

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE TRES PAQUETES DE BOQUILLAS EN PIVOTE CENTRAL

Por

LUIS DANIEL COVARRUBIAS LARIOS

Tesis

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo Coahuila, México Junio del 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

"COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE TRES PAQUETES DE BOQUILLAS EN
PIVOTE CENTRAL"

Por:


LUIS DANIEL COVARRUBIAS LARIOS


Tesis

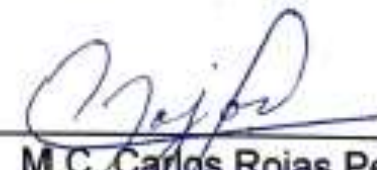
Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN


Aprobada por:


M. G. Gregorio Briones Sánchez
Asesor principal


Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Coasesor


M.C. Carlos Rojas Peña
Coasesor




C. Sergio Sánchez Martínez
Director de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Junio, 2021.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por brindarme la vida, el tiempo, fuerza, y sabiduría para afrontar las pruebas que pone la vida y estar conmigo en los momentos de angustia y desesperación que la misma me puso a prueba día con día en esta etapa de mi vida, por ser mi guía y no dejarme solo.

A MI MADRE

MARIA ESTER COVARRUBIAS LARIOS

Le agradezco por todo el apoyo brindado a ciegas durante mi formación académica, por darme el apoyo de una amiga antes que madre; consejos, enseñanzas y decisiones que nunca juzgó de su hijo, así fuesen malas o buenas, y que de ellas me siento hoy agradecido porque aun fuesen las peores de ahí tomé los aprendizajes que hoy en día me han forjado e hicieron la persona que soy y que eternamente estaré agradecido.

A mi Alma Terra Mater

Por haberme acobijado y recibido al largo de esta trayectoria, darme amigos que me llevo para toda la vida, conocimientos y enseñanzas que me acompañaran para todo la vida y momentos que no se repetirán.

A el M.C. Gregorio Briones Sánchez y a mis asesores

Por ser partícipes de mi formación académica como profesionista, por su tiempo dedicado y esfuerzo en la realización y revisión de la tesis, que sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

A los maestros y personal del departamento de Riego y Drenaje

Por sus conocimientos y enseñanzas otorgadas a lo largo de estos años que me fueron otorgados durante mi formación académica, por su confianza y algunos su amistad.

DEDICATORIA

Dedico principalmente y con todo mi amor y cariño a mi amada abuela y madre:

Elva Larios Ramos

Quien me acompaño a lo largo de veintidós años y a pesar de su partida me dejó como enseñanza que en la vida nada es regalado, que, con esfuerzo, dedicación y empeño, y a pesar de los obstáculos, críticas, desprecios; los sueños y metas se cumplen. Quien a ojos ciegos apostó por quien nadie daba un peso, con credibilidad demostró que confió en mí, cuando nadie más lo hizo, y que cuando llegaba a su casa me recibía con un abrazo reconfortante y un plato de comida, y siempre demostró su cariño y apoyo a su manera como nadie más lo hizo y sabrá hacer. A ella, debí principalmente la conclusión de mis estudios que, sin ella, nada de esto hubiese tenido ni un principio ni un fin, hasta el cielo y su descanso eterno con honor dedico lo que hoy presento.

A mi abuelo:

José Luis Covarrubias Hernández

Por su apoyo incondicional, mi desarrollo profesional y brindarme el apoyo de un padre, por forjarme un carácter de respeto y responsabilidad ante mis hechos, inculcarme el hábito del trabajo y ganarme mis propias cosas y darme su comprensión ante mi decisiones y consejos de las mismas, y hacer de hoy el profesionalista que soy, de las cuales siempre estaré agradecido, Gracias.

A mis amigos y hermano:

Cristian Romero, Iván Santiago, Juan Celis, Oscar López, Josué Covarrubias

Por brindarme una amistad interna y externa a mis estudios profesionales, pero que aun así contribuyeron a concluir mi formación profesional y estuvieron en los momentos más difíciles e inolvidables en mi estancia universitaria.

A mi novia:

Aide Adriana Alcalá Hernández

Con amor y cariño por estar conmigo en los momentos buenos y malos, por apoyarme y brindarme su comprensión y apoyo interna y externamente, la cual llevaré siempre en recuerdo y estaré agradecido.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
RESUMEN	10
SUMMARY	12
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS	17
HIPÓTESIS.....	17
REVISIÓN DE LITERATURA	18
Origen del pivote central	18
Características	19
Función	20
Descripción.....	21
Unidad central o punto pivote	22
El lateral de riego	22
Las torres	23
Sistema de alineamiento	24
Automatismos	24
Emisores	25
Bajantes.....	26
.....	27
Rotor R3000 Nelson	27
Platos.....	29
Boquillas 3TN	29
Ventajas y desventajas del equipo	30
Ventajas.....	31
Desventajas:	31

Manejo del pivote central.....	32
Aplicación de agua y tasa de infiltración.....	34
Consideraciones de diseño.....	35
Uniformidad del riego en pivote central	36
Coeficientes de Uniformidad.....	37
MATERIALES Y METODOS	38
Localización.....	38
Materiales y equipos requeridos para la prueba de uniformidad	39
Metodología de la prueba de uniformidad.....	40
Formula de coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
Tendencias mostradas a lo largo de la tubería pivote.....	48
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIÓN	61
BIBLIOGRAFIA.....	62
APENDICE	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Sistema de riego tipo pivote central.....	21
Figura 2.- Punto pivote.	22
Figura 3.- Lateral de pivote central.....	23
Figura 4.- Torre de pivote central.	23
Figura 5.- Sistema de alineamiento.	24
Figura 6.- Tablero controlador eléctrico.....	25
Figura 7.- Rotor Nelson R3000.....	26
Figura 8.- Bajantes de pivote central en operación.....	27
Figura 9.- Boquilla 3TN para rotor R3000.....	30
Figura 10.- Esquema de ejemplos de aprovechamiento del área en equipos individuales y agrupados.....	33
Figura 11.- Esquema de intensidad de aplicación y tiempos de humedecimiento según posición relativa al centro, a lo largo del lateral.	34
Figura 12.- Esquema de interacción entre la infiltración y tasa de aplicación de agua. La zona acucharada corresponde a agua que el suelo no es capaz de infiltrar y potencialmente puede escurrir.	35
Figura 13.- Esquema de la uniformidad del riego que el fabricante oferta para los tamaños de boquillas sometido a diferentes presiones a 6 pies de altura.....	38
Figura 15.- Esquema de prueba de pluviometría en pivote central.....	41
Figura 16.- Curvas de evapotranspiración para maíz y trigo en Coahuila.....	42
Figura 17.- Comparación de la pluviometría estimada y observada en la tubería pivote WR800 de la UAAAN Campus Saltillo Paquete #1 actual de boquillas.....	48
Figura 18.- Esquema de aspersión ofertada por el fabricante con diferentes platos y sus rangos de presiones y altura.	50
Figura 19.- Distribución de la pluviometría estimada y observada en el paquete #2 aplicando $Q = 4$ Lps (62.8 GPM), timer en 10%, $w=0.18$ radianes/hora.	51
Figura 21.- Cuerpo completo de rotor R3000.....	52
Figura 20.- Bajante, contrapeso y regulador de presión.....	52
Figura 22.- Rotor R3000 en operación.....	53
Figura 23.- Accesorios de funcionamiento para rotor R3000.....	53

Figura 24.- Comparación de la pluviometría estimada y observada en la tubería pivote WR800 de la UAAAN Campus Saltillo con el paquete de boquillas #3 opcional, $w=0.18$ radianes/hora, Coeficiente de Uniformidad CUH=77%..... 54

Figura 25.- Curvas de comportamiento de motobomba industrial trifásica eléctrica con motor de 5 HP. 57

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Coeficiente de uniformidad para diferentes sistemas de riego.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2.- Evapotranspiración pico diaria en mm/día. Para varios climas.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3.- Tiempos y velocidades de operación para cubrir el área del pivote a medio giro.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4.- Paquetes de boquillas seleccionados para diferentes gastos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5.- Error en la estima de las 3 pruebas efectuadas.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6.- Rangos de %CUH y su clasificación.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7.- Paquete de boquillas utilizado para prueba de 47 GPM</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 8.- Paquete de boquillas utilizado para prueba de 62.8 GPM</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9.- Paquete de boquillas utilizado para prueba de 78 GPM</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 10.- Laminas de aplicación del pivote a diferentes porcentajes de velocidad en timer.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11.- Datos recolectados en prueba de 3 lps para cálculo de %CUH.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 12.- Datos recolectados en prueba de 4 lps para cálculo de %CUH.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 13.- Datos recolectados en prueba de 5 lps para cálculo de %CUH.</i>	<i>65</i>

COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE TRES PAQUETES DE BOQUILLAS EN PIVOTE CENTRAL.

RESUMEN

El nivel tecnológico utilizado en la aplicación de agua a los cultivos depende directamente de los recursos disponibles y de los beneficios que son posibles de obtener al optimizar dichos recursos. Sin embargo, el uso de un mayor nivel tecnológico permite garantizar un mejor control de algunos de los factores que afectan el rendimiento de los cultivos y con ello disminuir los riesgos producto de las fluctuaciones de dichos factores (Becerra, 1995).

Los objetivos de este estudio son mejorar la uniformidad de la pluviometría y aumentar la eficiencia de reposición del riego por medio del reajuste de las boquillas del pivote central WR800 de Wade Rain, instalado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

La evaluación de dicho pivote surge de la necesidad de validar en campo los parámetros reales de funcionamiento. Debido a que las condiciones de disponibilidad de agua en el plantel son bastantes restringidas, lo que se toma como una limitante para el establecimiento de cultivos y su producción y por ende la puesta en marcha del sistema, ya que eran ineficientes sus resultados debido a un insuficiente mojado del suelo lo que agrava el déficit hídrico en los cultivos, especialmente en las épocas de sequía.

Con una variación seleccionada del emboquillado ajustado para cada prueba, estas fueron en 3, 4 y 5 litros por segundo. Analizando la pluviometría estimada contra la observada en campo, colectando la lámina precipitada por cada aspersor, a una misma velocidad de avance; comparando su coeficiente de uniformidad ofertado por la empresa fabricante contra los datos recabados buscando un incremento de eficiencia y uniformidad en esta, los cuales fueron evaluados y aceptados o en su contrario rechazados mediante el coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein expresado en porcentaje. Al hacer las pruebas correspondientes los resultados muestran que 1 de las 3 pruebas es la única que presenta una clasificación

REGULAR con un %CUH del 80.18% en un gasto del sistema de 62.8 gpm o bien 4 lps, dicha clasificación da como resultado que el sistema está en un uso eficiente y en buenas condiciones de funcionamiento, en el cual solo se tendrían que realizar mantenimientos preventivos.

Las pruebas se efectuaron en diferentes días, por lo que distintos factores son de suma importancia para el criterio y captura de datos. Entre ellos uno de los más importantes es la velocidad del viento, ya que en condiciones de altos parámetros puede alterar los datos debido a que la pluviometría de los emisores puede ser dispersa en menor cantidad y a su vez registrar menos cantidad en alguno de los botes colectores.

Las tres pruebas se realizaron a una velocidad del 10% y gracias a los reguladores de presión de los rotores se mantuvo una presión de salida de 15 PSI en cada uno.

Obteniendo como resultado, cual es el caudal óptimo en conjunto con el paquete de boquillas seleccionado, para el mejor aprovechamiento del sistema de riego tipo pivote central.

Para esta prueba fueron colocados 40 pluviómetros en una línea recta, estos con diámetro de 11 cm (aprox) y altura de 7.4 cm (aprox), fijados en estacas de madera de 65 cm.

Los datos recolectados muestran una validez del experimento en un caudal de 4 lps, de acuerdo a sus parámetros de aceptación se toma como REGULAR, por lo que el paquete de boquillas seleccionadas por su código de colores es el que brinda al equipo una mayor eficiencia, que en conjunto con el plato marrón con el que cuenta el rotor, se recomiendan el establecimiento de cultivos como: Maíz, trigo, heno y forraje, papas, cebollas, remolacha azucarera. Estos entre los cultivos recomendados de acuerdo al proveedor Nelson.

Palabras clave: Pivote central WR800, prueba de pluviometría, paquete de boquillas, lamina precipitada, coeficiente de uniformidad.

COMPARING AND CHOOSING OF THREE NOZZLE PACKAGE IN A CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM

SUMMARY

The technological level used on the water appliance on the crops depends directly on the available resources and the obtainable possible benefits are directly based on the way those resources are optimized. Otherwise, the use of a higher technological level allows a better control guarantee of some critical factors that may affect crops performance, this reduce all fluctuation product risks from all these factors. (Becerra, 1995).

As main objectives of this study, we can find an improvement on the pluviometry uniformity and get a better efficiency on the irrigation reposition by a WR800 Wade Rain central pivot system nozzle reposition, installed at Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), located at Buenavista Saltillo, Coahuila México.

