutos para drenar mientras que una línea de 127mm dura 15 minutos. Los acoples no gotean debido a la mala alineación de la línea y no dependen de una junta mecánicamente comprimida. Una apertura grande de drenaje rápido y espacio adicional para la eliminación de material que esté obstruyendo la línea.

El sistema ofrece doble drenaje en todos los sentidos para que la línea desagüe a través de la junta 360 grados y en cualquier posición de forma rápida y completa. Esto significa que su línea de ruedas todavía se desaguará rápido, incluso si está mal alineada o las válvulas de drenaje no estén de frente a la superficie de la tierra.

Acoples Doble Drenaje



Fig. # 2.5 acoples dobledrenaje del sistema Poweroll

d) Ruedas con Ranuras Profundas

Ruedas sólidas y fuertes con ranuras profundas dan mayor fuerza y peso más ligero. El diseño ayuda a la rueda resistir abollarse en tierras rocosas y resiste la torsión cuando se aplican cargas axiales, previniendo el aplastamiento entre los rayos de la rueda, el colapso o la torsión de estas.



Fig. 2.6 ruedas del sistema Poweroll

e) emisores

Se pueden utilizar aspersores de impacto o rotores

- La intensidad y uniformidad de lluvia que proporciona el sistema dependerá

- tipo de emisor.
- Espaciamiento en la tubería.
- Presión en las boquillas.
- Tamaño de las boquillas.

f) Nivelador de emisor

Un mecanismo en el sistema, llamado nivelador para aspersor asegura que el aspersor o emisor siempre se encuentre en posición vertical, y de este modo se mantiene un alto grado de eficiencia de riego.



Fig. 2.7 imagen del nivelador de emisores del sistema Powerroll

g) Adaptador para manguera flexible

La manguera flexible es la encargada de suministrar el agua a la tubería del sistema por medio de tomas que fueron instaladas con anterioridad a lo largo de la trayectoria que se seguirá en el campo a regar, estas tomas estarán colocadas de acuerdo a la distancia que tendrá cada posición de dicho sistema.



Fig. 2.8 manguera y adaptador para la alimentación del sistema

h) tubería de conducción de la línea regante

La tubería de conducción es la encargada de suministrar el agua a todos y cada uno de los emisores con los que cuenta el sistema; el material del cual se encuentra hecho es aluminio y su tiempo de vida útil es indefinido.



Fig. 2.9 imagen de la tubería principal del sistema

2.3 Ventajas y Desventajas

Ventajas del sistema de riego Powerroll.

- Ahorra trabajo manual. Sólo tarda 15 minutos para re-inicializar el sistema.
- Concepto comprobado – más de 200,000 sistemas de rueda en uso por todo el mundo

- Fácil de operar y mantener
- Sistema más económico por hectárea que la cinta o goteo
- Sistema semiautomático. Una sola persona puede manejar hasta 15 líneas
- Riega los campos de hasta 8-20 hectáreas, dependiendo de los cultivos, las tierras, el consumo de agua y la frecuencia de reubicación
- Reduce el daño a los cultivos al caminar entre las hileras
- Riega campos cuadrados y rectangulares
- Riega tierras pesadas en las cuales fallan los cañones gigantes y pivotes

Desventajas del sistema de riego Powerroll

- No riega los cultivos de más de 1.22 metros de altura, como el maíz y la caña de azúcar
- Requiere de trabajo ligero para mover la línea
- Requiere de sistemas múltiples para campos muy grandes
- Alta presión de agua necesaria (2,75 a 3,5 bares) (2,812 a 3.515 kg/cm²)
- Los vientos fuertes distorsionan el patrón de riego

2.4 Longitud de la lateral en el sistema

Una línea Powerroll puede tener cualquier longitud hasta un máximo recomendado de 600 metros. En algunos casos, las líneas Powerroll pueden estar hasta 800 metros de largo dependiendo de la topografía del terreno.

La cantidad de tierra que un sistema Powerroll puede regar depende de muchos factores, incluyendo las necesidades de agua de los cultivos, el tamaño del sistema y el tipo de suelo; por lo general, un solo sistema regará de 10 a 30 hectáreas, pero en casos especiales el Powerroll se ha utilizado en un área tan grande como 50 hectáreas. (Wade rain)

2.5 tipo de emisores

Los emisores que se pueden emplear en el sistema Powerroll son $\frac{3}{4}$ " ya sean de impacto o rotores como en el caso del rotor R33 de Nelson, el cual se está analizando en esta investigación para observar si puede sustituir en aspersionador WR33 de Wade Rain, el cual es un aspersionador de impacto.

2.6 características de los emisores

La uniformidad y la intensidad del agua aportada por el Powerroll en cada uno de los riegos dependen de cuatro factores: el tipo de emisor, el espaciamiento de los emisores en la tubería, la presión en las boquillas y el espaciamiento entre los cambios de posición del sistema.

La aplicación uniforme del agua depende principalmente de: el "sistema" de reparto de agua del aspersionador, así como de la disposición y espaciamiento de los aspersionadores en el campo (marco de riego) (**José María Tarjuelo Martín-Benito, 1991**)

A estos factores hay que añadir otro que es el viento, (principal distorsionador de la uniformidad de reparto), que juega un papel fundamental en las "pérdidas por evaporación y arrastre" producidas durante el proceso de aplicación y donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales. Por otra parte, el modelo de reparto de agua del aspersionador viene definido por: el propio diseño del aspersionador, el tipo y número de boquillas y la presión de trabajo. (**José María Tarjuelo Martín-Benito, 1991**)

A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como la altura del aspersionador sobre el terreno, la presencia o no de vaina prolongadora de chorro (VP), que mejora la uniformidad de reparto de agua para velocidades de viento mayores de unos 2 m/s, o la duración del riego, cuyo incremento favorece a la Uniformidad de Distribución (UD) por compensarse en parte las distorsiones producidas por el viento ya que este varía normalmente con el tiempo. (**José María Tarjuelo Martín-Benito, 1991**)

2.7 Optimización de la eficiencia de riego.

El riego es una práctica cultural que requiere optimizar en lo posible la eficiencia en la aplicación de agua, entiendo como tal la fracción del agua aplicada que es utilizada para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo y las de lavado. Para ello es necesario minimizar las pérdidas por evaporación, escorrentía, percolación profunda y otras pérdidas menores, para lo cual se requiere que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado.

La terminología utilizada para describir el comportamiento del riego al nivel de parcela incluye normalmente los términos de eficiencia y uniformidad. Lamentablemente no existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios parámetros a la vez.

La uniformidad del riego indica el grado de igualdad de dosis recibida por los diferentes puntos de la parcela. La eficiencia de riego se suele entender como el porcentaje de agua bruta aplicada que es aprovechada para satisfacer las necesidades del cultivo y las de lavado. (“Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión” por Jesús Montero Martínez).

2.8 Uniformidad del riego en el sistema Poweroll

Nos centraremos únicamente en el proceso de descarga de agua del aspersor, donde un chorro a gran velocidad se difunde en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno.

Muños (2004) señala que la uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego y que además interviene en su diseño, tanto en el agronómico, como en el hidráulico. Niveles altos de uniformidad, incidirán notablemente en la eficiencia de riego, ya que de ésta depende el agua que se suministra a unas plantas y a otras, lo que repercutirá en los rendimientos de manera significativa.

El proceso abarca desde la distribución en los diferentes tamaños de gota hasta la interacción con el viento y la evaporación de parte del agua descargada por el aspersor antes de llegar al suelo.

Como efectos derivados de esta aplicación están: (a) su relación con la capacidad de infiltración del terreno y la existencia de escorrentía; (b) el deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas y su repercusión en la infiltración, formación de costra, erosión, etc. y (c) la uniformidad de distribución en superficies, así como la posterior redistribución dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico.

El objetivo del riego es aplicar el agua uniformemente sobre el área deseada y ponerla a disposición del cultivo. Los sistemas de riego por aspersión, deben diseñarse para aplicar el agua a un ritmo inferior a la velocidad de infiltración para evitar la escorrentía. La aplicación uniforme del agua depende principalmente de: el diseño del aspersor, el tipo y número de boquillas y la presión de trabajo (lo que define el modelo de reparto de agua del aspersor), así como la disposición de los aspersores en el campo (marco de riego). A estos factores pueden añadirse otros de menor trascendencia como: la duración del riego, la utilización de osciladores de presión para trabajar a baja presión, o la altura del aspersor sobre el terreno, etc. el viento por su parte es el principal distorsionador de la uniformidad de reparto teniendo diferente repercusión según el tamaño de gota y la trayectoria que tenga que recorrer ésta en la caída, influyendo en gran medida en la evaporación y en el arrastre fuera del área regada de parte del agua aplicada. (José María Tarjuelo Martín-Benito-“el riego por aspersión: diseño y funcionamiento”)

2.9 Factores que afectan la uniformidad del riego

La uniformidad que se suele manejar en sistemas de riego tipo Powerroll, suele andar entre 75 y 88% dependiendo fundamentalmente del tipo de cultivo y del sistema radicular del mismo siempre y cuando estos sean de porte bajo. Incluso

pueden llegar hasta un 90% de eficiencia si los vientos predominantes no son fuertes (Diagro 2010).

