

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Modelado y simulación de la pluviometría en pivote central a tres velocidades de avance**

**Por**

**IVÁN BENETTY MÉRIDA MORALES**

**Tesis**

**Presentado como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México Diciembre 2018**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Modelado y simulación de la pluviometría en pivote central a tres  
velocidades de avance

Por

IVÁN BENETTY MÉRIDA MORALES

Tesis

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

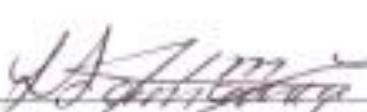
Aprobada por:

  
MC: Gregorio Sánchez Briones  
ASESOR PRINCIPAL

  
Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho  
ASESOR

  
MC. Tomas Reyna Cepeda  
ASESOR



  
Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la división de ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Diciembre 2018

# **AGRADECIMIENTO**

## **Primero quiero darle las gracias a Dios**

Por haberme dado el tiempo y la vida para terminar mis estudios, por acompañarme y por estar conmigo en los momentos de angustia y desesperación que la vida me ponía en esta etapa, por enseñarme el camino y ser guía aun en los momentos más difíciles y nunca dejarme solo.

## **A mi madre**

Le agradezco por todo el apoyo que me brindo durante todo este tiempo de mi formación académica, brindando los consejos y enseñanzas necesarias para poder ser la persona que hasta ahora soy, siendo ella el pilar que sustenta y dio fuerza a todo esto que hoy he logrado para mi formación como ingeniero, y por alentarme siempre de seguir adelante para terminar la carrera.

## **A mi Alma Terra Mater**

Por haberme cobijado y recibido en todo este tiempo, brindado los conocimientos y la formación académica para enfrentar los retos y pruebas que la vida me ponga fuera de la institución.

## **Al M.C. Gregorio Briones Sánchez**

Por la confianza, paciencia y el tiempo que me brindo, durante la elaboración de la tesis, que sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible

## **Al Dr. Javier de Jesús Cortez Bracho y el ING. Tomas Reyna Cepeda**

Por el tiempo y consejos que me dieron durante la creación de la tesis, que sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

## **A todos los maestros, secretarias y personal del Departamento de Riego y Drenaje**

Por las enseñanzas y conocimientos otorgados durante mi formación como ingeniero, pero sobre todo por la confianza y amistad que me brindaron durante todo este tiempo que tuve la fortuna de poder convivir con ellos.

## **A Jesica Figueroa Reyes**

Por toda la paciencia que me tuvo, por saber decir las palabras adecuadas en los momentos más necesarios, por su cariño, amor y comprensión la cual fue fundamental para poder seguir este camino de mi vida.

### **Al sensei Carlos Mata Constancio**

Por sus enseñanzas dentro y fuera del dojo por la disciplina que me inculco durante toda la carrera y por su incondicional apoyo

## **DEDICATORIA**

### **Dedico con gran gratitud a mi querida madre:**

#### **A mi madre Elia Morales Aguilar**

Quien me enseñó que en la vida no todo es fácil pero que si luchas por algo la recompensa es muy grata, que si el hambre me tira el orgullo me levantara. Teniendo siempre en mente de donde soy y a donde me dirijo y que el estudio te hará ser mejor persona, pero nunca olvidando de donde viene uno y ser siempre humilde en esta vida.

### **También quiero dedicarles a mis hermanos:**

Dayan Joana Mérida Morales José Antonio Velasco Morales Miguel Ángel Velasco Morales

Por su apoyo incondicional que siempre me brindaron y por la confianza que depositaron en mí y creer ante todo y jamás dejarme solo en este camino, por sus consejos y palabras de aliento que siempre me dieron en los momentos más difíciles.

### **A mis amigos y compañeros de carrera:**

Raúl Montesinos Domínguez y Walter Alejandro Villa Lobos López.

Por su sincera amistad y el apoyo brindado durante toda mi formación académica, por compartir momentos de felicidad y así también momentos difíciles.