The evaluation of this system, born with the necessity to validate on camp real parameters of this system functionality. Due to the availability of water conditions which are highly restricted, shows a limitation for crops establishment and its production and for consequence, the system functionality; for all the situations mentioned above, final results of this system were inefficient because of a poor ground wetness, this aggravates corps hydric deficit, especially on drought season.

With a selected nozzle adjusted variation for each proof, we can find three, four and five liters per second. Analyzing the estimated pluviometry versus the ones observed on camp, collecting the precipitated sheet for each sprinkler at the same forward speed; comparing each uniformity coefficient offered by the maker company versus the collected data looking for an efficiency improvement and uniformity, which were evaluated and accepted or rejected taking in consideration Heerman & Hein's uniformity coefficient (expressed as a percentage). After making proofs, results show one of each three proofs is the only one presenting a REGULAR classification with a HCU% of 80.18% on a 62.8 gpm o well, 4lps; said classification shows the system

is efficient and in good functional conditions. In this system only preventive maintenance is needed.

Proofs were taken on different days, whereby different factors are highly important for capture and criteria in the data collection. As one of the most important factors we can find wind speed, because in high parameters conditions may alter data because emissors pluviometry may be scattered in less quantity and the same time register less quantity in some of collector containers.

Three proofs were made in a 10% speed and because of pressure regulators of the rotor maintained a 15 PSI outer pressure for each one.

Obtaining as a result the right flow with the nozzle package chosen, for the best usage of the central pivot irrigation system.

For this proof 40 collector containers were placed on the ground following a straight line, these collector containers were approximately 11cm (diameter) and 7.4 cm (height), fixed on 65 cm wood stakes.

Collected data show an experiment validation for a four lps flow, according to the acceptation parameters it is taken as REGULAR, therefore the nozzle package, selected for its color code, giving the package a higher efficiency, which on the whole with the rotors brown plate establishment for corps as corn, weath, forage, potato, onion and sweet beet are recommended according the supplier Nelson.

Key words: WR800 central pivot, pluviometry proof, nozzle package, flow, precipitated sheet, uniformity coefficient.

INTRODUCCIÓN

El riego por aspersión permite aplicar el agua en forma de lluvia sobre la planta. El agua es conducida por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se rompe en muchas gotas que caen sobre el suelo.

Un pivote central es un sistema de riego móvil, con un lateral que rota alrededor de un punto fijo o pivote. En este punto fijo se ubica la toma de agua, la que generalmente es bombeada desde una estructura de acumulación ubicada fuera del perímetro de riego.

El concepto básico del pivote central consiste en llevar el agua de riego hasta los cultivos mediante una tubería metálica, generalmente de acero galvanizado o aluminio, la que es montada sobre torres de metal que se mueven sobre conjuntos de ruedas, de modo que el pivote gira en círculos manteniendo uno de sus extremos fijos en el centro del campo. A todo lo largo de la tubería cuelgan aspersores, distribuidos de acuerdo a los requerimientos, cuyas cabezas de riego pueden ser ubicadas a distancias variables del suelo.

Los pivotes centrales la tasa de aplicación de agua dependerá del caudal de agua que es bombeado a través del sistema por unidad de tiempo y de la velocidad a que se mueve el pivote. Se llama 'tiempo de aplicación' al tiempo que toma asperjar cada lugar del campo y este depende del radio a que los aspersores tiran el agua. A una velocidad determinada de giro, en tanto mayor sea el radio de aspersión por más tiempo cada punto del campo recibirá agua.

Cuando aparecieron los pivotes se usaban aspersores de impacto de alta presión, por lo que el tiempo de aplicación era más largo y la tasa de aplicación era más baja dado el mayor radio de los aspersores. Según el especialista en riego de la Universidad de Colorado, Broner (2005), los aspersores de impacto de alta presión y ángulo alto tienen una uniformidad de riego más baja, en especial en condiciones ventosas. Además, con el correr del tiempo la energía se ha hecho más cara y escasa, por lo que la industria comenzó a buscar aspersores de baja presión e

impacto y boquillas pulverizadoras que funcionaran a presiones de 20 o 30 psi (14,06 – 21,09 mca) para lograr ahorrar hasta un 40% de la energía que requerían los sistemas de alta presión.

Se da una proporción inversa entre la tasa de aplicación y el radio de tiro del aspersor utilizado. Mientras más pequeño el radio, más alta debe ser la tasa de aplicación instantánea, ya que es más corto el tiempo de aplicación que recibe cada punto del campo, lo que representa un problema para el radio pequeño de los emisores de baja presión.

La aplicación de agua a baja presión y bajo volumen implica que la misma cantidad de agua debe ser aplicada en un área más pequeña y al aplicar agua al suelo demasiado rápido resulta en escorrentía y erosión, y por tanto se pierde uniformidad de riego. Por esta razón se han diseñado muchas diferentes clases de aspersores y diversas formas de ubicarlos en el pivote, con el fin de incrementar el área de cobertura de cada emisor.

Algunas soluciones se han encontrado en el diseño especial de aspersores que lanzan agua sobre platos deflectores para aumentar el radio y en boquillas giratorias (spinner) que arrojan agua más lejos.

Cuando el pivote central se utiliza para aplicar fertilizantes y pesticidas, la uniformidad de la aplicación se vuelve aún más crítica. En consecuencia, es importante que los propietarios y operadores de pivotes centrales comprueben periódicamente la uniformidad de sus sistemas de riego por aspersión.

Las evaluaciones o verificaciones de estos sistemas son fáciles de hacer y de bajo costo, el cual te ayuda a identificar los problemas que la maquina puede estar teniendo. Al hacer estas pruebas se logra una mayor eficiencia de la máquina, el uso total y adecuado del recurso ya sea para puro riego o en aplicación de fertilizantes y pesticidas, una mejora en la uniformidad de riego para todo el campo y el ahorro de energía que es equivalente a un ahorro económico para el productor.}

El cálculo de la uniformidad de riego es expresado en un porcentaje la cual se obtiene de los datos colectados en campo y usando la fórmula de Hermann y Hein (1968) que es utilizada especialmente para pivotes centrales y el resultado se evalúa en base a el criterio de la uniformidad para llevar a cabo las medidas necesarias para mejorar ese parámetro.

En pruebas anteriores en el pivote central de la UAAAN, se encontraron muchos beneficios de él, como tesis elaboradas por los mismos estudiantes que ahora ejercen la profesión de ingenieros en irrigación. Sin embargo, se percató que en los trabajos de investigación no se llegaba a una conclusión tan importante como lo es el contar con la mayor uniformidad de la pluviometría para este sistema o bien los parámetros de operación que son permitidos en un buen desempeño del sistema y los cuales deben coincidir con la práctica y no solo teóricamente, por lo que en este estudio se busca en base a las investigaciones anteriores que serán tomadas como pilares para poder elevar la eficiencia del pivote, esto en base a un reajuste de selección de boquillas con las que asperja el pivote, buscando el incremento de la uniformidad de la pluviometría, esto ayudando a que los cultivos que se establezcan bajo este sistema tengan un mayor desarrollo o mejor dicho un desarrollo acorde a sus necesidades. Se pretende trabajar con los reguladores de presión de 15 PSI para poder seleccionar un gasto por boquilla que los fabricantes ofrecen a las diferentes presiones con las que se trabajan, en este caso cada bajante cuenta con uno, así que se desprecia el cálculo a favor o en contra de pendientes, o de gastos que pudieran estar variando de acuerdo a la pendiente del terreno.

Anteriormente se efectuaron pruebas de pluviometría simuladas mediante una rutina programada en Excel, ahora bien, sabemos que en campo las condiciones la mayoría de las veces no son tan favorables como en su momento en que se presentan, ya sea por el clima, por desgaste, taponamientos en los rotores, boquillas o en general en los componentes del sistema. Así que se pretende obtener los parámetros reales para el buen funcionamiento de este sistema de riego.

OBJETIVOS

- Comparar la pluviometría calculada contra la observada en campo.
- Comparar la uniformidad a diferentes gastos a una misma presión y velocidad constante; con la selección de boquillas más apropiada.
- Aumentar la uniformidad y mejorar la eficiencia del riego del pivote central por medio del re ajuste de boquillas del sistema.

HIPÓTESIS

Ho: El paquete correctamente seleccionado de boquillas aumenta la uniformidad en el riego por pivote central.

Hi: El paquete mal seleccionado de boquillas disminuye la uniformidad en el riego por pivote central.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del pivote central

A fines de los años 40', en Colorado (EEUU) un agricultor de 55 años llamado Frank Zybach– inventó una manera de dormir tranquilo por las noches. El granjero Zybach patentó su invento, hoy conocido como pivote central, y en la actualidad estos sistemas riegan millones de hectáreas de cultivos agrícolas en todo el mundo.

Enormes economías de mano de obra, mayor rendimiento de los cultivos y seguridad de cosecha, mayor eficiencia en el uso del agua y ahorros en energía y agroquímicos, además de irrigar terrenos que difícilmente podrían ser regados por otros métodos, son algunos de los argumentos que han llevado a los pivotes al estrellato. Comenzaron desplazando al riego tradicional (gravitatorio) pero ahora se sobreponen incluso al riego localizado. Actualmente su uso está muy difundido a nivel mundial, fundamentalmente para el riego de cultivos y forrajeras. A mediados de la década del 90, se comienzan a instalar en nuestro país, totalizando a la fecha, no más de una veintena de equipos, para el riego como maíz y soja fundamentalmente.

Aunque se trata del sistema de riego más antiguo de este tipo, y el que da nombre al grupo de sistemas de mayor actualidad en el mercado, no por eso ha perdido vigencia en la actualidad, representado el 60-70% de las nuevas instalaciones que están realizándose en Castilla y León en las últimas campañas. Miller (1973), se trata de una máquina automática de riego por aspersion, accionada por corriente eléctrica (atrás han quedado los primitivos sistemas hidráulicos), compuesta por una tubería porta emisores, suspendida sobre unas unidades motorizadas llamadas torres, que están alineadas entre sí y que, en conjunto, giran de forma sincronizada alrededor de un centro pivotante o unidad central anclada sobre una plataforma de hormigón. Cada uno de los tramos que forman el Pivote, hasta alcanzar la longitud requerida, es de longitud variable y está compuesto por la tubería de conducción de

agua o porta emisores, en tubos de 11,23 m y/o 5,67, de diámetro variable (4 ½" (114,3 mm), 5" (127 mm), 5 9/16" (141,3 mm), 6 5/8" (168,3 mm), 8" (203,2 mm) y 10" (254 mm), según el caudal requerido por la instalación, y soportados por un armazón metálico de tirantes y diagonales que configuran, junto a la propia tubería, una estructura en celosía triangular auto portante. Todo ello descansa sobre las escaleras y eje de la torre correspondiente, sobre el que va instalado el motorreductor eléctrico que, mediante transmisiones tipo cardan, transmite el movimiento a los engranes de las ruedas y, con ello, del conjunto en sí.

Este tipo de construcción permite adaptar la longitud de la máquina tanto a la planimetría como a la propia orografía de la parcela, realizando una correcta disposición de los tramos de diferentes longitudes de manera que permitan, con la longitud total de la máquina deseada, salvar los desniveles existentes sin que la estructura arrastre, o esté demasiado próxima al suelo, lo que impediría el desarrollo normal de los cultivos, siempre y cuando el tipo de enganche entre tramos permita solventar los ángulos que se forman entre tramos contiguos en estos desniveles.

Hoy, en todo el mundo, son decenas de miles los agricultores que duermen tranquilos, arrullados durante la noche por el zumbido de sus pivotes al regar o que a miles de kilómetros de distancia controlan sus equipos en un PC o teléfono móvil (Figuerola, 2008).

Características

Consiste en llevar el agua de riego hasta los cultivos mediante una tubería de acero galvanizado, montada sobre torres de metal que se mueven sobre conjuntos de ruedas, de modo que el pivote gira en círculos manteniendo uno de sus extremos fijo en el centro del campo. A lo largo de la tubería cuelgan aspersores, distribuidos adecuadamente, a distancias variables del suelo.

La mayoría de los sistemas de riego Pivote son accionados por motores eléctricos conectados a cajas de engranajes en las ruedas de las torres. Ruedas de goma de diversos diámetros y anchos de neumático, que se seleccionan para minimizar la profundidad de las huellas en el campo.

Los operadores pueden mover los pivotes en cualquier dirección, pudiendo alternar dentro del círculo cultivos diferentes con distintos requerimientos de agua y tiempos de riego. (Traxco, 2009)

De estructura rígida y durable, pero versátiles, se los adapta a casi cualquier topografía –con hasta un 30 % de inclinación– sin necesidad de nivelar el terreno y si bien su sello distintivo son las enormes marcas redondas, visibles desde aviones e incluso del espacio, su ingeniería permite adaptarlos a regar –sin pérdida de superficie cultivable– áreas cuadradas o rectangulares.