El conocimiento de la distribución del chorro descargado por el aspersor, en los distintos tamaños de gota tiene una gran importancia práctica por varias razones, entre las que destacan:

- Las gotas pequeñas son fácilmente arrastradas por el viento, distorsionando el modelo de reparto de agua y aumentando la evaporación.
- Las gotas gruesas tienen energía cinética, la cual es transferida a la superficie del suelo, pudiendo romper agregados y afectar la capacidad de infiltración o a la formación de costra
- El conocimiento de la distribución de los tamaños de gota, puede permitir hoy día disponer de una aproximación del comportamiento de un sistema de riego mediante el desarrollo de simuladores de riego con ordenador, como el desarrollo de Vories (1986) que, teniendo en cuenta la acción del viento sobre las gotas, constituyen una herramienta fundamental, para el diseño del sistema ya que es de sobra conocido el importante papel que juega el viento en el riego por aspersión.(José María Tarjuelo Martin-Benito-“el riego por aspersión: diseño y funcionamiento”).

Por otra parte existen otros factores que afectan a la uniformidad de la distribución de agua en el riego por aspersión; por ejemplo, los tipos de aspersor y sus condiciones de funcionamiento, la separación y su disposición en el campo y la velocidad y dirección del viento. Si los aspersores se seleccionan y se utilizan adecuadamente teniendo en cuenta los factores antes mencionados, pueden proporcionar una mayor uniformidad de la distribución del agua y reducir los costos del sistema de riego. Como la evaluación de todos estos factores es muy compleja y lleva tiempo (Lessandro C. Faria y colegas. En portugués. 2013).

Por otra parte los sistemas autopropulsados tienen ciertas ventajas frente a los estacionarios en cuanto a los efectos distorsionadores del viento ya que:

* El lateral ocupa infinitas posiciones en su recorrido, compensándose en parte las distorsiones entre riegos sucesivos.

* El espaciamiento de emisores en el lateral es bastante pequeño, con un gran solapamiento entre ellos. Y así como algunos factores que distorsionan la uniformidad de reparto tienden a compensarse en los sucesivos riegos, otros tienden a acentuarse cada vez más como son:

* El funcionamiento defectuoso de algún aspersor.

* La existencia de escorrentía.

* La mala distribución del agua en los bordes

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Modelo utilizado

El modelo que se empleó para analizar los datos obtenidos en las pruebas que se realizaron el definido por Wilcox y Swailes (1947), donde interviene la desviación estándar típica y el promedio de las alturas de agua medidas.

$$CU_{ws} (\%) = 100 \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}}{\bar{x}} \right) = 100 - CV$$

3.2 Localización

Los datos utilizados para analizar y comparar los emisores que se emplearan en el sistema Poweroll, provienen de una prueba de pluviometría realizada en terrenos de la UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO con domicilio postal en la calzada Antonio Narro No. 1923 en Buenavista CP 25310, Saltillo, Coahuila; los datos obtenidos se analizaron con la ayuda de la hoja de cálculos de Excel el cual evitó hacer manualmente todos los análisis correspondientes para el análisis estadístico que se requería.



Fig. 3.0 localización del área de prueba.

3.3 Características generales

El Powerroll de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro caracterizado por una longitud de 396 metros (aproximadamente 1320 ft), constituido por llantas de aluminio con canales profundos que ayudan a una mejor tracción y un motor de transmisión hidrostática de 6 Hp con velocidad controlada; la estructura de la tubería del sistema es de aluminio teniendo un diámetro de 4" Ø, en toda la línea en la cual se distribuye el agua en cada uno de los emisores; y los diámetros de las vacantes de los emisores es de 3/4" Ø, utilizándose emisores de impacto de la marca Wade Rain modelo WR33, así como también se utilizaron rotores de la marca Nelson modelo R33; cabe hacer mención que no se contaba con suficientes rotores para todo el sistema, por lo cual se instaló un sistema de aspersion fijo en el jardín hidráulico del departamento de riego y drenaje ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el cual se colocó elevadores con la misma altura a la que se encuentra en el Powerroll, así como a la misma separación de estos para que la prueba no variara en lo absoluto. El material que se utilizó para este sistema es PVC en 4" Ø en la tubería de conducción y los elevadores de este sistema es de 3/4" de Ø para la conexión de los emisores que se utilizaron para la prueba de pluviometría.

3.4 Características de los emisores utilizados

a) Características del rotor R33 de Nelson

El rotor R33 de Nelson irrigation es una innovación que ahorra tiempo y dinero; funciona mejor que los aspersores de impacto de 3/4" a los que sustituye.

Diseñado para reemplazar el aspersor de impacto de bronce F33 Nelson, el R33 integra la tecnología probada rotor Nelson para ofrecer un mayor alcance, una mejor resistencia al viento y una distribución uniforme del agua. Con nuevas mejoras en el control de la velocidad, el diseño innovador le permite al aspersor realizar su rotación alternando el modo lento con el modo rápido. Al reducir en forma intermitente su velocidad de

rotación, el R33 produce un patrón de resistencia contra el viento que le permite lograr un alcance máximo.

El modo rápido también ayuda a mejorar el patrón del agua para una uniformidad mayor.

Mientras los aspersores de bronce son más propensos al daño, atasco y robo, el R33 es fácil de limpiar, reparar y reponerlo resulta más económico. La ausencia del brazo elimina las vibraciones del elevador. El R33 también ofrece una durabilidad superior, ya que sus sellos y rodamientos no están expuestos a la presión del agua.

Existe un modelo especial, (R33 LP de boquilla granate), que funciona con bajas presiones (incluso de 1.75 Bar), y permite obtener máximos alcances con amplios caudales. Especialmente aconsejable su uso para prevenir heladas y enfriar plantaciones.

El Rotor R33 consigue un buen radio de riego, por ello, se instalan con espaciamientos desde 15 hasta 18 metros. Se montan con facilidad en la rosca de $\frac{3}{4}$ " de las cañas, regando con una uniformidad y tamaño de gota óptimos.

Se utiliza en todo tipo de cultivos: forrajeros, hortícolas, maíz, alfalfa, árboles, vid, etc...

La velocidad de rotación es baja, evitando que se generen impactos. Tienen dos velocidades el cuerpo y componentes del Rotor R33, están fabricados con materiales muy resistentes, duran mucho en funcionamiento. Además, la simplicidad del diseño hace que el mantenimiento sea mínimo. El trabajo conjunto del plato y el difusor consigue una distribución muy uniforme del agua a lo largo de todo el radio de alcance, incluso con viento.

Opciones y rendimiento

La siguiente tabla muestra las diferentes opciones de platos y boquillas, con información sobre el rendimiento del aspersor en litros por hora y el alcance del patrón de agua

TABLA DE RENDIMIENTO DEL R33 Y DEL R33LP (UNIDADES U.S.)												
Plato	Boquilla		Rendimiento del R33LP dentro de su gama óptima de presiones de 25 a 30 PSI					Rendimiento del R33 dentro de su gama óptima de presiones de 40 a 65 PSI				
			Presión en PSI									
			25	30	35	40	45	50	55	60	65	
dorado 18	9/64"	GPM	2,88	3,15	3,40	3,64	3,86	4,07	4,27	4,46	4,65	
		R	37	38	40	42	43	42	44	42	44	
marrón 20	5/32"	GPM	3,52	3,85	4,16	4,45	4,72	5,00	5,22	5,45	5,68	
		R	38	40	42	43	45	43	45	44	46	
gris 22	11/64"	GPM	4,24	4,64	5,02	5,37	5,70	6,01	6,30	6,57	6,83	
		R	39	41	44	44	46	44	47	44	47	
verde 24	3/16"	GPM	5,00	5,50	5,96	6,38	6,78	7,16	7,52	7,85	8,18	
		R	41	43	45	46	49	46	49	50	50	
granate 26	13/64"	GPM	5,90	6,50	7,05	7,55	8,00	8,45	-	-	-	
		R	43	45	46	47	-	47	-	47	-	

TABLA DE RENDIMIENTO DEL R33 Y DEL R33LP (UNIDADES MÉTRICAS)														
Plato	Boquilla		Rendimiento del R33LP dentro de su gama óptima de presiones de 1,75 a 3,5 bares					Rendimiento del R33 dentro de su gama óptima de presiones de 2,75 a 4,5 bares						
			Presión en Bares											
			1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5
dorado 18	3,6 mm	LPH	659	703	745	786	825	862	897	931	964	996	1027	1058
		RAD	11,0	11,5	11,9	12,3	12,8	13,4	12,8	13,6	12,9	13,7	13,0	13,7
marrón 20	4,0 mm	LPH	805	859	911	961	1009	1054	1099	1143	1179	1217	1255	1293
		RAD	11,6	12,1	12,5	12,9	13,1	14,0	13,2	14,2	13,3	14,5	13,5	14,6
gris 22	4,4 mm	LPH	970	1036	1099	1160	1218	1272	1325	1375	1423	1468	1511	1554
		RAD	11,9	12,4	13,1	13,4	13,4	14,6	13,4	14,8	13,4	15,1	13,5	15,2
verde 24	4,8 mm	LPH	1144	1227	1304	1378	1447	1513	1577	1639	1698	1753	1807	1862
		RAD	12,5	13,0	13,4	13,8	14,0	14,9	14,0	15,2	14,0	15,4	14,1	15,5
granate 26	5,2 mm	LPH	1350	1449	1542	1630	1712	1786	1860	1935	-	-	-	-
		RAD	13,0	13,6	13,6	13,8	14,0	-	14,3	-	14,3	-	-	-

Fig. 3.1 tabla de rendimientos del rotor R33

Puede instalarse de forma muy sencilla un deflector para convertir el R33 y el R33LP en aspersores sectoriales para no mojar caminos, separar lindes, etc.

La mejora más destacable es el control de velocidad, ya que el aspersor combina el modo de riego lento con el modo rápido. Al reducir de forma intermitente su velocidad de rotación, consigue un patrón de agua que resiste muy bien el viento, al tiempo que consigue un gran alcance y una muy buena uniformidad de distribución.