## Índice de Contenido

AGRADECIMIENTO .....	1
DEDICATORIA .....	2
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
RESUMEN.....	8
SUMMARY .....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVOS .....	13
HIPÓTESIS .....	13
PRUEBA DE HIPÓTESIS Y ENSAYO DE SIGNIFICANCIA .....	13
REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
EMISORES LEPA, FILOSOFÍA DE MANEJO DEL AGUA EN LOS PIVOTES CENTRALES.....	14
ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO, EXPLOTACIÓN Y ADQUISICIÓN DE MÁQUINAS DE PIVOTE CENTRAL.....	14
Reguladores De Presión .....	15
Emisores Para La Aplicación Del Agua .....	15
El Rotor® R3000 Nelson Para Pivotes centrales.....	18
FLUJO ENERGÉTICO E INDICADORES DE EFICIENCIA EN PIVOTES CENTRALES DE RIEGO .....	20
RELACIÓN ENTRE INDICADORES DE DESEMPEÑO Y LA CALIDAD DEL RIEGO UTILIZANDO PIVOTE CENTRAL .....	21

PRUEBA DE UNIFORMIDAD RIEGO .....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS: .....	24
Equipo de cómputo y software para el modelado y simulación de la pluviometría ...	24
Materiales para la producción del video didáctico .....	25
Realización de la prueba.....	25
Predicción de la lámina de agua que descargan los patrones de aspersion en movimiento.....	26
Pasos para la comparación de uniformidad de riego entre observados, calculados y lo que la empresa ofrece para las boquillas .....	31
Pasos para realizar video didáctico para pruebas y prácticas de pluviometría en campo.....	34
PREPRODUCCIÓN.....	34
PRODUCCIÓN.....	35
POSTPRODUCCIÓN.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
Comparación de la pluviometría colectada a diferentes velocidades de avance.....	37
Comparación de la uniformidad de riego observada, con la calculada mediante la ecuación de Hermann y Hein (1968) y la uniformidad de riego que la empresa ofrece para el paquete de boquillas .....	56
CONCLUSIONES .....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64
APÉNDICE .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 5. 1 COMPONENTES DE LOS ASPERSORES .....	18
FIGURA 5. 2 COMPONENTES DEL ROTOR R3000 Y ASPERSIÓN SEGÚN EL COLOR DEL PLATO .....	20
FIGURA 6. 1 MODELADO Y SIMULACIÓN EN INGENIERÍA DE RIEGO (ADAPTADOS DE WIKIPEDIA 2018) .....	27
FIGURA 6. 2 DIÁMETRO DE TIRO DE ACUERDO AL TAMAÑO DE BOQUILLA Y LA PRESIÓN .....	27
FIGURA 6. 3 LAMINA COLECTADA POR LOS TRASLAPES DE CADA ROTOR .....	30
FIGURA 6. 4 SIMULACIÓN DEL TRASLAPE DE LAS LÁMINAS DE RIEGO	31
FIGURA 6. 5 UNIFORMIDAD DE RIEGO QUE LA EMPRESA OFRECE POR TAMAÑO DE BOQUILLAS A 6 PIES DE ALTURA EN DIFERENTES PRESIONES .....	33
FIGURA 6. 6 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO DE MODELO Y SIMULACIÓN PARA LA EDICIÓN DEL VIDEO .....	34
FIGURA 7. 1 COMPARACIÓN GRÁFICA DE VOLÚMENES OBSERVADOS CON BOQUILLAS TAPADAS Y DESTAPADAS A UNA VELOCIDAD EN EL TIMER DE 20% .....	37
FIGURA 7. 2 COMPARACIÓN GRÁFICA DE VOLÚMENES OBSERVADOS CON BOQUILLAS TAPADAS Y DESTAPADAS A UNA VELOCIDAD EN EL TIMER DE 20% .....	38
FIGURA 7. 3 COMPARACIÓN DE VOLÚMENES COLECTADOS EN PIVOTE CENTRAL A DISTINTAS VELOCIDADES .....	41
FIGURA 7. 4 COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS A DIFERENTES VELOCIDADES .....	43
FIGURA 7. 5 COMPARACIÓN DEL PERFIL DE PLUVIOMETRÍA OBSERVADO V/S CALCULADO EN UN LATERAL PIVOTE 20% TIMER .....	44