Pivotes centrales fijos y móviles, con brazo extensible o con cañón de aspersión en la punta, avances frontales ('lineales') con sistema de giro o transportables. Van desde los de una torre –una sección– para regar 20 ha o menos, hasta los de cerca de 20 torres y más de 800 m de largo, capaces de regar 200 ha o más. Se movilizan sobre conjuntos de dos o tres ruedas por torre o hasta cuatro ruedas articuladas, las que incluso pueden usar orugas, de modo de adaptarse a casi cualquier condición de suelo.

Usan sistemas de aspersores de alta presión o baja presión con rangos que van de los 6 psi a los 60 psi (4,22 – 42,19 mca) y con gran variedad de caudales de trabajo: Fixed Pad, Rotators, Spinners, Accelerator, I-Wob; unos desarrollados por Nelson Irrigation otros por Senninger Irrigation, ambas compañías norteamericanas. Los aspersores para pivotes pueden ser con y sin sistema de regulación de presión (auto compensados), los hay de huella seca, los que mojan sólo una fracción de circunferencia, los de aplicación de precisión de baja energía (LEPA en inglés), los rociadores y todo tipo de aspersores de alto impacto que se ubican en el extremo para regar más terreno.

Función

El concepto básico del pivote central consiste en llevar el agua de riego hasta los cultivos mediante una tubería metálica, generalmente de acero galvanizado o aluminio, la que es montada sobre torres de metal que se mueven sobre conjuntos de ruedas, de modo que el pivote gira en círculos manteniendo uno de sus extremos

fijos en el centro del campo. A todo lo largo de la tubería cuelgan aspersores, distribuidos de acuerdo a los requerimientos, cuyas cabezas de riego pueden ser ubicadas a distancias variables del suelo.

Algo importante de notar es que las últimas secciones de los pivotes centrales riegan mucha más superficie que las primeras por lo que el costo por hectárea del equipo va disminuyendo dramáticamente en tanto mayor sea el largo. Por ejemplo, un pivote central estándar que mide cerca de 400 m riega un círculo de aproximadamente 50 ha, en cambio un sistema de 800 m es capaz de regar un círculo de cerca de 200 ha.

Descripción

Se trata de una tubería porta emisores suspendida sobre unas torres motrices, alineadas entre sí, que giran sincronizada mente alrededor de un centro pivotante, anclado sobre una plataforma de hormigón, por el cual recibe el agua y la energía eléctrica. En su desplazamiento, el pivote va describiendo un círculo y realizando el riego simultáneamente.



Figura 1.- Sistema de riego tipo pivote central

Está conformado por los siguientes elementos:

Unidad central o punto pivote

Es una estructura de acero en forma de pirámide, anclada en una base de hormigón, que enlaza la tubería enterrada con la tubería del lateral por medio de un tubo vertical de alimentación que permite el giro del sistema gracias a una junta estanca y mecanizados de giro embutidos. En la unidad central se localiza el armario eléctrico, donde se encuentran todos los elementos de funcionamiento y control de la máquina, así como los automatismos y los diferentes dispositivos de seguridad. La alimentación de corriente eléctrica puede llegar por cables enterrados desde la caseta de bombeo o mediante generador colocado en la misma base de la unidad central.



Figura 2.- Punto pivote.

El lateral de riego

Se trata de una tubería de conducción porta emisores, dividida en tramos por una serie de torres cuya separación oscila generalmente entre 34 y 62 m. La longitud total del ala suele estar entre 100 y 800 m. Tanto los elementos de cada tramo como las torres deben estar contruidos con materiales inalterables (aceros de calidad) y sometidos a tratamientos de galvanizado. La unión entre tramos varía de unas marcas a otras, pero debe ser fuerte y estanca, además de permitir la articulación y giro entre tramos para adaptarse a los terrenos ondulados.



Figura 3.- Lateral de pivote central.

Las torres

Son las unidades motrices del pivote. Su estructura triangular sustenta en su vértice superior el tramo de tubería correspondiente y está provista de ruedas motrices en ambos vértices inferiores. Un pequeño motorreductor eléctrico situado en cada torre transmite el giro a las ruedas por medio de transmisiones tipo cardan. Encima de cada torre se encuentra una caja eléctrica donde se localizan los mecanismos de conexión a los circuitos de corriente y de maniobra, así como los mecanismos de alineamiento y seguridad.



Figura 4.- Torre de pivote central.

Sistema de alineamiento

El alineamiento se realiza de modo automático mediante un sistema que permite avanzar a cada torre alternativamente cuando entre los dos tramos que convergen en la misma forman un ángulo mayor de 15-20'. El movimiento del pivote comienza por la torre final, produciéndose un avance de las demás torres en cadena, desde el extremo hacia el centro, que conllevan el desplazamiento de toda el ala de riego.



Figura 5.- Sistema de alineamiento.

Automatismos

La instalación de una serie de automatismos en las máquinas de riego tipo pivote permite un importante ahorro de mano de obra en las explotaciones. Los automatismos que se instalan con más frecuencia son:

- Arranque del pivote cuando se alcanza una presión determinada a la entrada del pivote.
- Parada del sistema por pérdida de presión.
- Parada del pivote en un lugar prefijado de la parcela.
- Apertura y cierre del cañón final cuando el pivote llega a puntos concretos.
- Apertura y cierre de un número determinado de emisores.
- Apertura y cierre de todos los emisores en el momento deseado.

- Inversión del sentido de la marcha con retardo.
- Parada de todo el sistema.
- Parada del bombeo que permite el avance sin regar.
- Riego en sentido contrario.
- Diferentes tipos de programaciones.



Figura 6.- Tablero controlador eléctrico.

Emisores

Los diferentes tipos de emisores existentes en el mercado se pueden agrupar en las siguientes cuatro categorías:

- Aspersores de impacto de ángulo bajo.
- Toberas rotativas o rotores.
- Toberas pulverizadoras o rociadores.
- Cañones o pistolas finales.

Para alcanzar una buena uniformidad de distribución, se deben tener en cuenta el tipo de emisor, el espaciamiento entre sí a lo largo del lateral, el tamaño de las boquillas y la presión de funcionamiento.



Figura 7.- Rotor Nelson R3000.

Bajantes

En el campo del riego mecanizado, el avance más significativo en lo que respecta a la eficiencia de riego ha sido la instalación de los emisores en bajantes.

Los bajantes son piezas de acero galvanizado rígidos o de manguera flexible que permiten acercar la aspersion al suelo y reducir sensiblemente la evaporación y la dispersión por el viento.

Los bajantes rígidos trabajan muy bien para ciertas aplicaciones, sin embargo, están limitados a una longitud fija y en ocasiones se requiere alejar o acercar los aspersores al terreno del cultivo. Los bajantes flexibles permiten mover los aspersores de acuerdo a las condiciones del suelo, viento, cultivo.

La Manguera para bajante, especialmente diseñada para instalarse en pivotes y sistemas laterales es fabricada en tubería flexible y reforzada, de 20 mm de diámetro, y permite ser enrollada para ajustar la altura del emisor en función del desarrollo del cultivo.

- Manguera negra.
- Fabricada en 3 capas: tubo interior de PVC, refuerzo de poliéster y camisa de PVC exterior.
- Flexible y ligera
- Resistente a la abrasión y a los rayos UVA.

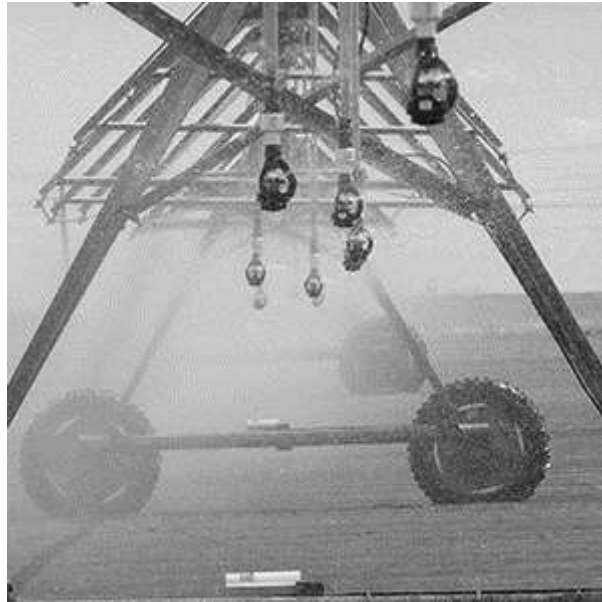


Figura 8.- Bajantes de pivote central en operación.

Rotor R3000 Nelson

Es un aspersor giratorio con un diseño modular avanzado, que permite un mayor tiempo de infiltración y una mejor superposición. Sus partes se cambian fácilmente para ofrecer la forma de riego que más conviene en cada momento.

El Rotor R3000 consigue un gran alcance, ensancha el patrón de agua, reduce la pluviometría promedio, la escorrentía y aumenta la tasa de absorción. Consigue el mayor alcance cuando se monta con drops en los Pivotes de riego.

Actuación:

- Presión: **10 – 50 PSI** (0,7 – 3,4 bar)
- Diámetro: **50-74 pies** (15,2-22,6 m)
- Tamaño de la boquilla: **#12 – 50**

Características:**Mayor radio de tiro**

Como aspersores de tipo rotativo, el R3000 y el R3030 producen un patrón más amplio que resulta en una tasa de aplicación más baja, menor escorrentía y mayor tiempo de remojo.

Mayor uniformidad

El Rotor mejora enormemente la uniformidad debido a la mayor superposición de los rociadores adyacentes.

Reducción de la deriva del viento y la pérdida por evaporación

El Rotor supera con creces el desafío de colocar un rociador de tipo giratorio en tubos de caída, fuera del viento, para minimizar la deriva del viento y la pérdida por evaporación.

Utiliza la boquilla 3TN

Componente clave del Rotor R3000. Hay distintos tamaños, clasificados por colores. Se cambian rápidamente, consiguiendo una alta precisión y una gran durabilidad

Los platos

Están especialmente diseñados para conseguir un alto rendimiento, la máxima uniformidad y un control de tamaño de las gotas: gotas finas para cultivos o suelos delicados y gotas resistentes al viento para una eficiencia de riego óptima. Una geometría de chorros múltiples rellena el patrón del agua y mejora el recubrimiento uniforme.

Platos

Marrón

El paquete de aspersores de mayor uniformidad del mercado es perfecto para cultivos de alto valor.

Características de desempeño de un rotor R3000:

Máxima uniformidad

La mezcla única de gotas, creada por las corrientes de trayectorias múltiples, evita el sellado de la superficie del suelo y esparce el agua para reducir la tasa de aplicación

Boquillas 3TN

Las boquillas son los orificios o aperturas usados en los aspersores para controlar el volumen de descarga, la distribución de la precipitación, el diámetro de humedecimiento y el tamaño de la gota. Con lo cual un solo cuerpo o cabeza de aspersor puede tener varias descargas y diámetros de cobertura a una misma presión con sólo cambiarle el tamaño de las boquillas.

La boquilla determina la cantidad de producto aplicado en el agua, uniformidad y cobertura en el cultivo, así como la cantidad de deriva durante la aplicación. Una mala selección de la misma puede causar que se aplique una cantidad excesiva o deficiente de producto, cualquiera de los dos casos representa mayores costos debido a que se necesitara más producto o una nueva aplicación. Otro aspecto importante es la vida útil de la boquilla, ya que las boquillas con un desgaste del 10 %, al igual que una boquilla inadecuada ocasiona des uniformidad en la aplicación y con ello la necesidad de hacer una nueva aplicación. Estos problemas se pueden evitar al realizar una buena selección, además de asegurarnos de que estas están en buenas condiciones. (Teejet, s.f.).

La boquilla es una herramienta útil en las aplicaciones agrícolas, la cual nos hace que tengamos éxito o fracaso en el manejo de plagas y maleza. Su función es formar y distribuir las gotas, así como regular el flujo de caldo. En el mercado existen

infinidad de boquillas con diferentes formas, cada una con características únicas que la hacen apropiada para un trabajo en específico.

Existen dos tipos de pluviometría: promedio e instantánea. Es útil entender la diferencia para escoger el tipo de boquilla y de aspersor adecuado. 7 La tasa de aplicación promedio (TAP) es la tasa de aplicación del agua sobre el área a regar. Es un valor promedio que asume un riego uniforme sobre toda el área regada. La tasa de aplicación de un pivote central aumenta con las mayores demandas de caudal requeridas en las extremidades del pivote.

Tecnología de aspersión. Soluciones innovadoras para riego por pivotes. (Nelson Corporation, 2018).



Figura 9.- Boquilla 3TN para rotor R3000.