Fig. 3.2 imagen del rotor R33

b) Características del aspersor WR33 de Wade Rain

El aspersor WR33 es un aspersor hecho de material de bronce, tiene doble boquilla, una de alcance y la otra de compensación para uniformizar la aplicación de lluvia.

Características Del Aspersor Wr33:

- Óptima distribución del agua hasta en espaciamientos de 16 m.
- Confeccionado en materiales de bronce de alto impacto y gran resistencia a corrosión, desgaste mecánico, radiación solar y productos químicos.
- El aspersor WR33 es el más económico en su línea.

Especificaciones:

- Aspersor metálico con rosca macho de $\frac{3}{4}$ "
- Gasto de 0.61 lps a 3.0 Kg/cm²

Aplicaciones:

- Para uso general de campos en sistemas fijos o móviles y para el combate de heladas.



Fig. 3.3 imagen de un aspersor de bronce WR33 de Wade Rain

3.5 Cálculo de los gastos de los emisores o aspersores

Para el cálculo del gasto de cada emisor, se tomó un recipiente lo suficientemente grande para recolectar el gasto de manera práctica, utilizando una manguera para colocarla en la boquilla del emisor y así poder recolectar el gasto que este emitía; este procedimiento se hizo durante un minuto aproximadamente con cada emisor que se analizó. Después de que se recolectaba el gasto de cada emisor se procedió a medir el gasto con una probeta para saber cuánto fue lo que se recolectó en un minuto aproximadamente.

3.6 Predicción de la cobertura de cada emisor

Para ver cuál era el radio de cobertura de cada emisor, no se hizo ningún cálculo simplemente se posicionó cada emisor a una distancia de 12 m ya que no se contaba con mucho espacio para correr la prueba de pluviometría; por otra parte se checo los datos que el proveedor proporciona en su página, para saber cuál era la distancia más conveniente para posicionar cada emisor esto se hizo para el rotor R33 de Nelson.

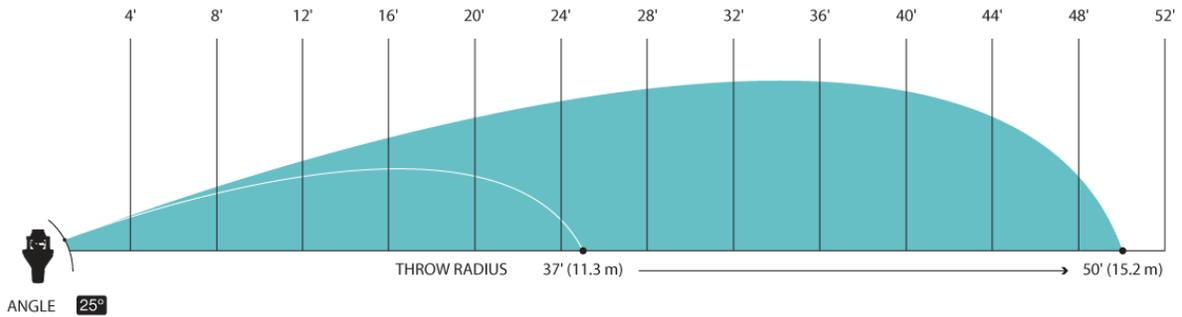


Fig. 3.4 alcance del chorro del rotor R33

3.7 Predicción de la lluvia arrojada por los emisores

Para saber cuál fue la precipitación que arrojaban los emisores, se colocó una cuadrícula de colectores de 3m x 3m alrededor de los emisores para coleccionar la precipitación que arrojaban en su diámetro de cobertura, esto se hizo con un tiempo de una hora como mínimo para coleccionar la lluvia.

3.8 Desarrollo del modelo

De acuerdo al ángulo al que se dispara el gasto arrojado por el emisor, se considera una parábola el cual al girar el emisor genera un círculo completo de mojado en el suelo o la superficie y con ayuda de la cuadrícula de colectores que se colocó en el área de alcance de dichos emisores, se aplica la ecuación de Wilcox y Swalies (1947) para calcular el coeficiente de uniformidad con que cae la lluvia sobre la superficie al momento de estar funcionando.

Ecuación 1.-

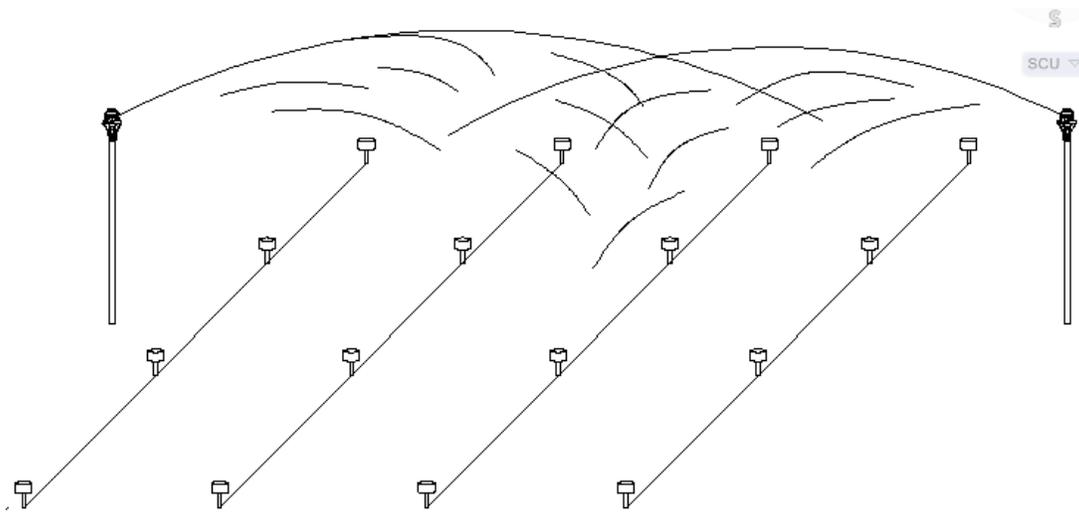
$$\%CU = 100 * (1 - (\frac{\sigma}{\bar{x}}))$$

Dónde:

$\%CU$ = coeficiente de uniformidad de Wilcox

σ = desviación estándar de la lluvia recolectada por los colectores

\bar{x} = media de los datos que se obtuvieron de la lluvia recolectada por los colectores



Fig, 3.5 Patrón simple de aspersión

Ahora para poder utilizar la formula hay que obtener la media de los datos obtenidos en los colectores, esta se obtiene de la siguiente manera aplicando la fórmula que se muestra a continuación.

Ecuación 2.-
$$\bar{X} = (\sum i) / n$$

Dónde:

\bar{x} = a la media aritmética de los datos o promedio de los datos

i = muestras obtenidas

n = número de datos utilizados

Ahora considerando que hubo cierta variación en los datos sacamos la desviación estándar de todos ellos para poder utilizarlos en la ecuación.

Ahora para poder obtener dicha desviación estándar, aplicamos la siguiente ecuación donde sustituiremos la media obtenida con la ecuación 2 la fórmula de la desviación estándar quedaría de la siguiente manera:

Ecuación 3.-
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Dónde:

N= al número de datos

i= número de datos para sacar la desviación estándar

\bar{x} = la media aritmética de los datos o promedio

Una vez obtenidos estos datos podemos echar andar la fórmula de CU_w

La ecuación 1 utilizada anteriormente, es una modificación propuesta por Wilcox y Swalies (1947) del Coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen (1942).

La expresión propuesta por Wilcox y Swalies (1947) es usada, al igual que el coeficiente de uniformidad (Cu), para evaluar los efectos de la presión, el viento, el espaciamiento y el diámetro de las boquillas, en la uniformidad de distribución. Dichos autores consideran que una buena uniformidad debe tener un coeficiente modificado de uniformidad %CU= 70% aproximadamente.

Área del colector (AC)

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

Donde:

AC= Área del colector (cm²)

π =Constante 3.1416

RC^2 =Radio del colector

3.9 Aplicación del modelo

En una tabla de Excel, se capturaron los datos obtenidos en campo los cuales se traslaparon mediante de una suma de los gastos correspondientes a cada casilla para así obtener la precipitación del área a la que se necesita simular; en seguida se utilizó el modelo propuesto por Wilcox y Swalies (1947), para encontrar el %CU. Las lecturas del patrón simple de aspersión (PSA) luego se dibujaron “en una gráfica de superficie” para apreciar la forma geométrica del PSA con los colectores dispuestos a 3x3 m para un tiempo de operación de una hora.

El patrón simple de aspersión (PSA) se copió cuatro veces “moviendo” el centro en cada PSA a los vértices del rectángulo de 12 m x 18 m para simular la pluviometría esperada en un patrón traslapado de aspersión se siguió el siguiente procedimiento:

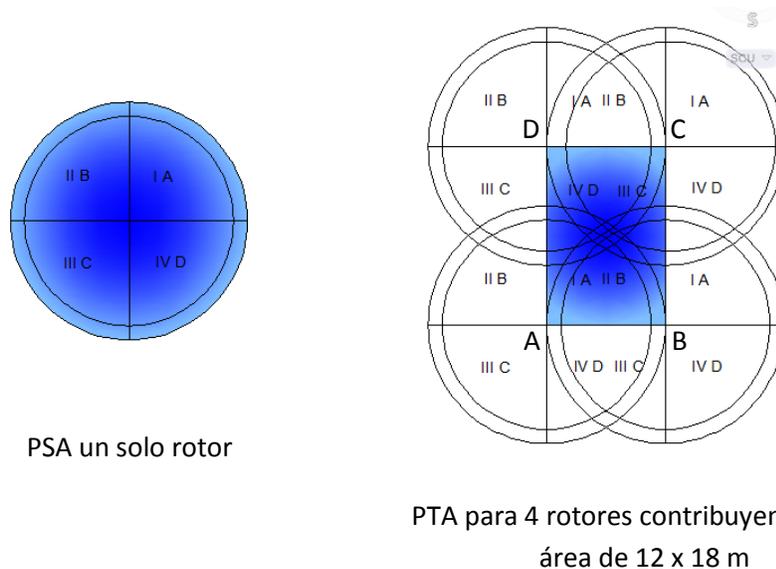


Fig. 3.6 patrón detraslape de aspersión del rotor R33

El PSA es subdividido en 4 cuadrantes luego se hace coincidir el cuadrante, I en orden con el vértice A, el cuadrante II con el vértice B, el cuadrante III con el vértice C y el cuadrante IV con el vértice D. el arreglo de lecturas permite apreciar la contribución de los rotores vecinos de la pluviometría colectada por bote o colector.