FIGURA 7. 6 COMPARACIÓN DEL PERFIL DE PLUVIOMETRÍA OBSERVADO V/S CALCULADO EN UN LATERAL PIVOTE 30% TIMER .....	44
FIGURA 7. 7 COMPARACIÓN DEL PERFIL DE PLUVIOMETRÍA OBSERVADO V/S CALCULADO EN UN LATERAL PIVOTE 50% TIMER .....	45
FIGURA 7. 8 DISTRIBUCIÓN GRÁFICA DE LA T-STUDENT A DOS COLAS .....	55
FIGURA 7. 9 UNIFORMIDAD DE RIEGO QUE LA EMPRESA OFRECE POR TAMAÑO DE BOQUILLAS A 6 PIES DE ALTURA EN DIFERENTES PRESIONES .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 6. 2 CONSULTA DE LOS DIÁMETROS DE MOJADO Y CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LOS ROTORES R3000 EN UNIDADES INGLESAS.....	28
TABLA 6. 3 CONSULTA DE LOS DIÁMETROS DE MOJADO Y CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LOS ROTORES R3000 EN UNIDADES MÉTRICAS.....	29
TABLA 6. 4 TRASLAPE DE LOS ROTORES.....	30
TABLA 6. 5 TABLA DE VOLÚMENES COLECTADOS PARA EL CÁLCULO DE UNIFORMIDAD DE RIEGO AL 20% DE VELOCIDAD DE AVANCE EN EL TIMER.....	31
TABLA 7. 1 COMPARACIÓN GRÁFICA DE VOLÚMENES OBSERVADOS CON BOQUILLAS TAPADAS Y DESTAPADAS A UNA VELOCIDAD EN EL TIMER DE 20% .....	39
TABLA 7. 2 PLUVIOMETRÍA COLECTADA A TRES DIFERENTES VELOCIDADES DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO.....	39
TABLA 7. 3 VALORES DE SIMULACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA EN PIVOTE CENTRAL .....	41
TABLA 7. 4 DATOS OBSERVADOS CONTRA CALCULADOS A UNA VELOCIDAD EN EL TIMER DEL 20%.....	46
TABLA 7. 5 RESULTADOS DE LA PRUEBA T-STUDENT A DOS COLAS Y 5% ASOCIADOS A LA SIGNIFICANCIA DE LAS HIPÓTESIS PARA LA EVALUACIÓN AL 20% DE VELOCIDAD EN EL TIMER.....	47
TABLA 7. 6 DATOS OBSERVADOS CONTRA CALCULADOS A UNA VELOCIDAD EN EL TIMER DEL 30%.....	49
TABLA 7. 7 RESULTADOS DE LA PRUEBA T-STUDENT A DOS COLAS Y 5% ASOCIADOS A LA SIGNIFICANCIA DE LAS HIPÓTESIS PARA LA EVALUACIÓN AL 30% DE VELOCIDAD EN EL TIMER.....	50
TABLA 7. 8 DATOS OBSERVADOS CONTRA CALCULADOS A UNA VELOCIDAD EN EL TIMER DEL 50%.....	52
TABLA 7. 9 RESULTADOS DE LA PRUEBA T-STUDENT A DOS COLAS Y 5% ASOCIADOS A LA SIGNIFICANCIA DE LAS HIPÓTESIS PARA LA EVALUACIÓN AL 50% DE VELOCIDAD EN EL TIMER.....	53
TABLA 7. 10 TABLA DE VOLÚMENES COLECTADOS PARA EL CÁLCULO DE UNIFORMIDAD DE RIEGO AL 20% DE VELOCIDAD DE AVANCE EN EL TIMER.....	56

TABLA 7. 11 DE VOLÚMENES CALCULADOS PARA EL CÁLCULO DE UNIFORMIDAD DE RIEGO AL 20% DE VELOCIDAD DE AVANCE EN EL TIMER.....	57
TABLA 7. 12 COMPARACIÓN DE UNIFORMIDAD DE RIEGO A DIFERENTES VELOCIDADES.....	60
TABLA 7. 13 CRITERIO DE INTERPRETACIÓN BÁSICA DE LOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD “WWW.EXTESION.UGA.EDU/PUBLICATIONS/” .....	60

# **Modelado y simulación de la pluviometría en pivote central a tres velocidades de avance**

**Por IVÁN BENETTY MÉRIDA MORALES**

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación se realizó en el pivote central de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la cual está ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila. Este trabajo tiene como principales objetivos: Medir la pluviometría en pivote central a diferentes velocidades. Comparar la uniformidad de riego observada, con la calculada mediante la ecuación de Hermann y Hein (1968) y la uniformidad de riego que la empresa ofrece para el paquete de boquillas. Hacer un video didáctico el cual le servirá a la universidad para demostración y prácticas de pluviometría en campo.