Ventajas y desventajas del equipo

En general, tanto las ventajas como las desventajas del equipo vienen dadas del sistema de riego por aspersión, que se complementan, con las características propias del sistema con Pivote Central.

Ventajas:

- Debido a que la dosis de riego es únicamente función de la velocidad de rotación, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- El poder modificar la pluviometría permite al sistema adaptarse a distintos tipos de suelos.
- El sistema permite realizar riegos de alta uniformidad.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil.
- Puede conseguir altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra.
- Posee un bajo costo por hectárea.
- Bajos costos de operación.
- El sistema trabaja a bajas presiones permitiendo menores requerimientos de energía.
- Permite una rotación de cultivos, con la condición de que el dimensionamiento se realice para el cultivo más exigente.
- Permite la aplicación de químicos junto con el agua de riego.

Desventajas:

- Alta inversión inicial.
- Requiere de un servicio técnico especializado.
- Se necesitan adaptar los predios para su funcionamiento (mover cercos, realizar nuevos trazados de líneas eléctricas, eliminar árboles, modificar caminos, etc.).
- Al ser un sistema de riego circular se pueden perder las superficies en las esquinas de los predios.
- Para un buen manejo del riego y la presencia de varios cultivos bajo el Pivote, el sistema obliga a cultivar en sectores circulares.
- La uniformidad de riego se ve afectada por la influencia de fuertes vientos.

- Requiere de sistemas de decantación y filtraje cuando se presentan problemas con la calidad del agua.

En general los sistemas de Pivote Central no se recomiendan para predios de superficies inferiores a 30 ha. o de formas muy irregulares, pero la decisión final del sistema debe realizarse después de analizar económicamente los beneficios y costos del proyecto.

Manejo del pivote central

La tecnología del Pivote Central corriente es considerada confiable, segura, simple de operar y requiere poca supervisión. Sin embargo, el manejo de estos equipos es muy diferente, comparado a otros métodos de riego.

Dichos sistemas se caracterizan por aplicar riegos pequeños, frecuentes (por ejemplo, diarios) lo que ofrece numerosas ventajas en el manejo del agua y nutrientes, como también numerosas desventajas para el cultivo. Desde el punto de vista del agua y nutrientes, estos pueden ser aplicados en forma bastante exacta. Las pequeñas aplicaciones de agua pueden potencialmente reducir la lixiviación en suelos arenosos (o en arcillas agrietadas). Desde el punto de vista del cultivo, el humedecimiento frecuente de la canopia crea condiciones para enfermedades fungosas, especialmente en la zona más cercana al centro del pivote. El desarrollo radicular superficial es favorecido en muchos cultivos por riegos frecuentes y suaves, habiendo poca amortiguación del efecto del estrés hídrico cuando el equipo falla. Por esta razón, el nivel de agua en la zona superior a la zona radicular debe ser mantenida en niveles relativamente altos.

Los riegos frecuentes también requieren ajustes de los tiempos de rotación, tal que la máquina no esté en el mismo punto del terreno cada día a la misma hora, ello para promediar pérdidas y sobre aplicaciones a través del campo en el tiempo. Así los tiempos de rotación múltiplos de 12 horas deben ser evitados.

Es importante destacar que el 75% del área se encuentra en la mitad externa del radio. Por ello el manejo se enfoca a las torres externas, pero enfermedades y

problemas de distribución de agua ocurren en las porciones internas. El estado actual de la tecnología, trata el campo entero como un sistema suelo-cultivo uniforme. Algunos paneles de control nuevos cambian la velocidad en sectores seleccionados, pero las variaciones en el campo son en forma de torta.

Los Pivotes son utilizados para regar de 2 a 200 hectáreas, aunque lo normal son 50 hectáreas. Consideraciones económicas limitan su uso a áreas menores de 25 hectáreas. Las áreas regadas con un pivote dependen del radio del lateral principal, más el radio producido por el cañón final y el sistema de esquina. Si el pivote central es posicionado en el centro de un cuadrado de suelo sin cañón final, regará casi el 80% del área total. Los Pivotes son generalmente agrupados cuando son instalados sobre una gran extensión de suelo, tal que el 85% o 95% del área sea regada.

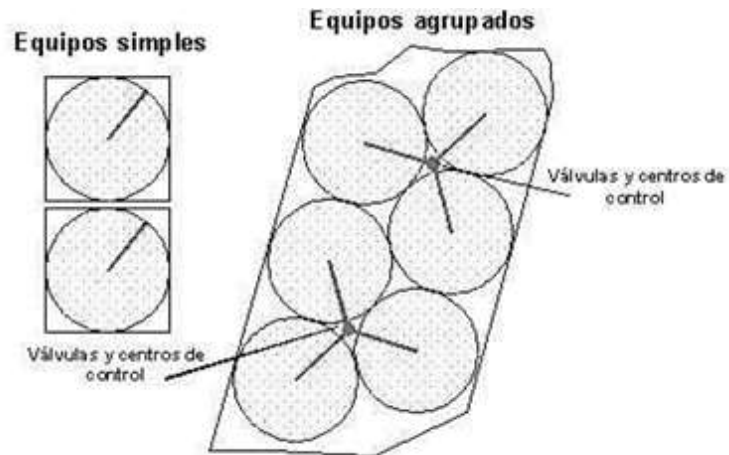


Figura 10.- Esquema de ejemplos de aprovechamiento del área en equipos individuales y agrupados.

La presión de operación promedio del lateral de un pivote varía si la tubería va pendiente arriba o abajo. Esto puede resultar en grandes variaciones en la descarga de los aspersores, por lo que puede ser necesario colocar reguladores de presión o boquillas reguladoras de flujo en cada aspersor.

Aplicación de agua y tasa de infiltración.

Una de las propiedades que aprovecha el Pivote es la alta tasa de infiltración inicial. Aplicaciones suaves y rápidas sacan máximo provecho de este fenómeno. Para ilustrar, la torre externa de un sistema de 50 hectáreas, puede viajar de 1 a 4 m/min. Sin embargo, la torre más interna viaja a solo un 10% de la velocidad de la torre externa. Esto significa que los aspersores en la torre externa aplican 10 veces más rápido el agua que la torre interna para la misma lámina a lo largo del lateral del Pivote. Con algunos aspersores las tasas de aplicación de las torres externas podrían exceder los 100 mm/hr. Los aspersores finales generalmente cubren grandes diámetros, aún en sistemas de alta velocidad de rotación, para no exceder las tasas de infiltración del suelo. La intensidad de aplicación es ilustrada en la figura siguiente, en relación con la posición, asumiendo que igual cantidad de agua es aplicada, mostrando los diferentes tiempos de humedecimiento. La Intensidad de aplicación de agua alcanza un máximo cuando el aspersor pasa directamente sobre un punto.

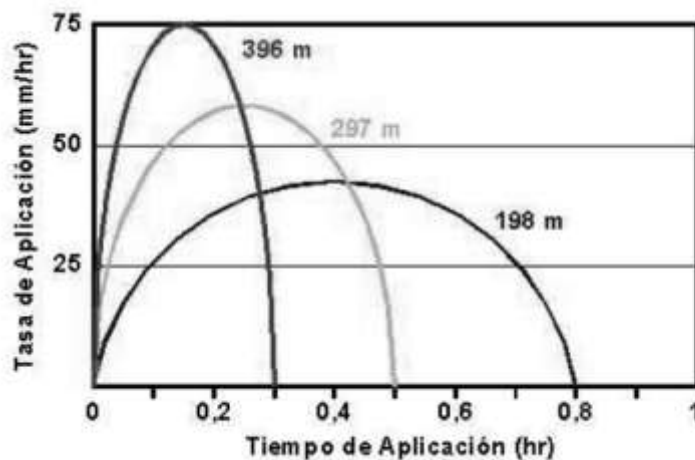


Figura 11.- Esquema de intensidad de aplicación y tiempos de humedecimiento según posición relativa al centro, a lo largo del lateral.

La interacción entre la tasa de aplicación y la infiltración. El objetivo de la selección de una boquilla y la operación del sistema es asegurar que la tasa de aplicación no exceda la tasa de infiltración en varios puntos a lo largo del lateral.

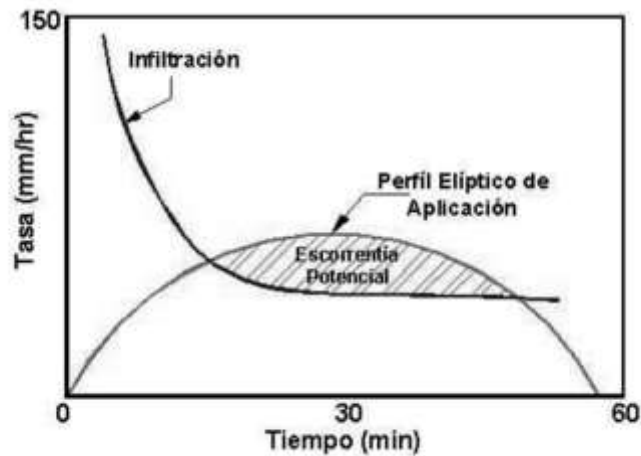


Figura 12.- Esquema de interacción entre la infiltración y tasa de aplicación de agua. La zona acucharada corresponde a agua que el suelo no es capaz de infiltrar y potencialmente puede escurrir.

Consideraciones de diseño

Las máquinas deben ser diseñadas adecuadas a cada sitio. La información colectada debe incluir caracterización de suelos (física y química), infiltración, disponibilidad de agua (cantidad y calidad), microclima, requerimientos de agua del cultivo e identificación de cualquier otra restricción potencial. La pendiente a lo largo de la huella puede afectar el desempeño y la vida útil del equipo. Pérdidas potenciales como arrastre por viento, evaporación, escorrentías y percolación profunda, deben ser estimadas. Los aspersores y patrones de distribución deben ser adecuados al tipo de suelo y criterios de operación deben ser entregados al productor.

La capacidad de aplicación bruta del sistema, Q_g , es la cantidad continuamente entregada a la máquina, suficiente para abastecer el máximo período de evapotranspiración, como también las pérdidas. Es determinada en base al cultivo, clima, suelo y varía desde 0,6 a 1,6 l/s/ha., aunque el promedio es sobre 1 l/s/ha.

Algunos sistemas son diseñados para operar bajo condiciones de déficit durante el período de máximo consumo por causa de disponibilidad de agua limitada o para aumentar el área total, pero debe ser hecho sólo después de considerar todos los otros factores.

Uniformidad del riego en pivote central

Es una relación que expresa las pérdidas desde la fuente de agua hasta las plantas.

Generalmente se expresa en porcentaje.

El coeficiente de uniformidad (EU) en un sistema de riego, es un parámetro fundamental en la medida de la eficiencia de nuestro sistema de riego, si el agua no se distribuye homogéneamente, habrá zonas que reciban menos cantidad de agua que otras y para compensar esta situación, el sistema tiene que estar más tiempo regando con lo que ello implica.

Una uniformidad por encima del 90% se considera magnífica, entre un 75% y un 90% es una uniformidad que permite trabajar si bien no es un valor ideal y conllevará gastos extra, por debajo del 70% no es en absoluto aconsejable. Si comparamos un sistema con una uniformidad del 75% frente a otro con una uniformidad del 85%.

Algunos investigadores indican que la afectación que tienen las bajas uniformidades de distribución del riego en los sistemas de aspersión, es de suma importancia en la afectación de los rendimientos agrícolas, ya que en las áreas que se riegan de manera insuficiente debido a la des uniformidad ocurre una reducción de los rendimientos agrícolas. (Pérez et al.,2003; Buendía et al.,2004).

Actualmente el coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein es el parámetro utilizado por la norma internacional UNE – EN ISO 11545 para evaluar la

uniformidad de distribución de agua entregada por un sistema de riego tipo pivote central.

La uniformidad se deduce por la forma del patrón de aspersion, simétrico o asimétrico.

En la mayoría de los aspersores, la simetría del patrón elíptico de aspersion podría dividirse en dos mitades equivalentes, cada una imagen espejo de la otra, con excepciones de los aspersores de giro parcial. La proporción adecuada de la precipitación está en función del traslape y la armonía, así como la posición de las partes o puntos, unos respecto de otros, y con referencia a la posición de la línea regante por donde pasa el eje de simetría. Al mover el eje de simetría cada aspersor llega a traslapar consigo mismo y los puntos de la parte izquierda encuentran posición de coincidencia con los puntos de la parte derecha. En campo se pierde la simetría de las partes debido a la distorsión del patrón de aspersion influida por el viento (dirección y velocidad) variaciones en la presión, desgaste de las boquillas y la falta de verticalidad de los aspersores o variaciones en la velocidad del giro (Moreno Ramírez Geovanny).

Muños Castro (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 esta depende el agua que se suministra a unas plantas y a otras, lo que repercutirá en los rendimientos de manera significativa.