El gasto de los emisores y Las láminas precipitadas sobre colectores dispuestos a cada 3 m, fueron del orden de los 18 ml hasta los 79 ml al operar el sistemadando un giro completo continuamente durante 1 hora 40 minutos aproximadamente. La rutina del modelo matemático fue resuelta en Excel para obtener las láminas aplicadas por los rociadores y luego se traslaparon los patrones simples de aspersión, para predecir la lámina precipitada por colector simulado a un espaciamiento de 12m x 12m; 12m x 15m y 12m x 18m.

La lámina promedio observada en campo en una prueba con colectores fue de 50 mm sin traslape de líneas.

El modelo utilizado para el análisis de los datos es muy fácil de realizar en una hoja de cálculo de Excel, ya que se basa en datos estadísticos los cuales proporciona la hoja de cálculo introduciendo el comando en las celdas.

=promedio (xn:yn)

Dónde:

Xn= número de celda inicial

Yn= número de celda final

		A	B	C	D
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88	1	33	18	22	18
89	2	51	47	50	40
90	3	43	75	65	63
91	4	40	82	72	71
92	5	65	62	63	70
93	6	44	41	46	79
94	7	48	47	47	55
95	8	36	48	47	30
96					
97					

Fig. 3.6 imagen del modo de calcular las variables para la ecuación a utilizar
 Para obtener la desviación estándar en la hoja de cálculo de Excel solo basta con introducir la formula

$$= \text{desvest}(x_n:y_n)$$

Dónde:

X_n= número de celda inicial

Y_n= número de celda final

		A	B	C	D
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88	1	33	18	22	18
89	2	51	47	50	40
90	3	43	75	65	63
91	4	40	82	72	71
92	5	65	62	63	70
93	6	44	41	46	79
94	7	48	47	47	55
95	8	36	48	47	30
96					
97					
98					

Fig. 3.7 imagen del cálculo de desviación estándar utilizada en el modelo de Wilcox

	A	B	C	D
1	33	18	22	18
2	51	47	50	40
3	43	75	65	63
4	40	82	72	71
5	65	62	63	70

Fig. 3.8 Cuadro de pluviometría recolectada en campo colocando dos rotores (R33)

	A	B	C	D	E
1	15	12	6	8	
2	32	31	38	38	
3	38	50	57	40	
4	WR33	67	55	62	WR33
5	60	63	59	82	
6	47	56	39	44	
7	27	44	44	22	
8	15	21	16	18	

Fig. 3.9 Cuadro de pluviometría recolectada en campo colocando dos aspersores (WR33)

3.10 validación del modelo

La validación del modelo verifica que las estimaciones en los parámetros, los supuestos del modelo y la lógica en la programación resulten congruentes con las observaciones de campo. La desviación encontrada entre datos observados y la predicción del modelo, se puede apreciar en la siguiente gráfica donde se comparan el CU calculado con los datos de los colectores que se colocaron en campo los cuales fueron 16 colectores en total; la prueba de pluviometría se hizo con el fin de calcular el CU parámetro en el cual se basa esta investigación. Este cálculo se hizo para ambos emisores para comparar cual arroja un mejor CU.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Gasto aplicado por las boquillas y presiones de operación

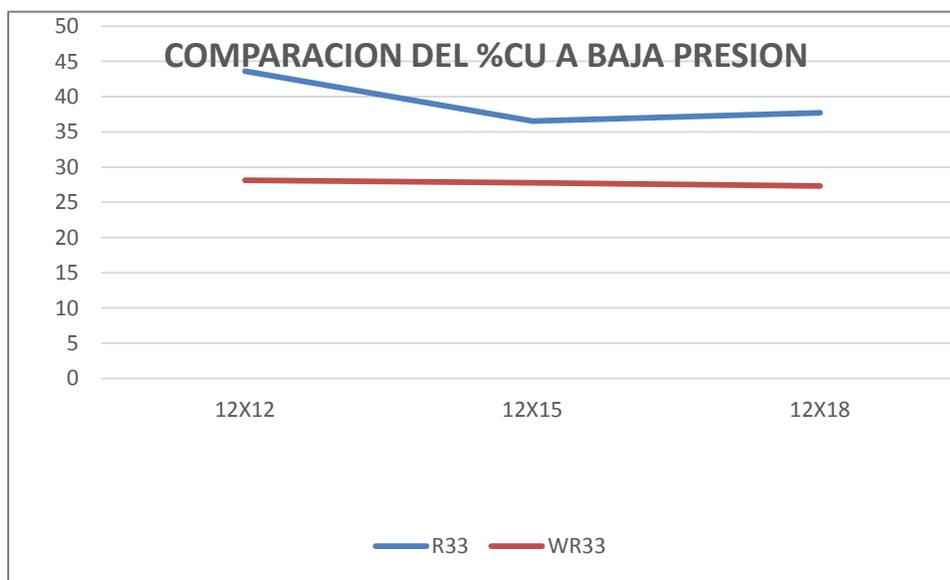
Los rotores R33 de Nelson irrigation arrojaron un gasto de 7.46 GPM/boquilla y la presión tomada en campo directo de las boquillas de los rotores, fue de 44 psi la cual se mantuvo constante durante el periodo de tiempo que se mantuvo en funcionamiento el sistema, aunque cabe señalar que hubo ciertas fugas que impidieron llegar a una presión mayor, presión la cual era necesaria para obtener un buen alcance y de esa manera obtener una mejor eficiencia de dichos rotores; por otro lado los aspersores de bronce WR33 de impacto sumando el gasto de ambas boquillas arrojaron un gasto de 8.58 gpm/emisor a una presión de 26.01 psi, esta presión se mantuvo constante durante la duración de la prueba, la presión se mantuvo constante aun con las fugas que el sistema tenía; ahora comparando el CUw del rotor R33 y el aspersor WR33 podemos observar que el aspersor WR33 no tuvo gran diferencia significativa en el CU a comparación del rotor R33. A un traslape de 12m x 12 m el WR33 obtuvo un CUw= 86.34709982% por otro lado a un traslape de igual distancia el R33 obtuvo un CUw=83.51265049% podemos observar que en este traslape hay diferencia de uniformidad, pero insignificante por lo que se acepta la hipótesis Ho; a un traslape de 12m x 15m el WR33 obtuvo un CUw= 84.85944567% y el R33 a un traslape de 12m x 15m obtuvo un CUw= 75.16809339% se puede observar que el aspersor WR33 no ha sido muy superior en este traslape a comparación del rotor R33, por lo que se acepta nuevamente Ho; ahora aun traslape de 12m x 18m el aspersor WR33 obtuvo un CUw= 78.61602959% mientras que el rotor R33 obtuvo un CUw= 76.38856578% nuevamente podemos observar que no hubo mucha diferencia en ambos aunque el aspersor WR33 es mayor por un 2% por lo que se acepta Ho concluyendo que cualquiera de los dos emisores puede ser utilizado en un Powerroll ya que su CUw no es significativamente diferente, esto es haciendo referencia en cuanto a uniformidad; en cuanto a costo sería más recomendable utilizar el rotor R33 ya que es más económico que el WR33

4.2 Comparación de los CU del aspersor WR33 Vs rotor R33

En la siguiente gráfica o figura, se puede observar la comparación de los CU de cada emisor gracias a esta grafica podemos notar como varía dicho CU en

cada traslape al que se sometieron los emisores y así poder observar cual es mejor en el campo de acuerdo, a las pruebas que se realizaron para ambos

Grafica. 4.1 comparación del CUW del rotor R33 contra el aspersor WR33



Grafica 4.2 comparación del CUW del rotor R33 vs el aspersor WR33 (Quintero)