En esta prueba se instalaron 40 pluviómetros con un diámetro de apertura de 11 cm y aprox. 7.5 cm de altura puestos en una estaca de 60 cm de largo en una línea recta desde el punto de pivote. Esta línea que se extienden a lo largo de 120 metros radialmente, con un espaciado de 3 m entre cada colector, llevando el pivote a diferentes velocidades (20% 30% y 50%) con una presión de 30 psi y permitiendo que el sistema pase sobre ellos, debe ser aproximadamente de 30 a 45 grados “por delante” de la dirección en la que el pivote viaja para que el agua no entrará en los medidores durante el arranque inicial de pivote.

Para poder predecir las láminas precipitadas con el modelo se necesitan datos de las boquillas instaladas en el pivote central los cuales se buscó en la página de la empresa o también se pueden tomar los datos de las boquillas instaladas en un sistema real para ingresarlos en la simulación. Una vez recopilado los datos de cada rotor como son gasto, tamaño de la boquilla, presión, y diámetro de cobertura se acomodaron en una hoja de cálculo en Excel que facilito el trabajo de la simulación del modelo en general luego se programan las instrucciones de Excel para ejecutar el algoritmo en secuencia. El modelo asume que la simetría del patrón simple de aspersión (PSA virtual) no se deforma durante la simulación.

Para validar la simulación se plantearon las hipótesis,  $H_0$ : la pluviometría que el modelo predice (matriz X) es igual a la pluviometría observada (matriz Y) en la prueba de uniformidad y la hipótesis  **$H_a$** : la pluviometría que el modelo predice (matriz X) es diferente a la pluviometría observada (matriz Y) en la verificación de campo. El descartado de hipótesis y el ensayo de significancia se verificó en base al error típico de la estima evaluada con la prueba t-Student.

Si  $T_{cal} \leq T_a$  se acepta  $H_0$ ., deduciendo que el modelo es confiable.

Si  $T_{cal} > T_a$  se rechaza  $H_0$ ., deduciendo que el modelo no es confiable

Se midió la pluviometría en un pivote central a diferentes velocidades, encontrando que al bajar el % en el timer la velocidad de avance disminuye de 50% a 20%, la velocidad de avance disminuye de 1.677 a 0.67 (m/minuto) en la última torre. Se hizo la comparación de la pluviometría con los datos recolectados en campo contra los calculados y se encontró que el modelo de simulación de pluviometría para dos pruebas fueron aceptadas, las cuales fueron al 30% y 50%, mientras que la prueba al 20% de avance en el timer el modelo no predijo la pluviometría ya que la **t calculada** según la prueba t-studen se encontró dentro del margen de error manejada al 5% a dos colas.

Se comparó la uniformidad de riego observada contra la calculada, mediante la ecuación de Hermann y Hein (1968) y la uniformidad de riego que la empresa ofrece para el paquete de boquillas. Se logró saber que tanto como el modelo y la observación en campo son similares a la que la empresa ofrece ya que se encontró dentro del rango que la empresa maneja, Se tomó en cuenta que algunas de las boquillas estaban dañadas la cual afectó la uniformidad y en algunos casos las condiciones climáticas tales como el viento o la radiación afectan a estas pruebas.

**Palabras clave:** Pivote central, timer, rotor Nelson R3000, Uniformidad, Pluviometría.

# **Modeling and simulation of precipitation in a center pivot sprinkler irrigation system at three advance speeds**

**By IVAN BENETTY MÉRIDA MORALES**

## **SUMMARY**

The present research work was carried out in the center pivot of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), which is located in Buenavista Saltillo, Coahuila. This work has as main objectives: Measure the rainfall in central pivot at different speeds. Compare the uniformity of irrigation observed, with that calculated by the Hermann and Hein equation (1968) and the uniformity of irrigation that the company offers for the nozzle package. Make a didactic video which will serve the University for Field Demonstration and sprinkler practices.