Coeficientes de Uniformidad

Los valores que la empresa Nelson proyecta para las boquillas acorde a sus tamaños, sometidas a diferentes presiones a 6 pies de altura, altura que en promedio es a la que se encuentran los aspersores en el pivote de prueba.



Figura 13.- Esquema de la uniformidad del riego que el fabricante oferta para los tamaños de boquillas sometido a diferentes presiones a 6 pies de altura.

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

Traslapes entre emisores.

Tabla 1.- Coeficiente de uniformidad para diferentes sistemas de riego.

Sistema	CU (%)
Laterales móviles	70 a 86 %
Aspersión fija	70 a 88 %
Laterales auto desplazables	75 a 94 %
Cañones de riego	60 a 75 %

MATERIALES Y METODOS

Localización

Terreno ubicado frente al gimnasio deportivo perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Campus Buenavista Saltillo Coahuila a noviembre de 2020.

Zona 14R

Coordenadas:

295883.85 m E

2805535.01 m N

Materiales y equipos requeridos para la prueba de uniformidad

- 28 Reguladores de presión $\frac{3}{4}$ " FNPT x $\frac{3}{4}$ " que mantienen una uniformidad de 15 PSI en cada salida.
- 28 Rotor (es) R3000 Nelson para pivotes centrales WR800.
- 28 Contrapesos de 1 libra en bajante para evitar el movimiento excesivo de los rotores por viento y traslación del pivote.
- 28 Platos para rotor R3000 color café de trayectoria múltiple para controlar el tamaño de gota y la precipitación de las mismas.
- 28 Cuerpo para rotor.
- 48 boquillas 3TN extras de las que ya contaba el pivote para 3 lps con código de colores seleccionado y ajustado a un caudal de 3, 4 y 5 lps.
- Manómetro Bourdon con caratula graduada de 0 a 60 (libras/pulgada cuadrada).
- De 40 a 80 colectores en forma cilíndrica con medidas de diámetro de 11 cm (aprox) y altura de 7.4 cm (aprox) para la captación de agua de los aspersores.
- De 40 a 60 estacas de madera de 65 cm.
- Un martillo para fijar las estacas al suelo.
- Probeta graduada de 250 cc de capacidad para medir los volúmenes de agua captados en los pluviómetros.
- Probeta graduada de 50 cc de capacidad para medir los volúmenes de agua más bajos captados en los pluviómetros.
- Una cinta métrica mayor a 10 m para medición de separación de colectores.
- Clavos para adherir los colectores a las estacas.
- Reloj o cronómetro para tomar el tiempo de recorrido.
- Formato de registro para la recolección de datos obtenidos en campo de las 3 pruebas correspondientes.
- Bandera que marcara el final de las torres y el voladizo.
- Escalera de aluminio para el alcance de cambio de boquillas y mantenimiento de los aspersores.

Metodología de la prueba de uniformidad

Los recipientes colectores se adhieren a las estacas de madera con un clavo.

Posteriormente se colocan a 3 metros de separación, partiendo del punto pivote, hasta llegar al colector #40.

La bandera se coloca después del último bote colector, como guía para la prueba.

Se acciona el pivote a una velocidad del 10% de avance.

Se mantendrá por un periodo de una hora, tiempo suficiente para que el pivote se desplace por encima de todos los botes, suficiente para coleccionar una lámina, la cual será medida y registrada.

En las probetas (dependiendo de la lámina se selecciona cual probeta es más conveniente usar), se vierte la lámina coleccionada y se capturan los datos para posteriormente en un trabajo de gabinete, sean registrados en el formato con el cual se analizarán y se tomará los criterios de selección y aprobación o rechazo.

En campo, se trata de corregir errores (taponamiento, daños del aspersor, bajantes flojos o desgastados) mediante un mantenimiento preventivo y correctivo antes de las pruebas que llegasen afectar los datos recolectados. Aunque durante la prueba, se recomienda estar en constante observación mientras el pivote está en movimiento, esto para percatarse de algún fallo, fuga o cualquier detalle que pueda provocar datos erróneos.

De igual forma, se anotan las observaciones que se presenten a lo largo de la prueba (aspersores dañados, daños en manómetro, encharcamientos, llantas bajas, etc.), esto para brindar al productor recomendaciones para mejoras de reparación o servicio para un uso óptimo de su sistema. En la prueba, ayudan para hacer las observaciones de datos que resultan erróneos o muy dispersos de una realidad o credibilidad de estos.

Se recomienda realizar la prueba en un día con cielo despejado, y con una velocidad el viento baja.

Se eliminan los datos evidentemente erróneos para que no afecte al razonamiento de los mismos, siempre y cuando no exceda un 3% del total de los colectados.

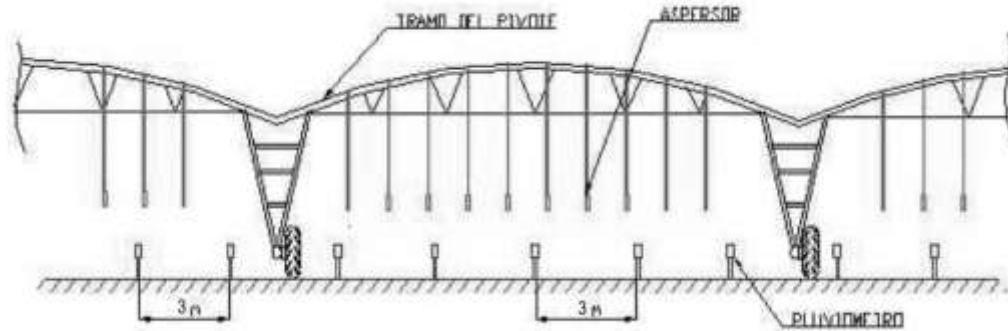


Figura 14.- Esquema de prueba de pluviometría en pivote central.

Formula de coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein

$$CUH = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n X_i * ABS (V_p - V_i)}{\sum X_i V_i} \right) * 100$$

Donde:

n = Número de colectores

X_i = Número de colector

V_i = Vol. Colectado por cc/bote

V_p = Media ponderada

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Coahuila y en este caso en Buenavista Saltillo, la evapotranspiración promedio oscila alrededor de 8 mm/día, por lo que los cultivos que se establecen en esa zona demandan láminas, aunque sean ligeras, más frecuentes y por ende más horas de riego.

Tabla 2.- Evapotranspiración pico diaria en mm/día. Para varios climas.

REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA ALGUNOS CULTIVOS EN VARIOS CLIMAS					
Evapotranspiración pico diaria en mm/día					
Cultivo	Clima Frío	Moderado	Caliente	Semi-árido	Muy árido
Alfalfa	5.1	6.4	7.6	8.9	10.2
Pastos	4.6	5.6	6.6	7.6	8.4
Cereales	3.8	5.1	5.8	6.6	5.8
Frijol	4.6	5.1	6.1	7.1	7.6
Maíz	5.1	6.4	7.6	8.9	10.2
Algodón	-----	6.4	7.6	-----	10.2
Tomates	4.6	5.1	5.6	6.4	7.1
Papas	4.6	5.8	6.9	8.1	6.9
Melones	4.1	4.6	5.1	5.6	6.3
Cítricos	4.1	4.6	5.1	7.67	6.9
Viñedos	3.6	4.1	4.8	7.62	6.6133333

Las curvas de evapotranspiración para maíz que se siembra en el ciclo Primavera-verano y para el trigo que se siembra en el ciclo Otoño-invierno se pueden apreciar en siguiente figura.

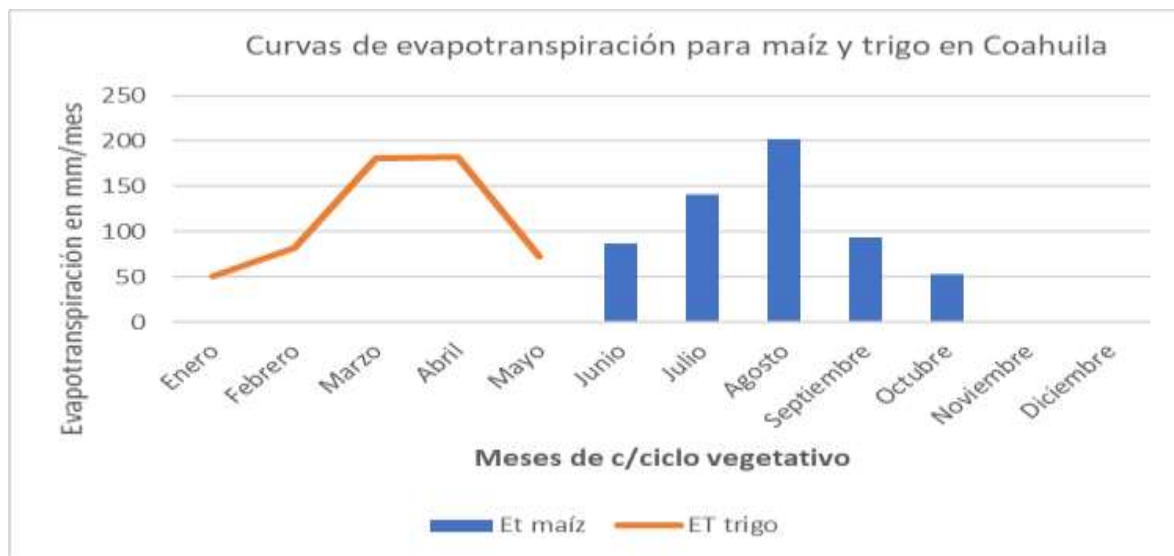


Figura 15.- Curvas de evapotranspiración para maíz y trigo en Coahuila.

El pivote central de la Narro al operar a un 10% de velocidad (% timer) aplica una cantidad de agua muy similar a la evapotranspiración crítica del maíz (ETC.= 8 mm/día), por lo que las pruebas se efectuaron a esa velocidad en el timer de 10% y un avance de 0.39 m/minuto en la última torre.

El caudal que distribuye el actual paquete de boquillas es $Q= 47$ GPM (3 Lps) con el actual paquete de boquillas con el que cuenta el pivote. La pluviometría puede variar a lo largo de la tubería pivote debido a: Velocidad del viento, boquillas parcialmente tapadas, platos atorados dentro del rotor, boquillas en orden equivocado o fugas en la bajante.

Todas las bajantes de la tubería pivote tienen un contrapeso metálico y un regulador de presión a 15 psi. Los rotores R3000 de Nelson con plato café se desplazan a 1.80 m de la superficie del suelo durante el avance de las torres.

El radio de cobertura (RN) de este terreno analizado, cuenta con una extensión de 120 m.

El área regada con la tubería pivote a medio giro es $A=22,619$ m²

El caudal requerido en el punto pivote (Q) para cumplir con la evapotranspiración crítica del maíz va a depender de las horas de operación que se programen para regar la superficie completa, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3.- Tiempos y velocidades de operación para cubrir el área del pivote a medio giro.

Área semicircular regada	Velocidad de avance	Tiempo de operación, To	Caudal requerido, Q	Presión pivote
A=22,619 m²	0.39 m/min	16 horas	3 Lps	40 psi
A=22,619 m²	0.52 m/min	12 horas	4 Lps	30 psi
A=22,619 m²	0.78 m/min	8 horas	6 Lps	20 psi

Esto indica que para regar la misma superficie y aplicar una lámina equivalente a la requerida, se necesita entregar un mayor caudal en el punto pivote. También sería necesario cambiar el paquete de boquillas para la tubería pivote.

Para lo cual se realizaron los cálculos correspondientes para adaptar a los diferentes gastos que se manejaron. Y como se explicó anteriormente las boquillas 3TN se clasifican en una numeración y serie de colores, las cuales manejan los caudales de menor a mayor.

Una vez efectuados los cálculos necesarios para la selección de estas, se obtuvo el listado de boquillas faltantes y con ello se anotaron en el orden que lleva cada prueba tal cual lo necesitaba cada rotor.

En el siguiente cuadro se presenta un listado en el orden que se colocaron las boquillas de acuerdo al gasto que se manejó en cada prueba en acuerdo con la potencia del equipo de bombeo actual.

Tabla 4.- Paquetes de boquillas seleccionados para diferentes gastos.

PAQUETE DE BOQUILLAS								
Color	Número (#)	3 lps (47 gpm)	4 lps	5 lps	Qboquilla(GPM)	3 lps	4 lps	5 lps
Celeste	8	2	1	1	0.0334	0.0668	0.0334	0.0334
Beige	10	1	1	1	0.04164	0.04164	0.04164	0.04164
Dorado	12	2	1	1	0.06056	0.12112	0.06056	0.06056
Lima	14	7	2	1	0.0813	0.5691	0.1626	0.0813
Lavanda	16	9	4	1	0.1078	0.9702	0.4312	0.1078
Gris	18	5	10	4	0.135	0.675	1.35	0.54
Azul turquesa	20	2	7	9	0.1697	0.3394	1.1879	1.5273
Amarilla	22	0	1	2	0.2037	0	0.2037	0.4074
Roja	24	0	1	7	0.2435	0	0.2435	1.7045
Blanca	26	0	0	1	0.2857	0	0	0.2857
TOTAL DE BOQUILLAS		28	28	28	Q total	2.89	3.92	4.98

Podemos apreciar que conforme a la selección de boquillas que oferta el catalogo están bien seleccionadas y bien distribuidas para uniformizar el gasto de la línea y de la prueba independiente.