4.3 Comparación de la pluviometría del R33 Vs WR33 en una malla para ver las zonas con mayor almacenamiento

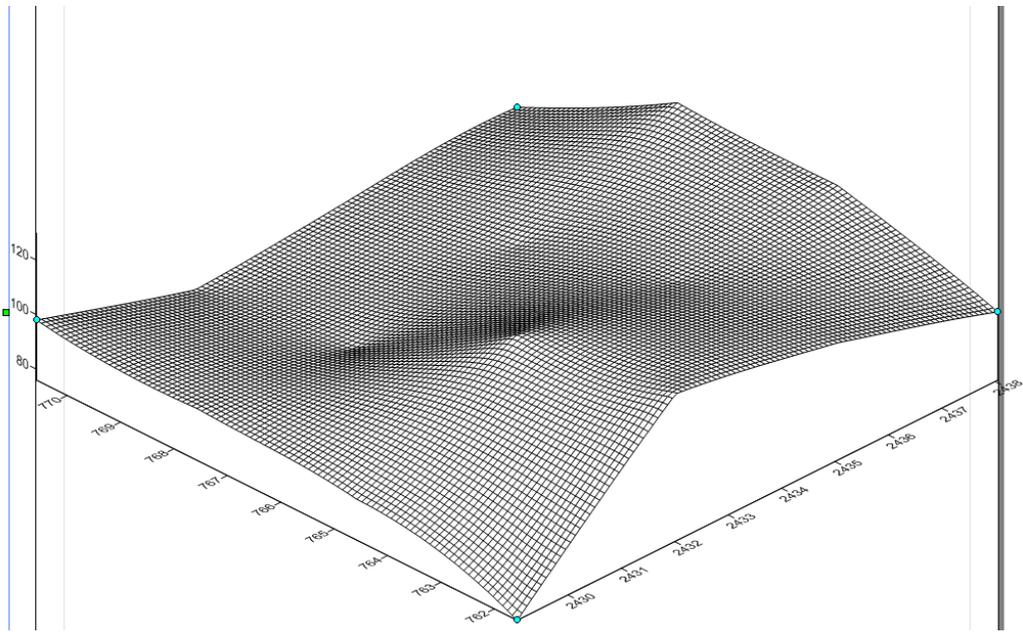


Fig.3.7Pluviometría del rotor R33a un traslape de 12m x 12m

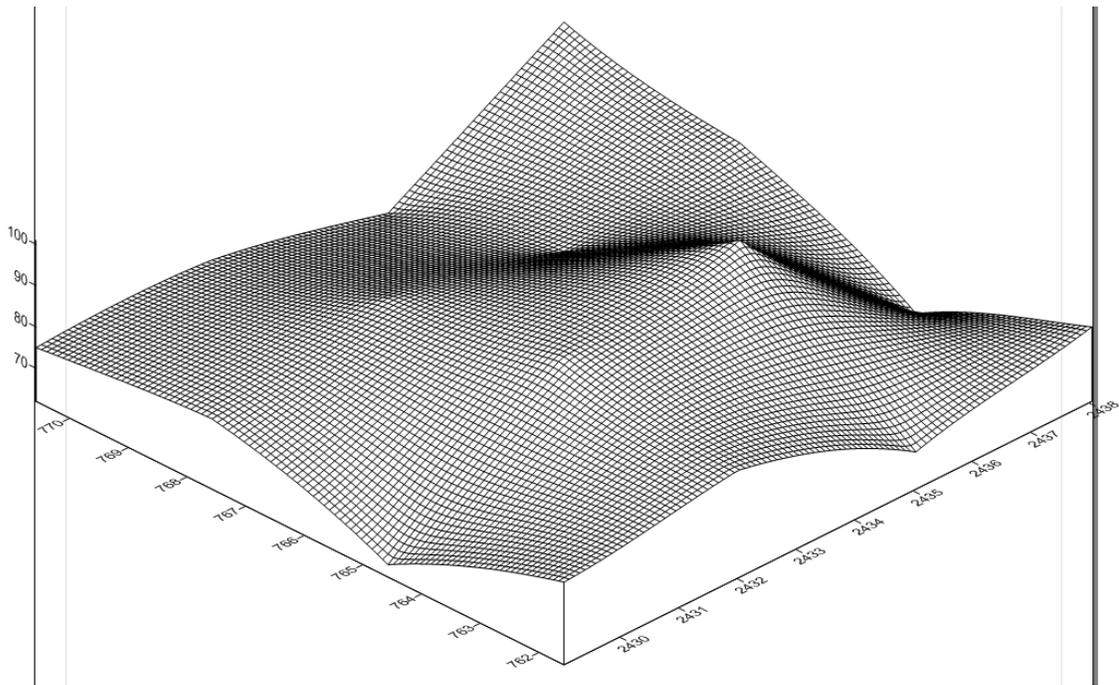


Fig.3.8Pluviometría del aspersor WR33a un traslape de 12m x 12m

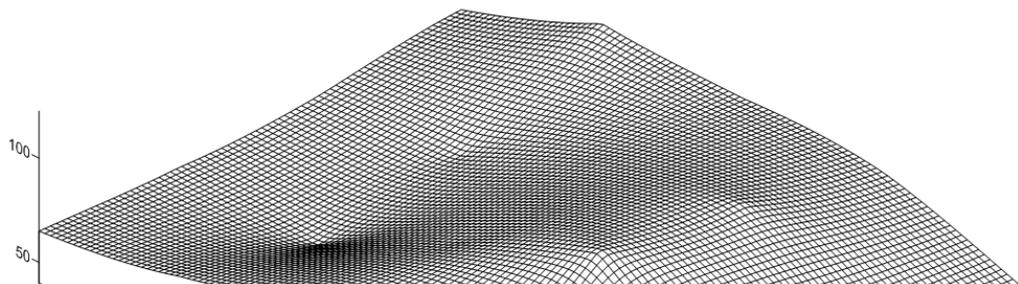


Fig. 3.9 Pluviometría del rotor R33 a un traslape de 12m x 15m

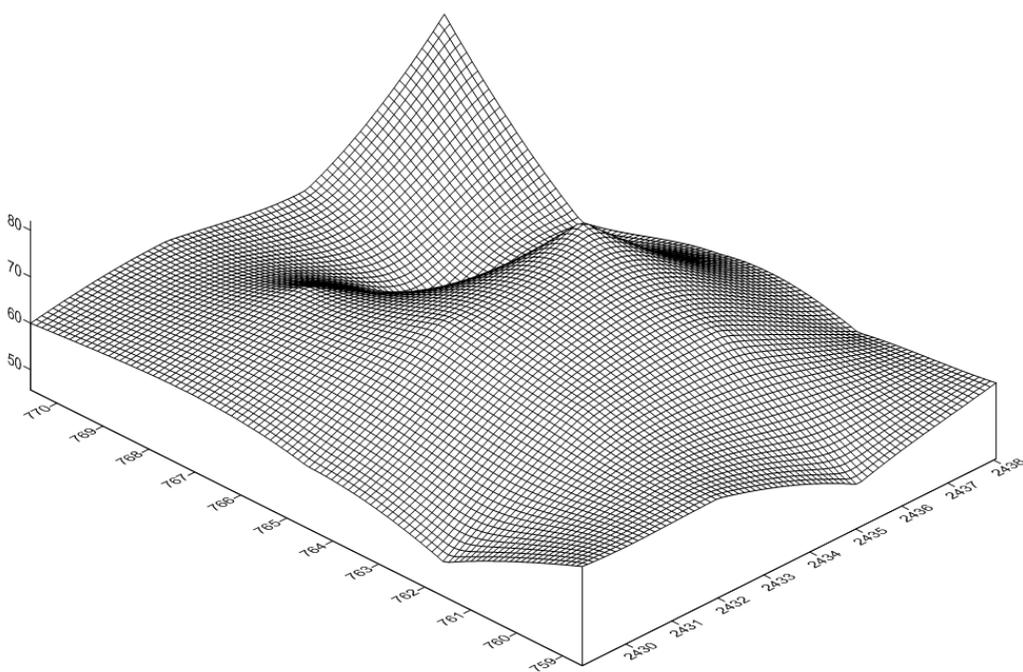


Fig. 4.0 Pluviometría del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 15m

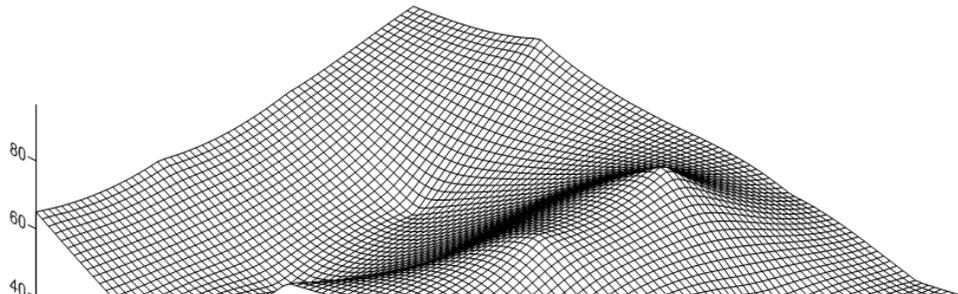


Fig. 4.1 Pluviometría del rotor R33 a un traslape de 12m x 18m

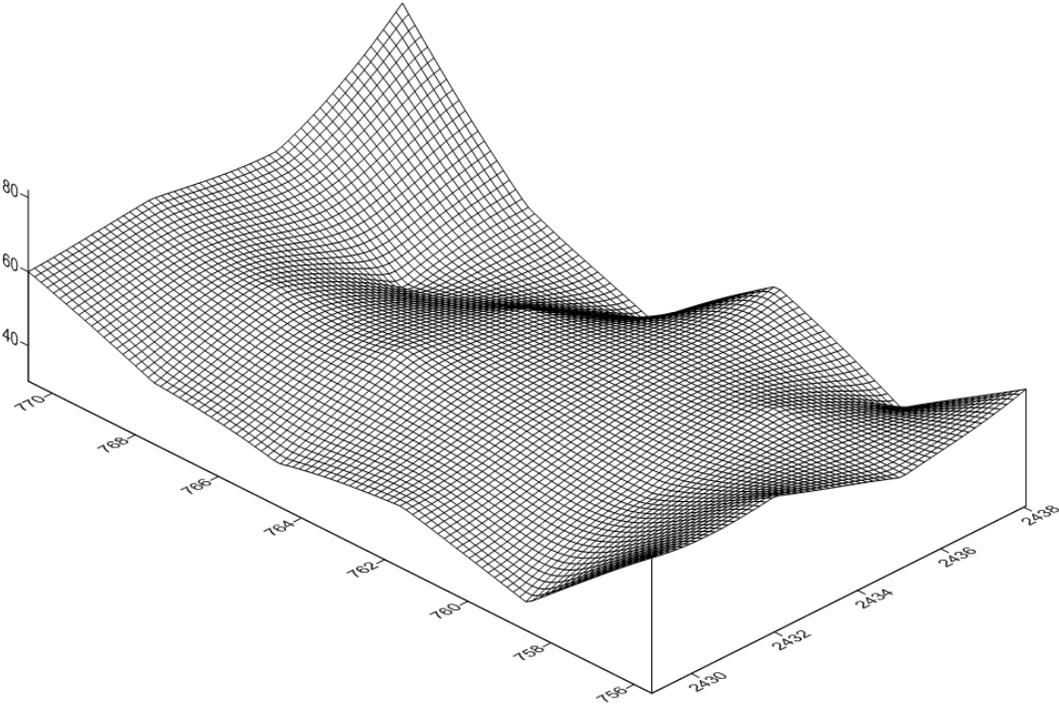


Fig. 4.2 Pluviometría del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 18m