In this test, 40 catch gauges with an opening diameter of 11 cm and approx. 7.5 cm in height placed on a 60 cm long stake in a straight line from the pivot point. This line that extend along 120 meters radially, with a spacing of 3 m between each manifold, carrying the pivot at different speeds (20% 30% and 50%) with a pressure of 30 psi and allowing the system to pass Above them, it should be approximately 30 to 45 degrees "ahead" of the direction in which the pivot traveled so that the water will not enter the gauges during the initial pivot start.

In order to be able to predict the precipitated water depth with the model, data of the nozzles installed in the central pivot are needed, which were searched in the company's page or the data of the nozzles installed in a real system can be taken to enter them in the simulation. Once collected the data of each rotor such as expense, size of the nozzle, pressure, and diameter of coverage were accommodated in a spreadsheet in Excel that facilitated the work of the simulation of the model in general then Excel instructions are programmed to

execute the algorithm in sequence. The model assumes that the symmetry of the simple sprinkler pattern (virtual PSA) does not deform during the simulation.

To validate the simulation, the hypotheses were proposed,  $H_0$ : the precipitation predicted by the model (matrix X) is equal to the precipitation observed (matrix Y) in the uniformity test and the hypothesis  $H_a$ : the precipitation predicted by the model (matrix X) is different from the observed precipitation (Y matrix) in field verification. The discarded hypothesis and the significance test were verified based on the standard error of the estimate evaluated with the t-Student test.

If  $T_{cal} \leq T_a$ ,  $H_0$  is accepted, deducting that the model is reliable.

If  $T_{cal} > T_a$  rejects  $H_0$ , deducting that the model is not reliable

The precipitation was measured in a central pivot at different speeds, finding that decreasing the% in the timer the advance speed decreases from 50% to 20%, the advance speed decreases from 1,677 to 0.67 (m / minute) in the last tower. The comparison of the precipitation with the data collected in the field against the calculated ones was made and it was found that the precipitation simulation model for two tests were accepted, which were at 30% and 50%, while it could be at 20% of advance in the timer the model did not predict the rainfall since the t calculated according to the t-Student test was found within the margin of error handled at 5% to two tails.

The uniformity of irrigation observed against the calculated one was compared, using the Hermann and Hein equation (1968) and the uniformity of irrigation that the company offers for the nozzle package. It was found that as much as the model and field observation are similar to the one offered by the company since it was within the range that the company handles, it was taken into account that some of the nozzles were damaged which affected the uniformity and In some cases, climatic conditions such as wind or radiation affect these tests.

Key words: Central pivot, timer, Nelson R3000 rotor, Uniformity, Hietogram.

# INTRODUCCIÓN

Frente a la disminución general de la disponibilidad de agua en la agricultura y al aumento del consumo de energía que se debe principalmente al uso de agua a presión, hoy en día es necesario usar ambos de manera eficiente agua y energía en la agricultura.

La irrigación uniforme, los bajos costos de mano de obra, las operaciones más sencillas y la robustez son las principales características de los sistemas de riego de pivote central que suelen ser preferidos por los agricultores, ya que son capaces para aumentar la rentabilidad de la granja en comparación con los sistemas de riego tradicionales. El objetivo principal del riego por pivote central es aplicar la cantidad óptima de agua a la zona de la raíz del cultivo en la cantidad que necesita para el desarrollo y que no puede ser proporcionada por las lluvias. Por ello es necesario saber que si el pivote que se maneja está teniendo la eficiencia necesaria para las operaciones requeridas

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 acabo las medidas necesarias para mejorar ese parámetro.

## OBJETIVOS

- ✓ Medir la pluviometría en pivote central a diferentes velocidades
- ✓ Comparar la uniformidad de riego observada, con la calculada mediante la ecuación de Hermann y Hein (1968) y la uniformidad de riego que la empresa ofrece para el paquete de boquillas.
- ✓ Hacer un video didáctico el cual le servirá a la universidad para demostración y prácticas de pluviometría en campo.