El paquete de boquillas actual tiene capacidad para aplicar más agua al cultivo si se opera sin reguladores de presión y la lámina precipitada sobre el terreno se puede incrementar al doble si se reduce la velocidad de avance, operando el sistema a un 5% de velocidad en el timer. Otra sugerencia es limpiar las boquillas, revisar que su orden sea el correcto y ajustar la posición de los platos. La cisterna de 25,000 litros tendría que rellenarse más seguido. Los platos también pueden ser intercambiados para tener más uniformidad.

En el análisis de los datos de campo y en la comparación de la pluviometría observada y estimada, se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 5.- Error en la estima de las 3 pruebas efectuadas.

Paquete	Q en Lps	Q en GPM	Error en la estima
Actual #1	3	47	10.78%
Opcional #2	4	62.8	19%
Opcional #3	5	78	25%

Donde el error en la estima es más bajo en el paquete actual, sin embargo, los datos que se recabaron en campo no fueron los más favorables o en este caso aceptables. En el caso del primer paquete opcional, se muestra un error en la estima del 19%, sin embargo, su rendimiento en campo se aprecia como el más favorable para la distribución de la pluviometría.

La uniformidad de riego de los aspersores es la manera en que un grupo de rociadores distribuye el agua sobre el suelo dentro de los diámetros de tiro efectivos del aspersor. Cuanto mayor es la uniformidad, más uniforme es la aplicación de agua, y como resultado todas las plantas reciben cantidades muy similares de agua. Los números de uniformidad más bajos crean más áreas con alta o demasiado secas. Con el coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein tenemos parámetros indicadores y su clasificación acorde al porcentaje, los cuales son ilustrados en el siguiente cuadro.

Tabla 6.- Rangos de %CUH y su clasificación.

Rangos del coeficiente de uniformidad (CUH) y sus clasificaciones.		
Rango	Porcentaje (%)	Clasificación
>	90	EXCELENTE
≥	85 - 90	BUENO
≥	80 - 85	REGULAR
≥	70 - 80	POBRE
≤	70	DEFICIENTE

Tendencias mostradas a lo largo de la tubería pivote.

Tabla 7.- Paquete de boquillas utilizado en la prueba no. 1

PAQUETE DE BOQUILLAS		
Color	Número (#)	3 lps (47 gpm)
Celeste	8	2
Beige	10	1
Dorado	12	2
Lima	14	7
Lavanda	16	9
Gris	18	5
Azul turquesa	20	2
Amarilla	22	0
Roja	24	0
Blanca	26	0

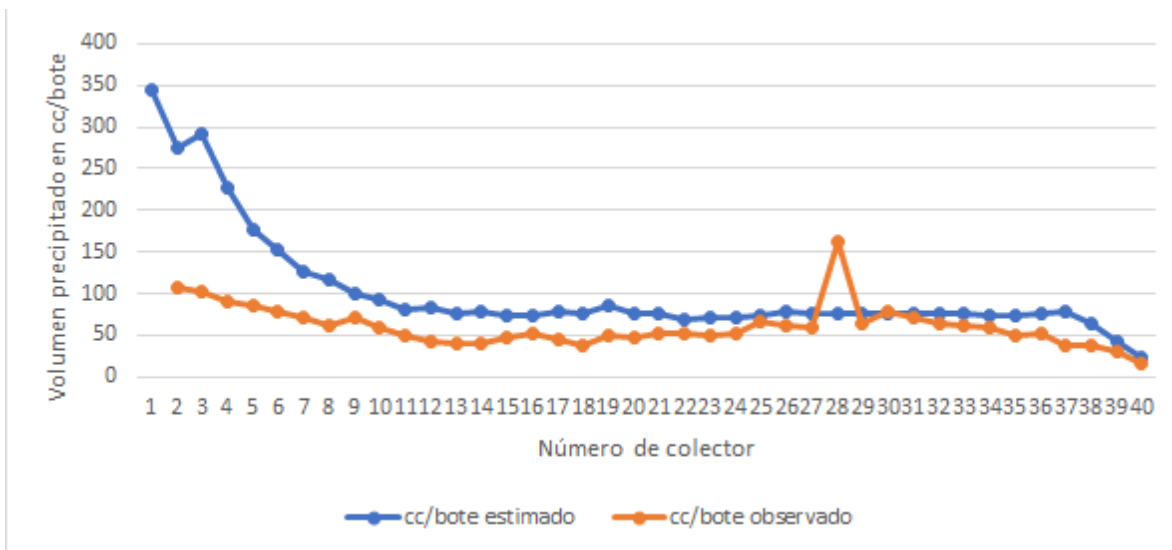


Figura 16.- Comparación de la pluviometría estimada y observada en la tubería pivote WR800 de la UAAAN Campus Saltillo Paquete #1 actual de boquillas.

Ho se rechaza debido a que el paquete está bien seleccionado, sin embargo, el coeficiente de uniformidad mostrado es de 72.11% esto debido a varios factores que se mostraron en campo, ajenos al cálculo y diseño del mismo, como lo son el desgaste de las boquillas actuales que presentaba esa prueba y a la falta de un mantenimiento preventivo, como se mencionaba anteriormente pueden ser que los platos no giren y se queden estancados, por lo tanto, la multitrayectoria permanece fija, y haga que los datos colectados se desfasen de los calculados, ya que solo producen bandas de mojado muy saturadas y otras muy secas.

Como se mencionó anteriormente el error en la estima es el más bajo de las 3 pruebas con un 10.78% de error en las comparativas de la captación estimada contra la observada en campo, sin embargo, no es la más aceptable. Considerando que la prueba se realizó después de haber aplicado un mantenimiento correctivo en el que incluía destapar boquillas, destapar los bajantes, reparar bajantes dañados, reparar o cambiar rotores dañados, ajustar la posición platos atorados, etc. para evitar desviación en la observación de los datos.

En cuanto a la uniformidad que sugiere el modelo de Heerman y Hein, no se considera como la mejor opción ya que presenta un 72.11% CUH, lo que para un pivote es un rendimiento “*pobre*”, por lo tanto, no se recomienda el emboquillado actual, además el equipo actual de bombeo puede suministrar más agua al operar con la misma potencia.

De lo anterior se deduce que la hipótesis nula no cumple el objetivo ya que el paquete no. 1 a pesar de estar correctamente seleccionado, las boquillas no aumentan la uniformidad en el riego por pivote central como se esperaba.

Siendo este un rendimiento pobre, se recomienda realizar mantenimientos preventivos para poder incrementar el porcentaje, sin embargo, tras el que ya se le había dado antes de la prueba, los resultados son los antes mencionados, de tal manera que esto se debe al desgaste de las boquillas o alguno de sus componentes, así que se debe reajustar el paquete.

No obstante, no se descarta la posibilidad de poder seguir operando con este actual paquete de boquillas siempre y cuando se haga un decremento de la velocidad en el timer a un 5%, donde quizá reduciendo el tiempo de avance, se aplique una lámina más alta y por ende se tengan menos pérdidas en cuanto al traslape produciendo mayor captación y pérdidas por evapotranspiración a lo largo del tiempo de riego.

También se podrían intercalar las pruebas con un cambio de platos y estos podrían aumentar la uniformidad de distribución a lo largo del recorrido que hará el pivote, esto debido a la manera que asperjan las gotas. Siempre y cuando se tenga en consideración la altura que hay desde los aspersores al suelo que en promedio ronda entre los 6 pies, la presión de operación en punto pivote y recalcando que los reguladores de presión del rotor trabajan a 15 PSI.

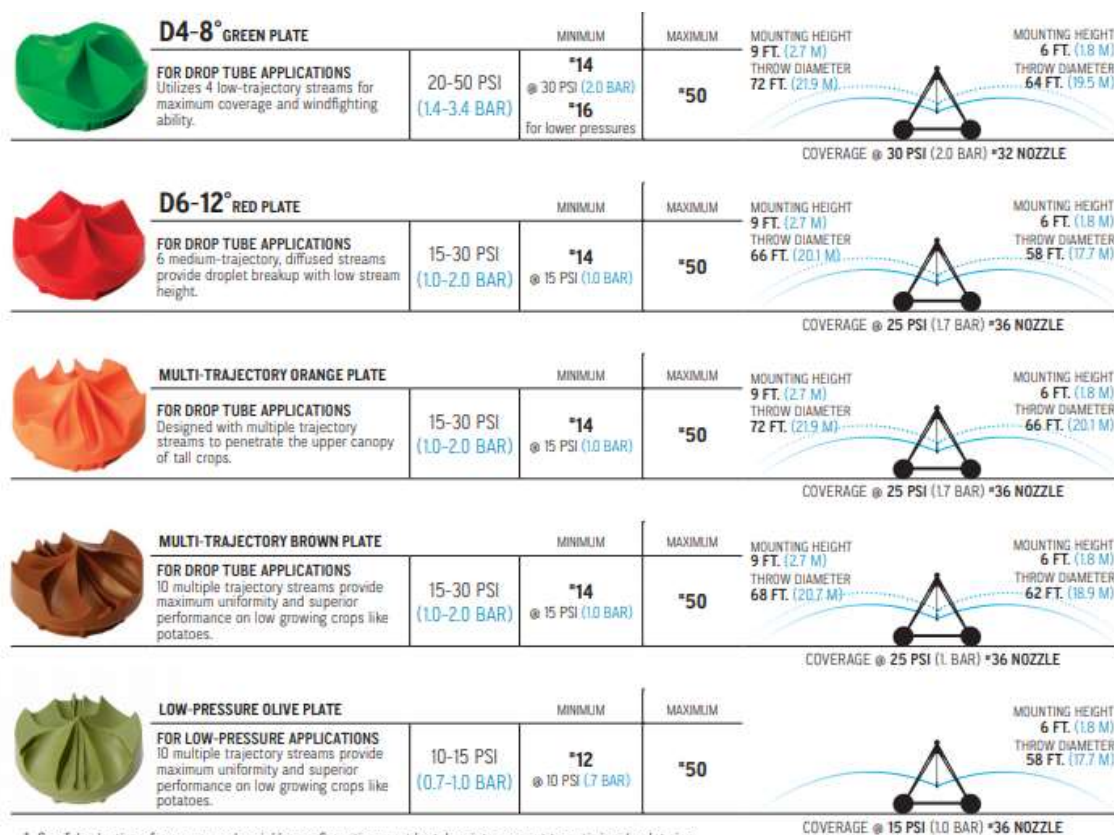


Figura 17.- Esquema de aspersión ofertada por el fabricante con diferentes platos y sus rangos de presiones y altura.

Tabla 8.- Paquete de boquillas utilizado para prueba no. 2

PAQUETE DE BOQUILLAS		
Color	Número (#)	4 lps (62.8 gpm)
Celeste	8	1
Beige	10	1
Dorado	12	1
Lima	14	2
Lavanda	16	4
Gris	18	10
Azul turquesa	20	7
Amarilla	22	1
Roja	24	1
Blanca	26	0

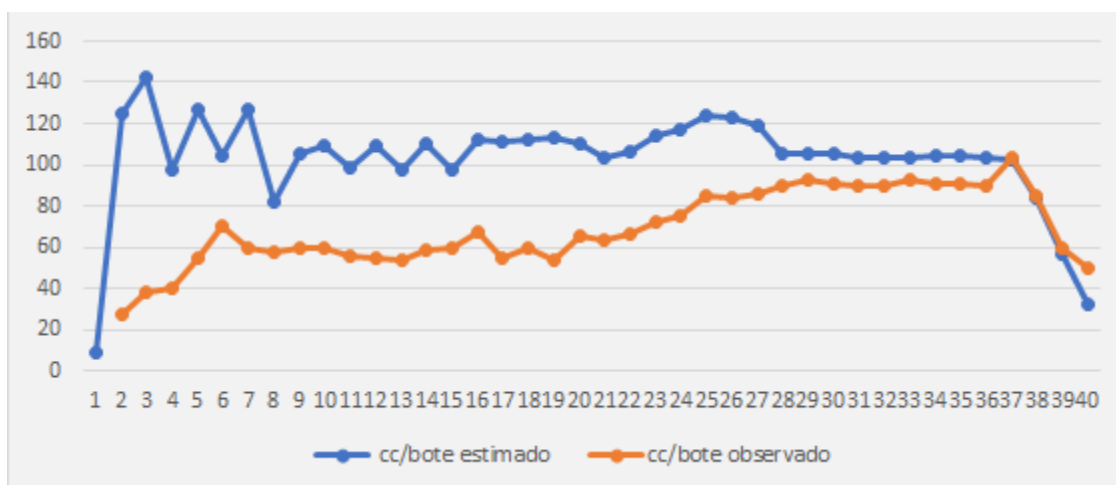


Figura 18.- Distribución de la pluviometría estimada y observada en el paquete #2 aplicando $Q = 4$ Lps (62.8 GPM), timer en 10%, $w=0.18$ radianes/hora.