4.4 Comparación del patrón de mojado del R33 Vs WR33

A continuación se muestran mapas del patrón de mojado de cada emisor, para comparar cual tuvo mejor uniformidad de acuerdo a los datos que se recolectaron durante la prueba de campo

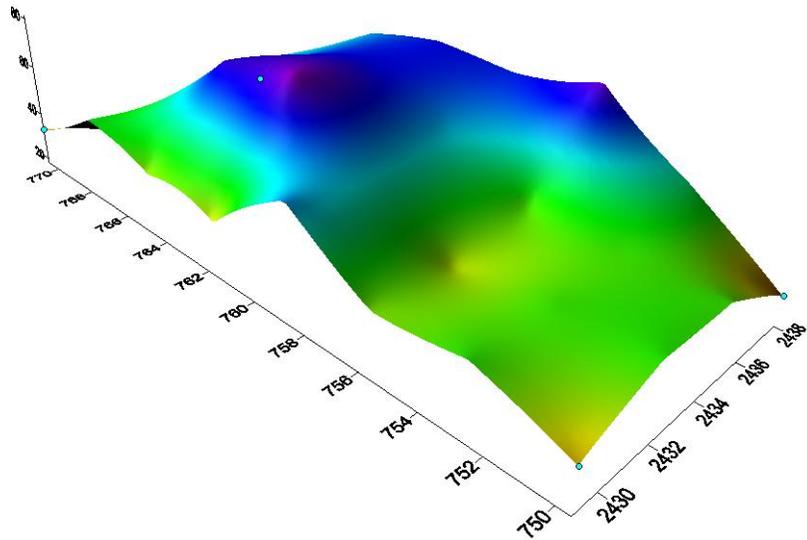


Fig. 4.3 Mapa de recolección de lluvia durante la prueba del rotor R33

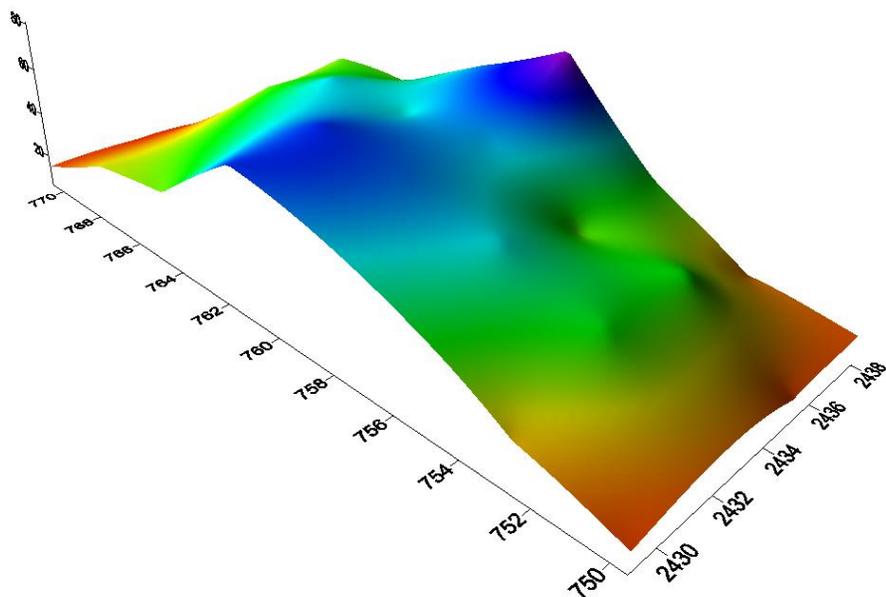


Fig. 4.4 Mapa de recolección de lluvia durante la prueba del aspersor WR33

En las figuras siguientes se muestra una comparación del patrón de mojado entre el aspersor WR33 y el rotor R33 aun traslape de 12m x 12m

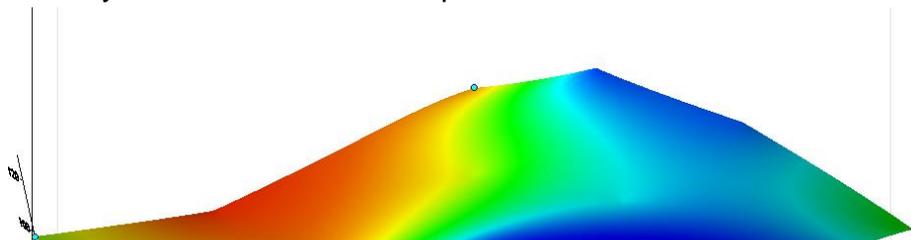


Fig. 4.5 Mapa del patrón de mojado del rotor R33 a un traslape de 12m x 12m

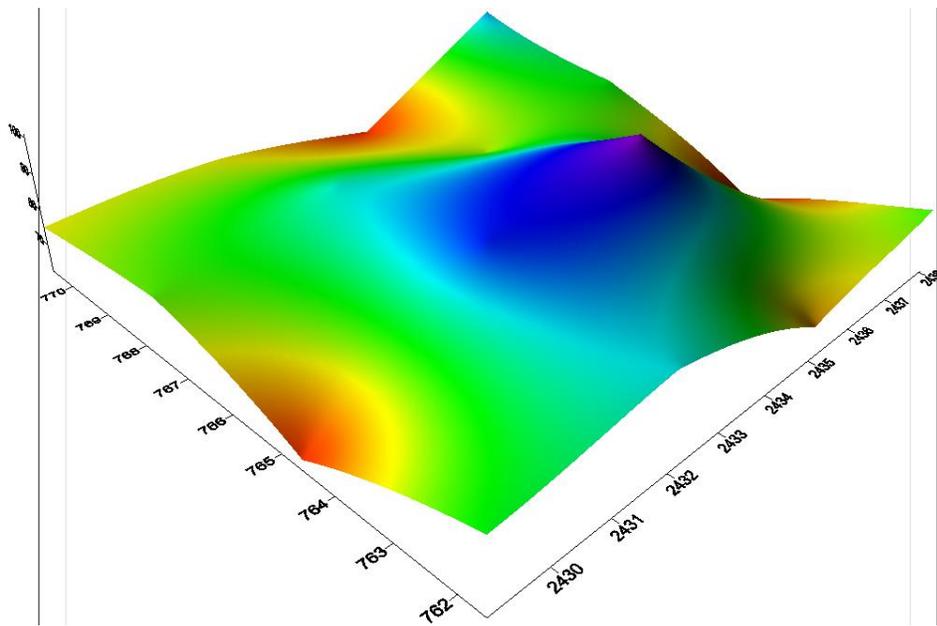


Fig. 4.6 Mapa del patrón de mojado del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 12m

En las figuras siguientes se muestra una comparación del patrón de mojado del aspersor WR33 y el rotor R33 a un traslape de 12m x 15m