## HIPÓTESIS

**Ho:** la pluviometría que el modelo predice es igual a la pluviometría observada en la prueba de uniformidad.

**Ha:** la pluviometría que el modelo predice es diferente a la pluviometría observada en la verificación de campo.

## PRUEBA DE HIPÓTESIS Y ENSAYO DE SIGNIFICANCIA

Si  $T_{cal} \leq T_a$  no es rechazada  $H_o$ ., deduciendo que el modelo es confiable.

Si  $T_{cal} > T_a$  se rechaza  $H_o$ ., deduciendo que el modelo no es confiable.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## **EMISORES LEPA, FILOSOFÍA DE MANEJO DEL AGUA EN LOS PIVOTES CENTRALES**

Roque (2005) hace una revisión y comentarios sobre las ventajas y limitantes del empleo del LEPA (Low Energy Precision Application) en los sistemas de riego de pivotes centrales. Estos sistemas o filosofía de manejo del agua para condiciones de escasez o mala calidad del líquido es una alternativa viable para la producción de alimentos. Introducida en la década del 80 en las planicies del sur de Texas, donde la alta evaporación del agua y la necesidad de regar grandes áreas con pivotes centrales obligaba a la búsqueda de una alternativa para incrementar al máximo la eficiencia de aplicación del riego. Aún en fase de estudio e introducción en Cuba para áreas específicas, puede ser una solución de incremento de los rendimientos de los cultivos, empleando menos agua y aguas con calidad limitada.

Concluyendo que la introducción del concepto LEPA puede ser una alternativa más en la búsqueda de mayor eficiencia en el uso del recurso agua, considerando el nivel alcanzado y la experiencia que se irá acumulando en el empleo de los pivotes centrales con boquillas de baja presión. El LEPA puede ser empleado en áreas que reúnan los requisitos obligados (nivelación, pendiente y características del suelo) para poder aprovechar las ventajas de esta reciente filosofía de manejo del agua que surge como un reto a la realidad apremiante de que el líquido de la vida es cada día más escaso.

## **ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO, EXPLOTACIÓN Y ADQUISICIÓN DE MÁQUINAS DE PIVOTE CENTRAL**

Según González *et al.*, (2002) las máquinas de pivote central están entre los sistemas de riego más populares del mundo. Ellas han hecho fácil y muy eficaz

el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuentes y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho. Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible. Las máquinas de pivote central se consideran una revolución en la producción agrícola con regadío, comparado solo con la introducción del tractor.

## **Reguladores De Presión**

Keller *et al.*, (1999) existen dos tipos de dispositivos para mantener constante la descarga de un emisor, ya que la presión en la boquilla varía cuando el pivote gira sobre una elevación alta o baja. Uno de estos dispositivos es el "regulador de flujo" (usado en las máquinas hidráulicas), diseñado para mantener la descarga constante con el aumento de presión, sobre todo en las posiciones próximas al pivote. El otro dispositivo usado es el "autorregulador de presión" consistente en un resorte que regula automáticamente la presión debajo del emisor, manteniéndola constante a la entrada del mismo. Concluyendo que los reguladores de presión ("disipadores de presión") están diseñados para reducir la presión en la boquilla. El propósito del regulador es sostener aguas abajo una presión constante, pero la presión aguas abajo es función del flujo que pasa a través del regulador. En otras palabras la presión de la descarga de un regulador de presión depende del caudal.

## **Emisores Para La Aplicación Del Agua**

Emiquez *et al.*, (2000) existe una variada gama de emisores de riego para aplicar el agua con los pivotes centrales, en los últimos 10 años se ha generalizado en el mundo la utilización de las boquillas de baja presión que trabajan entre 10 y 18 mca, lo cual significa un ahorro considerable de energía si lo comparamos

con la presión de operación de los aspersores de impacto que anteriormente se utilizaban en estas máquinas que oscilaban entre 30 y 60 mca. El mercado hoy dispone de diferentes emisores para variadas condiciones de suelo, cultivos y clima, los principales modelos que se ofertan son: Spray, Rotator, Spinner, Wobbler, LDN, LEPA. Y las principales casas comerciales que lo fabrican están: Senninger, Nelson irrigation corporation, Rain Bird; entre algunas.