En el paquete opcional número 2, observamos que la gráfica del cc observado en campo queda por debajo del estimado, y el cual se encuentra con un error de estima del 19%, sin embargo, basándonos en el %CUH es el más aceptable de las 3 pruebas con un valor del 80.18%CUH por ende dentro de los valores de clasificación

de Heerman y Hein esta como “regular”, pero que para un sistema de riego por pivote central es bueno, y casi se ajusta a los parámetros que oferta la compañía Nelson a una presión de 15 PSI en la salida del emisor el cual proyecta un 85% de coeficiente de uniformidad con las boquillas seleccionadas, lo cual el 80.18% que reflejó la prueba queda por debajo del valor del fabricante, pero si consideramos que el sistema recién se acababa de hacer un mantenimiento correctivo después de un buen periodo de tiempo, se llega a la conclusión de que es el paquete opcional con el que mejor trabaja el sistema.

Siendo una clasificación “regular”, solo se recomienda supervisar los manteamientos correctivos más adecuados, por ejemplo, revisar el taponamiento de boquillas o la forma en que se asperja mientras el pivote está trabajando, ya que algunas veces los platos se atorán y no giran, lo cual produce que solo chorreé y se produzca un encharcamiento y se pierda una parte del traslape de un rotor y otro.

Donde la hipótesis nula H_0 se acepta ya que el paquete correctamente seleccionado de boquillas aumenta la uniformidad en el riego por pivote central.



Figura 20.- Bajante, contrapeso y regulador de presión.



Figura 19.- Cuerpo completo de rotor R3000.



Figura 22.- Accesorios de funcionamiento para rotor R3000.



Figura 21.- Rotor R3000 en operación.

Tabla 9.- Paquete de boquillas utilizado para prueba no. 3

PAQUETE DE BOQUILLAS		
Color	Número (#)	5 lps (78 gpm)
Celeste	8	2
Beige	10	1
Dorado	12	1
Lima	14	1
Lavanda	16	1
Gris	18	4
Azul turquesa	20	9
Amarilla	22	7
Roja	24	2
Blanca	26	1

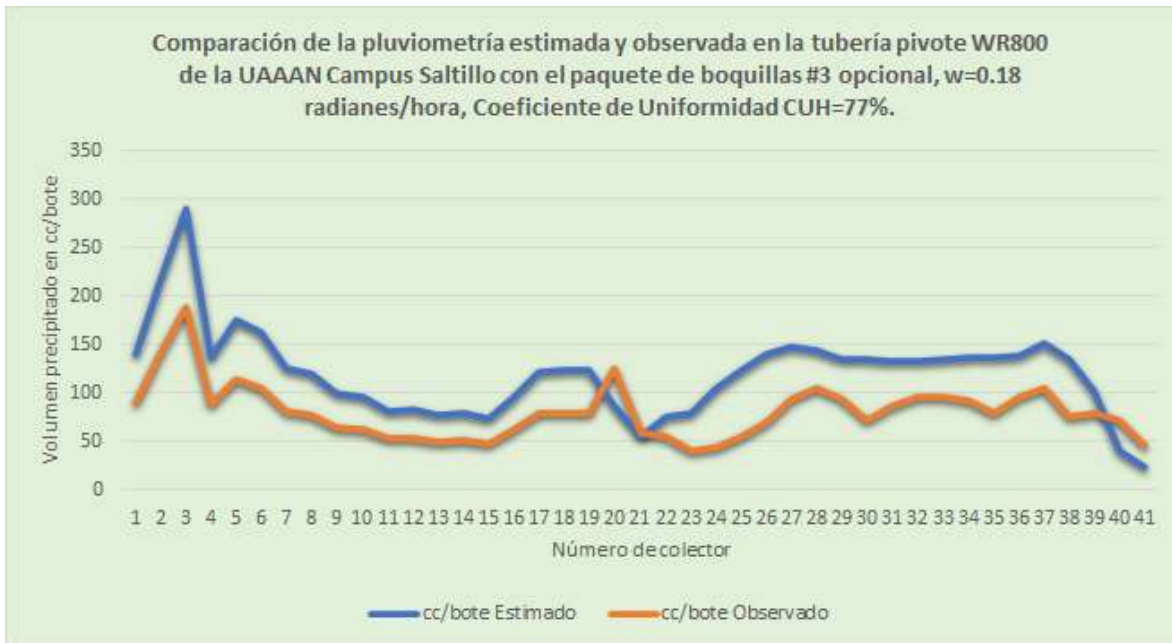


Figura 23.- Comparación de la pluviometría estimada y observada en la tubería pivote WR800 de la UAAAN Campus Saltillo con el paquete de boquillas #3 opcional, $w=0.18$ radianes/hora, Coeficiente de Uniformidad $CUH=77\%$.

Primeramente, podemos observar que la lista de boquillas es la correcta, no presenta errores en la selección de las mismas, de igual forma en la gráfica que ilustra el comportamiento de la pluviometría estimada contra la observada nos damos cuenta que su tendencia es prácticamente parecida y podríamos decir incluso que es buena, debido a que los colectores de campo su captación es sumamente parecida o mejor dicho uniforme. Tal es el hecho que en un cierto punto de ella se igualan, lo que hace parecer que es la mejor en cuanto a su tendencia y a su selección de emboquillado.

Sin embargo, su %CUH es del 63.11%, lo que quiere decir que tenemos una clasificación acorde a su tendencia para esta prueba que el sistema con el emboquillado de 78 gpm o bien 5 lps opera con una eficiencia “pobre”.

La prueba en campo refleja que los datos de los últimos colectores son los menos uniformes en su mayoría, esto debido a que las selecciones de las boquillas finales siempre presentan un gasto menor a las primeras y las primeras boquillas asperjan

una mayor cantidad de volumen, esto recalando que la prueba y la literatura así lo demandan para una operación exitosa de un sistema de riego tipo pivote central.

Concluimos en esta prueba que es más que evidente que el pivote central WR800 de la UAAAN, acorde a sus condiciones y apegándonos a su equipamiento existente, no puede operar con un gasto mayor de 78 gpm o bien 5 lps, porque su funcionamiento se queda escaso ya que el diámetro del tubo de conducción o descargar debería ser mayor.

Si nos apegamos a la operación acorde a los resultados, se afirma que se puede trabajar el pivote y de una manera eficiente para el establecimiento de una selección de cultivos, solo se tendría que hacer un ajuste en los tiempos de riego y en la velocidad con la que operará el timer, esto para que, gracias al tiempo de riego, se pueda ajustar una lámina que adopte o mejor dicho que cubra las necesidades hídricas del cultivo a establecer en conjunto con un sistema de alta eficiencia.

Tabla 10.- Láminas de aplicación del pivote a diferentes porcentajes de velocidad en timer.

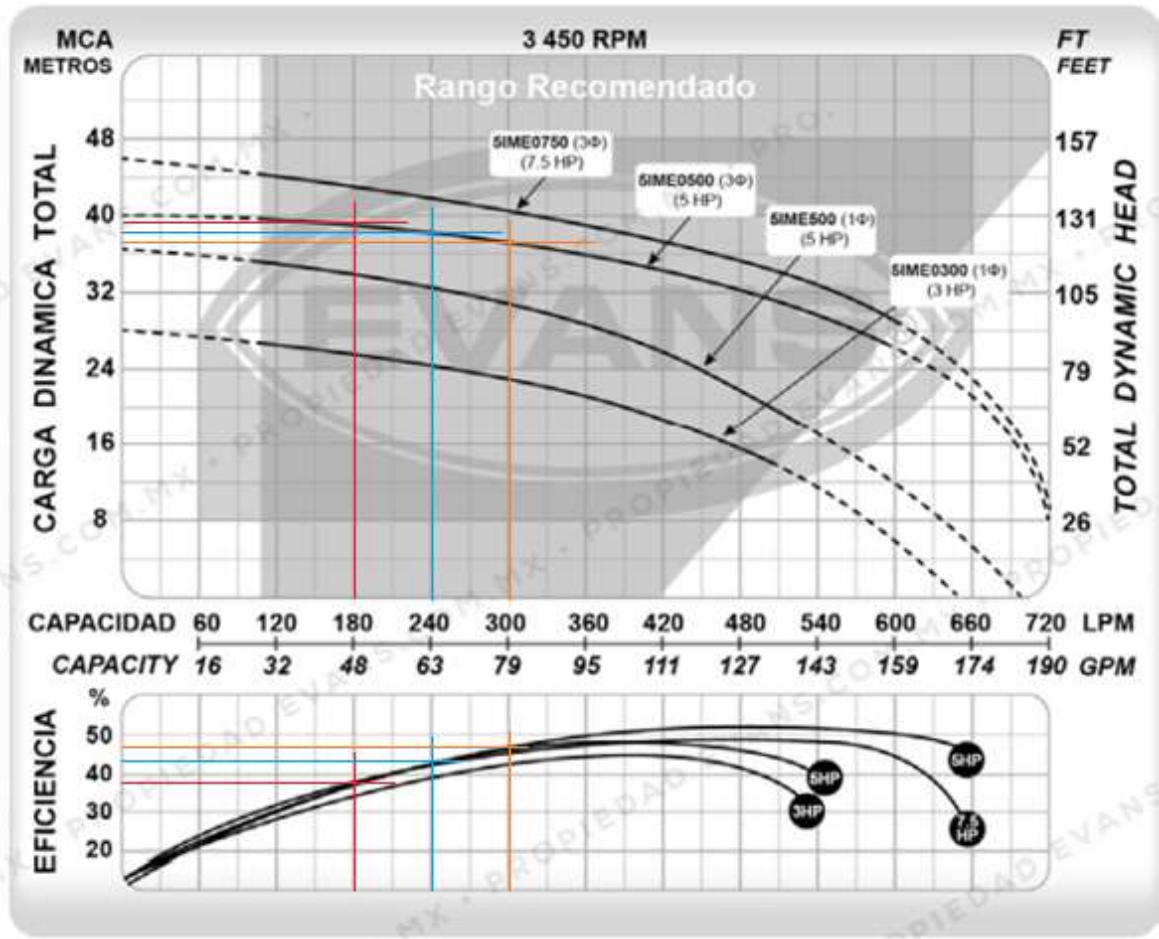
% Timer	10%	30%	50%	70%	90%
Vel. Avance (m/min)	0.313	0.991	1.65	2.35	3
Tiempo medio giro (hrs)	18.4	5.81	3.49	2.44	1.91
2 lps	6.27	1.98	1.19	0.83	0.65
3 lps	9.4	2.97	1.78	1.25	0.98
4 lps	12.54	3.96	2.38	1.66	1.3
5 lps	15.67	4.95	2.97	2.08	1.63

Aquí podemos ver las láminas (mm) que aplica el pivote central de la UAAAN, a diferentes porcentajes de velocidad en el timer, en donde podemos aterrizar el concepto de que entre mayor sea la velocidad de avance, menor será la lámina aplicada, por lo que para poder satisfacer la demanda de los posibles cultivos que se podrían establecer bajo este sistema se necesitaría trabajar con una velocidad baja (5%, 10%, 15%, 20%) para así aplicar láminas más pesadas con las cuales los

forrajes se podrían cosechar sin ningún problema. Quizá se puede realizar un análisis más profundo del riego suplementario, para apoyarse con las láminas que serían aplicadas por el agua pluvial y aplicar solo la lámina que hiciera falta a una velocidad ajustada solo a los requerimientos hídricos del cultivo. O así mismo en tiempo de sequía bajar el porcentaje para aplicar una lámina más pesada ya que la evapotranspiración aumentaría.

En las tres pruebas se apreció que el abastecimiento de agua para alimentar el sistema se veía limitado con el reservorio de 25,000 litros con el que cuenta, sin embargo, como se mencionaba anteriormente el fin de esta prueba es ajustar el funcionamiento del sistema con el equipo existente, así que por ello se llegó a concluir que la prueba más eficiente era de 4 lps. Y por ende se buscaron las características de la bomba y motor con el que cuenta el pivote, siendo esta una parte fundamental si no es que la más importante para su puesta en marcha, y la curva de la bomba analizada es la siguiente:

Figura 24.- Curvas de comportamiento de motobomba industrial trifásica eléctrica con motor de 5 HP.



47 gpm (3 lps)

62.8 gpm (4 lps)

78 gpm (5 lps)

La curva que se analizó es perteneciente a una Motobomba industrial trifásica eléctrica con motor de 5 HP. Succión de 2" y descarga 1.5". Modelo: 5IME0500.