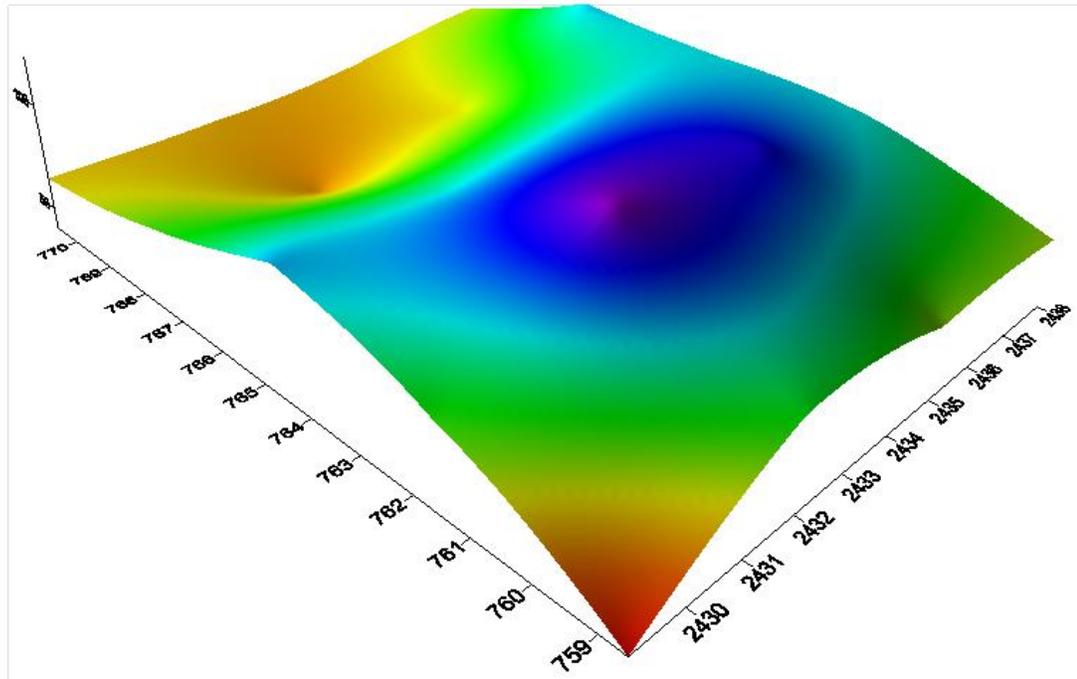


Fig. 4.7 Patrón de mojado del rotor R33 a un traslape de 12m x 15m

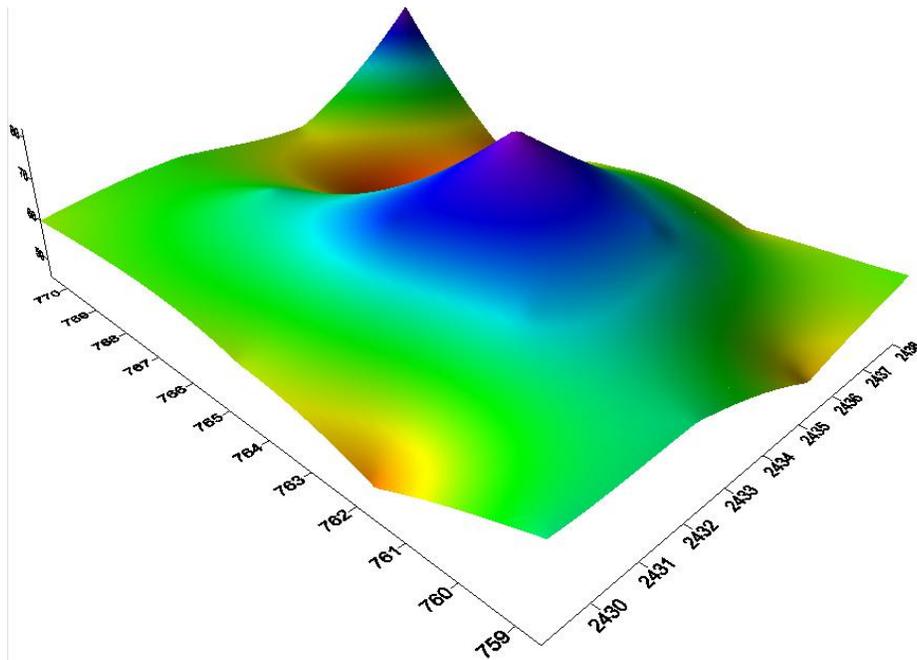


Fig. 4.8 Patrón de mojado de los aspersor WR33 a un traslape de 12m x 15m

En las figuras siguientes se muestra una comparación del patrón de mojado del aspersor WR33 y el rotor R33 a un traslape de 12m x 18m

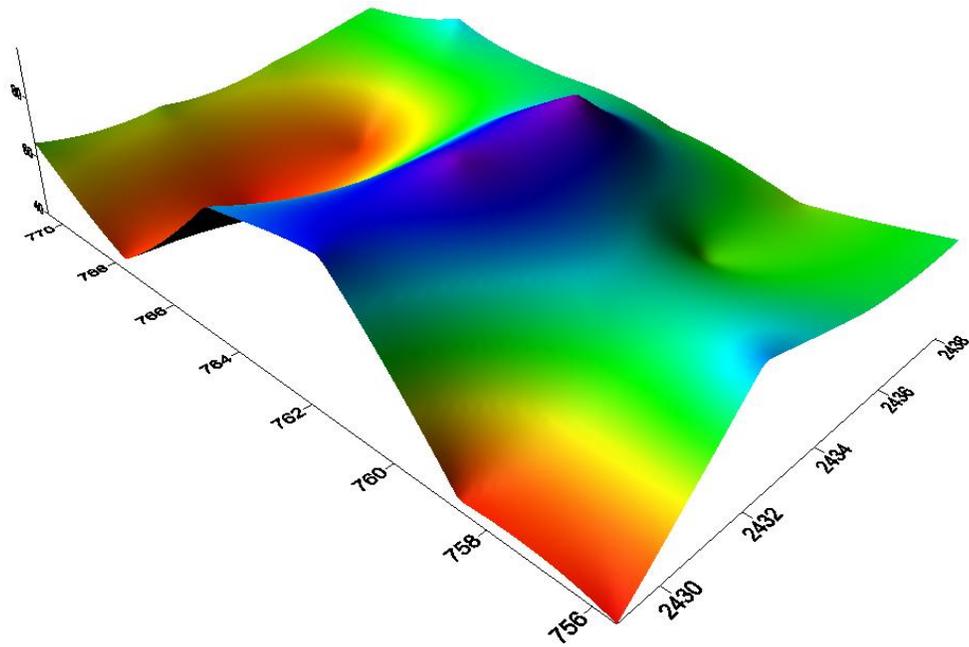


Fig.4.9 Patrón de mojado del rotor R33 a un traslape de 12m x 18m

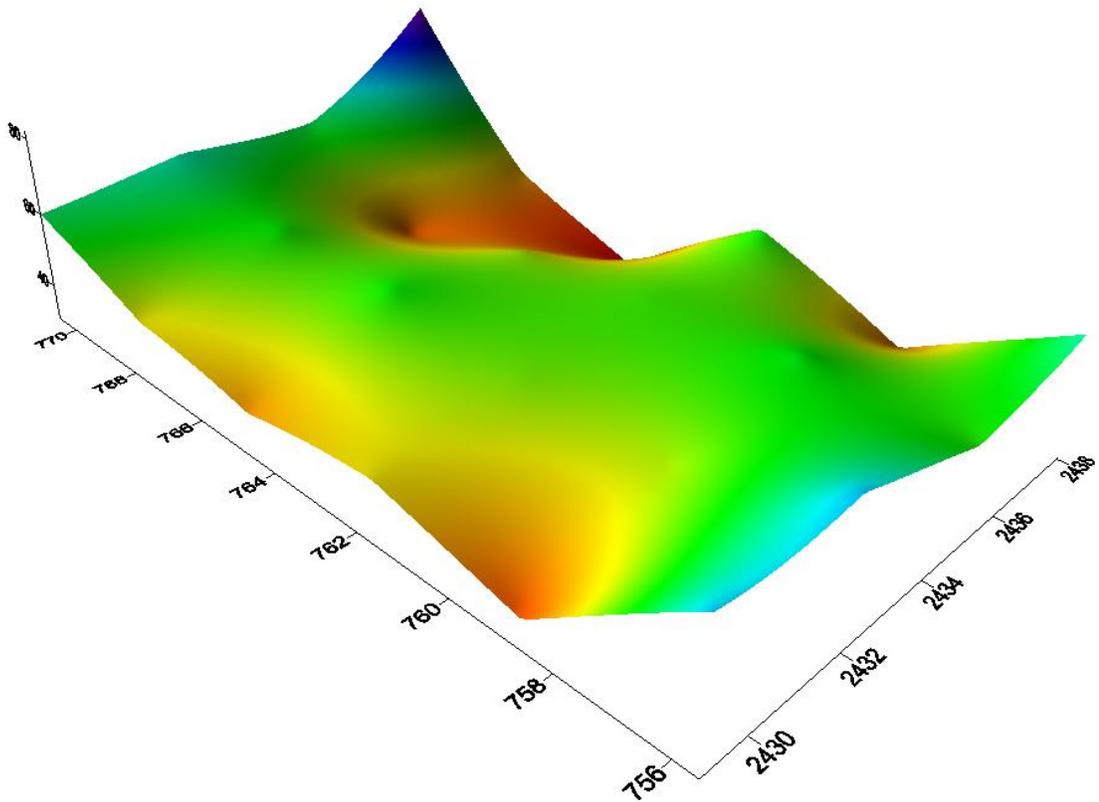


Fig.5.0 Patrón de mojado del aspersor WR33 a un traslape de 12m x 18m

4.5 Resultados de la validación del modelo

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis del modelo con respecto a los datos de los emisores para los cuales propusimos dos hipótesis, una nula y la hipótesis alternativa de las cuales una se aceptaría de acuerdo con el resultado del análisis, dicho esto y de acuerdo a los resultados se acepta H_a (la hipótesis alternante) la cual asumía que “el %Cu del rotor WR33 de Nelson es mucho mayor que el aspersor R33 de Wade Rain”.

V. CONCLUSIONES

Los fundamentos del modelo son la ecuación de la elipse, la pluviometría del patrón simple de aspersión para cada emisor y el método del elemento finito para visualizar el traslape de los perfiles individuales, los coeficientes de uniformidad obtenidos en ambos emisores no variaron con gran significancia, pero más sin embargo si hubo una pequeña diferencia entre ambos, por lo cual se haría preferencia del uso al emisor WR33 de Wade Rain, aunque por su costo no sería muy recomendable por lo cual se podría dejar como segunda opción al rotor R33 de Nelson.

En 3 simulaciones de traslapes de 3 realizadas, se aceptó la hipótesis nula (H_0 :el %Cu del rotor WR33 de Nelson es semejante que el aspersor R33 de Wade Rain”).