Como podemos ver muestra una eficiencia hasta el 50%, que para un sistema de riego y más en este tipo que es de aspersion no es apta, y no se recomienda la

utilización de una bomba con una eficiencia menor al 70% debido a la importancia del bombeo dentro de la alimentación del sistema de riego por aspersión.

Podemos apreciar que el punto donde se intercepta la eficiencia más alta que alcanzo en las 3 pruebas fue de un aproximado del 48% correspondiente a la prueba con 5 lps y da un mayor gasto con una menor carga, sin embargo, en campo no es la mejor opción. Y la prueba que en campo resulta ser bueno, intercepta en una eficiencia de un aproximado del 44%, porcentaje que resulta ser uno bueno si consideramos que el rango de eficiencia que oferta el fabricante es del 50%, igual de esta forma podemos concluir que es la mejor de las opciones, ya que en la prueba numero 1 la eficiencia cae hasta un 38% por tal teóricamente no tendría que haber problema con trabajar el pivote con 5 lps, sin embargo considerando también que el abatimiento del reservorio si no se equilibra su llenado contra su extracción podrían generar muchos problemas, en primer lugar y el más importante podría ocurrir que no se cubriera la demanda de agua del cultivo establecido, por ello se vería afectado el desarrollo de una parte de la población del cultivo y en términos generales tener un déficit hídrico, ya que los últimos aspersores serían los que tirarían menos agua, mientras que los primeros aplican más volumen y en resumen tendríamos una pérdida monetaria bastante elevada.

Así que dejando el emboquillado para operar el sistema a 4 lps, podemos trabajar con una seguridad de que podemos estimar la oferta de agua o su disponibilidad, para saber con certeza cuales cultivos se pueden establecer sin ningún problema, y en qué tiempo de riego podemos contar y poder ajustar la velocidad de avance de acuerdo a la demanda de agua por parte del productor o como lo demande el suelo, el clima, y los otros factores dependientes del sistema. Así que con un %CUH del 80.18% en 4 lps, se clasifica como regular, por lo tanto, no se necesitan hacer ajustes, solo tener supervisión a la hora de aplicar el riego estar monitoreando que los aspersores tiren agua normal, evitando el taponamiento de boquillas y que se atoren los platos mediante mantenimientos correctivos previo a su uso después de fertilizar o después de días de haber estado regando.

CONCLUSIONES

Se midió la pluviometría del pivote central WR800 de la UAAAN a una misma velocidad de avance programada en el timer del 10%, velocidad con la cual avanza 0.39 m/minutos. Los resultados muestran que una de las tres pruebas es la única que presenta una clasificación “*regular*” con un % CUH del 80.18% en un gasto del sistema de 62.8 gpm o bien 4 lps , dicha clasificación da como resultado que el sistema está en un uso eficiente y en buenas condiciones de funcionamiento, en el cual solo se tendrían que realizar mantenimientos preventivos como limpieza de boquillas, ajustar bien los rotores, cerciorar que estén bien apretados todos los componentes del rotor, que los platos giren correctamente y una supervisión de funcionamiento cuando el sistema esté en marcha, esto para hacer los ajustes pertinentes en caso de que un bajante estuviera dañado, que un plato no gire, o que un aspersor solamente este chorreando y no asperjando como se supone debería de hacerlo, para evitar encharcados y sobre todo que la demanda hídrica que impone el cultivo se cumpla tal y como lo requiera. En cambio, con la prueba de 3 lps (paquete de boquillas inicial con el que contaba el pivote), arrojo un % CUH del 72.11% clasificado como “pobre” en el cual se tiene que hacer un mantenimiento ya no preventivo, si no correctivo, ya que algo está afectando a la uniformidad, y por lo tanto no se recomienda el uso del pivote en estas condiciones. Y con la prueba de 5 lps mostró un 63.11% de % CUH, que igual se clasifica como “pobre”, queda más lejano de una eficiencia “*regular*”, no cumple, aunque se puede variar con un cambio de platos para modificar el tipo de aspersión de las gotas, pero el plato café es el que se recomienda para los cultivos a establecer bajo este pivote.

Por parte de la empresa prevé un 85% a 90% de % CUH para un pivote en sus óptimas condiciones y apegado a un correcto diseño del mismo, por lo que la prueba más aceptable es la de 4 lps con un 80.11% de % CUH, por lo que debido a las condiciones en las que se encuentra el pivote, el porcentaje que oferta la empresa si cumple en campo lo que proyecta el fabricante, y también por ende el paquete de boquillas para el óptimo aprovechamiento del sistema es que opere con un gasto de 4 lps, ahora se puede aplicar si es que así se requiera; una lámina más pesada

o ahora bien se puede estimar la lámina requerida para un cultivo teniendo los parámetros con los que puede cubrir mediante el sistema y sus límites de operación.

El gasto de 4 lps se encuentra dentro del rango recomendado por la empresa del equipo de bombeo con una eficiencia para este gasto de 44%, un rango de eficiencia alto si consideramos que el mayor de esta bomba es del 50%, por lo tanto, este parámetro contribuyó a que se cumpliera el objetivo principal de este estudio que tenía como finalidad mejorar e incrementar la uniformidad en la pluviometría del equipo.

En resumen, se concluye que se cumplió el objetivo y la finalidad de mejorar e incrementar la pluviometría del pivote central pasando de un %CUH del 72.11% a un 80.18%, de un gasto de 3 lps de operación a 4 lps, cambiando el paquete de boquillas actual (pasando del paquete no.1 al paquete no. 2). Con lo cual se concretó el incremento de la uniformidad de la pluviometría de una clasificación “pobre” a una regular”.

RECOMENDACIÓN

El sistema de riego por pivote central analizado, se encuentra en buenas condiciones, se pueden establecer cultivos considerando el gasto disponible, para su aprovechamiento, mas puede considerarse hacer la inversión para un reservorio de agua de mayor captación, esto debido a que la disponibilidad de agua en la institución es bastante restringida, sin embargo con el cálculo correcto de dimensionamiento para un tinaco más o un tinaco de mayor volumen se puede contar con el agua suficiente para la operación del pivote que un cultivo le demande, sin tener ningún problema de un déficit hídrico debido a la demanda, a la evapotranspiración, a las condiciones climáticas, etc. De igual forma y muy importante, hacer una selección de la bomba de forma correcta, ya que la bomba con la que cuenta el sistema es muy ineficiente para este sistema, si se realiza el cálculo correspondiente para una de mayor potencia y mayor eficiencia el sistema funcionará mejor, habrá mayor uniformidad, mayor posibilidad a establecer cultivos diferentes, una inversión a corto, mediano y largo plazo siempre y cuando se tenga la disposición de planeación para el aprovechamiento óptimo del sistema del pivote central de la UAAAN, en el cual el mismo alumnado podría seguir trabajando y adquirir el conocimiento necesario para la operación de un sistema de riego tan importante y completo como lo es el pivote central.

BIBLIOGRAFIA

- Arrieta J. Pivote novedosa solución para el riego en el norte. Chile riego. Edición Número 31. Octubre 2007.
- BECERRA, F. 1995. Diseño, manejo y evaluación del pivote central y sus perspectivas para Chile. Proyecto de título. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción Chillan, Chile. 194 p.
- Briones Sánchez Gregorio e Ignacio García Casillas. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo.
- Broner, I. (2005) Irrigation Scheduling for Sesame Production. Colorado State University Cooperative Extension, Fort Collins, 1-4.
- Cárdenas, J. F. 2000. Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, Tesis. La Habana, Cuba.
- Figueroa. V.P. Especial pivote. Revista Chile Riego. No. 33, 2008
- Heerman, D.F, P. R. Hein 1968, Performance characteristics of self-propelled Center pivot sprinkler Irrigation Systems. Trans of the ASAE 11 – 15.
- Jiménez, E. E.R., G. Domínguez, R. Pérez, S. Montero, R. Cun. 2010. Estudio de la uniformidad de riego, en una máquina de pivote central. Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria 19 (1)
- Linares Medina, S. (2012). Modelado y simulación de la pluviometría para una lateral pivote. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Manuel Valiente Gómez Albacete, Junio 2008, Sistemas autopropulsados. El pivote frente al lateral de avance. Universidad de Castilla – La Mancha. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

- Rodríguez, H., J. Troncoso. 2005. Evaluación técnica y económica de un sistema de riego por pivote central. Agro Sur 33 (2) 62-73.
- Rojas, P. L. y Briones S. G. 2001. Diseño y operación de sistemas de riego. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Primera edición.
- Tarjuelo 1999, J.M. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi-Prensa. 2da Edición, 491.
- TARJUELO, J.M.: El riego de la remolacha azucarera en Castilla y León, capítulo 2: “Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión”, coordinado por AIMCRA, Ed. Caja Duero, 2000.
- Wade Rain 2021. WR800 Center Pivot Dealers Manual. Wade Manufacturing.
www.waderain.com
- Redagrícola. (Febrero, 2017). PIVOTES: La Revolución Circular del Riego.
<https://www.redagricola.com/cl/pivotes-la-revolucion-circular-del-riego/>
- Traxco. (Abril, 2021). Rotator R3000 Nelson.
<https://www.traxco.es/rotator-r3000-nelson/>
- <https://nelsonirrigation.com/products/pivot-sprinklers/rotator>
(Consultado el 15 de abril de 2021).
- <http://cdtec.cl/instructivos/Aforo.pdf>
(Consultado el 15 de abril de 2021).
- <http://bktenlinea.com/tienda/llantas-agricolas/llanta-para-tractor/taco-bajo/llanta-bkt-14-9-24-8-pr-bkt-tr135-hd-tt/>
(Consultado el 2 de mayo de 2021).

- Prueba No. 2

4 LPS

Tabla 12.- Datos recolectados en prueba de 4 lps para cálculo de %CUH.

# bote	Espaciado	Vol. Colectado cc/bote	Producto			Desviación			
X_i	de colector (m)	V_i	$X_i V_i$	Desviaion	VP	ponderada			
0	0	0	0	76.3560976	76.3560976	0			
1	3	0	0	76.3560976	76.3560976	76.3560976	80.183	%CUH	
2	6	27	54	49.3560976	76.3560976	98.7121951			
3	9	38	114	38.3560976	76.3560976	115.068293			
4	12	40	160	36.3560976	76.3560976	145.42439			
5	15	55	275	21.3560976	76.3560976	106.780488			
6	18	70	420	6.35609756	76.3560976	38.1365854			
7	21	60	420	16.3560976	76.3560976	114.492683			
8	24	58	464	18.3560976	76.3560976	146.84878			
9	27	60	540	16.3560976	76.3560976	147.204878			
10	30	60	600	16.3560976	76.3560976	163.560976			
11	33	56	616	20.3560976	76.3560976	223.917073			
12	36	55	660	21.3560976	76.3560976	256.273171			
13	39	54	702	22.3560976	76.3560976	290.629268			
14	42	59	826	17.3560976	76.3560976	242.985366			
15	45	60	900	16.3560976	76.3560976	245.341463			
16	48	67	1072	9.35609756	76.3560976	149.697561			
17	51	55	935	21.3560976	76.3560976	363.053659			
18	54	60	1080	16.3560976	76.3560976	294.409756			
19	57	54	1026	22.3560976	76.3560976	424.765854			
20	60	65	1300	11.3560976	76.3560976	227.121951			
21	63	63	1323	13.3560976	76.3560976	280.478049			
22	66	66	1452	10.3560976	76.3560976	227.834146			
23	69	72	1656	4.35609756	76.3560976	100.190244			
24	72	75	1800	1.35609756	76.3560976	32.5463415			
25	75	85	2125	8.64390244	76.3560976	216.097561			
26	78	84	2184	7.64390244	76.3560976	198.741463			
27	81	86	2322	9.64390244	76.3560976	260.385366			
28	84	90	2520	13.6439024	76.3560976	382.029268			
29	87	93	2697	16.6439024	76.3560976	482.673171			
30	90	91	2730	14.6439024	76.3560976	439.317073			
31	93	90	2790	13.6439024	76.3560976	422.960976			
32	96	90	2880	13.6439024	76.3560976	436.604878			
33	99	93	3069	16.6439024	76.3560976	549.24878			
34	102	91	3094	14.6439024	76.3560976	497.892683			
35	105	91	3185	14.6439024	76.3560976	512.536585			
36	108	90	3240	13.6439024	76.3560976	491.180488			
37	111	103	3811	26.6439024	76.3560976	985.82439			
38	114	85	3230	8.64390244	76.3560976	328.468293			
39	117	60	2340	16.3560976	76.3560976	637.887805			
40	120	50	2000	26.3560976	76.3560976	1054.2439			
$\sum X_i$		$\sum V_i$	$\sum X_i V_i$	$\sum (V_p - V_i)$		$X_i \sum (V_p - V_i)$			
820		2701	62612	815.629268		12407.922			