El modelo de Wilcox resultó altamente confiable en sus predicciones como ha quedado demostrado en otros estudios, por lo cual se recomienda su aplicación en la evaluación del coeficiente de uniformidad para cualquier tipo de emisor. Por lo que podemos concluir que cada emisor resulta apropiado según la circunstancia y la preferencia del usuario

VI.BIBLIOGRAFIA

- Briones Sánchez Gregorio e Ignacio García Casillas. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y Goteo., Editada por la UAAAN. Pág. 183-196.
- <http://books.google.com.mx/books?id=wj8hutmvvuAC&pg=PA129&dq=uniformidad+de+riego+por+aspersion&hl=es-419&sa=X&ei=3lb6UpLDK4r-2gWu24DwDQ&ved=0CC8Q6AEwAQ#v=onepage&q&f=false>
- http://grupodiagro.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=81
- http://sistemasderiegowr.mex.tl/357599_WADE-RAIN-SISTEMAS-DE-RIEGO.html
- http://tesis.ula.ve/postgrado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5979
- http://tesis.ula.ve/postgrado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5979
- <http://www.actaf.co.cu/riego-y-drenaje/4849-en-riego-por-aspersi%C3%B3n--simulaci%C3%B3n-de-la-distribuci%C3%B3n-de-agua-bajo-diferentes-condiciones-de-viento-y-espaciamiento-de-los-aspersores.html>
- http://www.nelsonirrigation.com/media/general/R33brochure_SP.pdf
- <http://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/rotator-r33-de-nelson>
- *Jesús Montero Martínez. 2000. Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario: desarrollo del modelo de simulación de riego por aspersión., tesis de doctorado., editada por la universidad de castilla- la mancha., pág. 10*

- José María Tarjuelo Martín-Benito, 1991, "el riego por aspersión diseño y funcionamiento"; ediciones de la universidad de castilla-la mancha, pág. 129
- TARJUELO, J. M. El riego por aspersión y su tecnología. EditorialMundi-Prensa. 2da Edición, 200-491, 1999.
- u.jimdo.com/.../Linea+de+Aspersión+Rex+Irrigación+Toluca.pdf?...
- www.irridelco.mx/side_roll_caracteristicas.html
- www.pacific-irrigation.com/sideroll.html
- www.slideshare.net/juanhurs1/calculos-de-coeficiente-de-uniformida

APENDICE

Formato 1. Formato de registro de datos para una prueba de uniformidad de distribución en un sistema de riego por aspersión estacionario

Fecha: _____

- 1.- localidad: _____, observador: _____
- 2.- cultivo: _____, profundidad de la zona radicular _____ cm, lamina de riego neta, Zrn _____ mm.
- 3.- suelo: textura _____, humedad disponible _____ mm/m, Deflexión actual de la humedad en el suelo, Zd _____ mm,
- 4.- aspersor: _____, modelo: _____ boquilla: _____.
- 5.- espaciado de los aspersores: _____, duración de la prueba: _____
- 6.- descarga nominal del aspersor: _____ GPM a _____ psi proporcionando una intensidad de precipitación de: _____ pul/hora= _____ mm/hora.
- 7.- lateral (tubería regante) diámetro: _____ pul, #total de aspersores: _____, tipo de sistema: _____, pendiente topográfica: _____% altura del elevador: _____ cm.
- 8.- presión actual de los aspersores y aforo de la descarga.

Numero de posición del aspersor sobre la lateral de prueba

	1	2	3	4	5	6	ultimo
Presión inicial (psi)							
Presión final (psi)							
Vol. Aforado (Its.) Tiempo de colectado (min.)							
Descarga (Its./min)							
Elevación topográfica(metros) relativa a hidrante							

9.- viento dirección relativa con respecto a la disposición de la línea regante durante la prueba.

Dirección: al inicio: _____, durante: _____, y al final: _____

Velocidad: al inicio: _____, durante: _____, y al final: _____

10.- datos registrados sobre la cuadrícula de pluviómetros en unidades de _____ ml, relación volumen/altura: _____ ml/cm del colector.

Espaciado de los pluviómetros (recipientes colectores) dispuestos en una cuadrícula de 3m x 3m a uno y a otro lado de la lateral de prueba muestreando la pluviometría bajo la cobertura de los aspersores localizados a un cuadro de longitud de la línea regante.

La presión de los aspersores se mide con un manómetro adaptado a un aditamento pitot. La descarga se afora volumétricamente utilizando una probeta en laterales tipo side roll medir el diámetro de las ruedas.

Prueba de pluviometría hora de inicio: _____, hora de paro: _____

Duración: _____ minutos, = _____ horas.

11.- recipiente evaporímetro: volumen inicial: _____ volumen final _____
perdida: _____ un volumen inicial de agua se coloca en un recipiente fuera del área de prueba para medir las pérdidas por evaporación y viento.

Durante el aforo de los volúmenes colectados, los aspersores se inmovilizan y sus chorros se dirigen fuera del área muestreada para que no se precipite más lluvia dentro de los recipientes.

12.- presión de los aspersores: máxima: _____ psi, mínima: _____ psi
promedio: _____ psi, variación de presión observada: _____ psi.

13.-
comentarios: _____

14.- croquis del sistema de riego y modo de operación.

No. De línea	A	B	C	D
1				
2				

3				
4				
5				
6				
7				
8				

Formato 2. Tablas para la toma de datos durante la prueba de los emisores evaluados

Volumen recolectado (ml)					
No. De línea	distancia	A	B	C	D
1	12				
2	9				
3	6				
4	3				
5	3				
6	6				
7	9				
8	12				

Coefficiente de uniformidad para el rotor R33 Nelson al traslapar las líneas a una separación de 12m x 12m de distancia entre aspersores

Volumen recolectado en campo (ml)					
No. De Línea	distancia	A	B	C	D
1	12	33	18	22	18
2	9	51	47	50	40
3	6	43	75	65	63
4	3	40	82	72	71
5	3	65	62	63	70
6	6	44	41	46	79
7	9	48	47	47	55
8	12	36	48	47	30

No. De bote	distancia	Traslape de líneas	A	B	C	D
1	3	1-5	98	80	85	88
2	6	2-6	95	88	96	119
3	9	3-7	91	122	112	118
4	12	4-8	76	130	119	101
PROMEDIO	101.125					
DESVEST	16.6728322					
%CU	83.5126505					

Coefficiente de uniformidad para el rotor R33 Nelson al traslapar las líneas a una separación de 12m x 15m de distancia entre aspersores

Volumen recolectado en campo (ml)					
No. De Línea	distancia	A	B	C	D
1	12	33	18	22	18
2	9	51	47	50	40
3	6	43	75	65	63
4	3	40	82	72	71
5	3	65	62	63	70
6	6	44	41	46	79
7	9	48	47	47	55
8	12	36	48	47	30

No. De bote	distancia	Traslape de líneas	A	B	C	D
1	3	5	65	62	63	70
2	6	1-6	77	59	68	97
3	9	2-7	99	94	97	95
4	12	3-8	79	123	112	93
5	15	4	40	82	72	71
PROMEDIO	80.9					

DESVEST	20.0890124	
%CU	77.1013597	

Coefficiente de uniformidad para el rotor R33 Nelson al traslapar las líneas a una separación de 12m x 18m de distancia entre aspersores

Volumen recolectado en campo (ml)					
No. De Línea	distancia	A	B	C	D
1	12	33	18	22	18
2	9	51	47	50	40
3	6	43	75	65	63
4	3	40	82	72	71
5	3	65	62	63	70
6	6	44	41	46	79
7	9	48	47	47	55
8	12	36	48	47	30

No. De bote	Distancia (m)	Traslape de líneas	A	B	C	D
1	3	5	65	62	63	70
2	6	6	44	41	46	79
3	9	1-7	81	65	69	73
4	12	2-8	87	95	97	70
5	15	3	43	75	65	63
6	18	4	40	82	72	71

PROMEDIO 67.4166667

DESVEST 15.9180419

%CU 76.3885658

Coefficiente de uniformidad para el rotor WR33 Nelson al traslapar las líneas a una separación de 12m x 12m de distancia entre aspersores

Volumen recolectado en campo (ml)					
No. De Línea	distancia	A	B	C	D
1	12	15	12	6	8
2	9	32	31	38	38
3	6	38	50	57	40
4	3	67	67	55	62
5	3	60	63	59	82
6	6	47	56	39	44
7	9	27	44	44	22
8	12	15	21	16	18

No. De bote	Distancia (m)	Traslape de líneas	A	B	C	D
1	3	1-5	75	75	65	90
2	6	2-6	79	87	77	82
3	9	3-7	65	94	101	62
4	12	4-8	82	88	71	80
PROMEDIO	79.5625					
DESVEST	10.8625887					
%CU	86.3470998					

Coefficiente de uniformidad para el rotor WR33 Nelson al traslapar las líneas a una separación de 12m x 15m de distancia entre aspersores

Volumen recolectado en campo (ml)					
No. De Línea	distancia	A	B	C	D
1	12	15	12	6	8
2	9	32	31	38	38
3	6	38	50	57	40
4	3	67	67	55	62
5	3	60	63	59	82
6	6	47	56	39	44
7	9	27	44	44	22
8	12	15	21	16	18

No. De bote	Distancia (m)	Traslape de líneas	A	B	C	D
1	3	5	60	63	59	82
2	6	1-6	62	68	45	52
3	9	2-7	59	75	82	60

4	12	3-8	53	71	73	58
5	15	4	67	67	55	62
PROMEDIO	63.65					
DESVEST	9.63696283					
%CU	84.8594457					

Coeficiente de uniformidad para el rotor WR33 Nelson al traslapar las líneas a una separación de 12m x 18m de distancia entre aspersores

Volumen recolectado en campo (ml)						
No. De Línea	distancia	A	B	C	D	
1	12	15	12	6	8	
2	9	32	31	38	38	
3	6	38	50	57	40	
4	3	67	67	55	62	
5	3	60	63	59	82	
6	6	47	56	39	44	
7	9	27	44	44	22	
8	12	15	21	16	18	

No. De bote	Distancia (m)	Traslape de líneas	A	B	C	D
1	3	5	60	63	59	82
2	6	6	47	56	39	44
3	9	1-7	42	56	50	30
4	12	2-8	47	52	54	56
5	15	3	38	50	57	40
6	18	4	67	67	55	62
PROMEDIO	53.0416667					
DESVEST	11.3424143					
%CU	78.6160296					