El modelo Spray o rociador es un emisor fijo de baja presión, donde el agua al salir por la boquilla choca contra un plato estático que está ranurado, (orinando chorros de agua a una presión que oscila entre 4 y 18 mca). Existen varios tipos de platos que pueden proporcionar diferentes chorros de salida del agua (chorros finos, chorros medianos y chorros fuertes). Debido a que la entrega del agua es fija la aplicación instantánea es alta y se recomiendan en suelos de poca pendiente y alta velocidad de infiltración. El Spray es el modelo que utiliza Cuba en la máquinas Fregat y que fabrica el IIRD, otras máquinas como la Ballama y la Agroinsal utilizan también Spray pero de firmas extranjeras. El comportamiento de este emisor en las condiciones cubanas ha sido evaluado de bueno, más del 90 % de las máquinas que regaron papa en la última campaña lo hicieron con este dispositivo, lográndose en algunas fincas rendimiento sobre las 40 t/ha.

Otro de los modelos disponibles en el mercado internacionales el Rotator que es muy similar al Spinner, solo que gira a una velocidad mucho más lenta, debido a un freno en el plato que no tiene el Spinner, por lo que necesita una presión de operación superior. Este emisor tiene un radio de alcance de más de 8 metros (el Spray alcanza 5 m y el Spinner 6,5 m), riega con una gota más grande y maneja el viento mejor que todos los emisores de baja presión con una aplicación instantánea menor que el Spray y algo superior al Spinner. El Rotator es el que tiene instalado los pivotes Valmont que han sido adquiridos recientemente. El IIRD efectuó pruebas pluviométricas a cuatro máquinas con este dispositivo y obtuvo Coeficientes de Uniformidad de 86, 87, 88 y 94 %, lo que demuestra la eficacia de estos emisores. Este tipo de emisor se recomienda para suelos con bajas velocidades de infiltración (de textura media a pesada)

El Wobbler es un emisor que posee un cuerpo, que el agua al salir, lo hace girar de forma loca, tiene un radio de alcance entre 6 y 8 metros y una aplicación instantánea muy baja y sus gotas son más gruesa que las del Spray y el Spinner. Funciona con presiones entre 7 y 18 mca, es recomendado en todos los suelos, pero funciona mejor en suelos pesados para prevenirlos encharcamientos. Este emisor trabajó solamente en dos máquinas del tipo Valinont en una Empresa de Cultivos Varios en Güira de Melena (Güira de Melena se encuentra ubicado al sureste de la provincia Artemisa. Limita al Norte con el municipio San Antonio de los Baños; al Sur con el Golfo de Batabanó, Mar Caribe), el Coeficiente de Uniformidad obtenido por el IIRD en esta máquina fue de 91 %.

El LDN (Low Density Nozzle), boquilla de baja intensidad. El principio de funcionamiento es muy similar al del Spray, con un plato que aplica chorros de agua fijos, la diferencia es que el LDN utiliza hasta 3 platos en un mismo emisor, aplicando cada uno un volumen igual, con lo cual obtienen una aplicación instantánea mucho menor que la del Spray. Funciona bien en suelos arenosos hasta francos arenosos con presiones entre 7 y 18 mca y radios de alcance entre 6 y 7 metros y riega con una gota mediana.

El LEPA (Low Energy Precision Application) o sea baja energía y aplicación precisa, es un emisor para aplicaciones especiales, tiene que estar instalado muy cerca del suelo (40 cm), y por esto alcanza la mayor eficiencia entre todos los emisores, aplica el agua muy próxima al cultivo, siendo la más precisa, pero sin embargo la aplicación instantánea es muy alta, se necesitan diques para acomodar el agua. Se considera que es el emisor más eficiente, incluso que el riego por goteo. Todos los emisores mencionados son fabricados en plásticos especiales y son resistentes a la corrosión a los productos químicos, pueden durar, según entre 7 y 10 años.

Concluye que de los seis emisores que se ofertan en el mercado internacional se han probado en Cuba hasta el momento tres (Spray Rotator y Wobbler), los resultados obtenidos han sido buenos. Es factible la utilización de emisores del tipo Spray para suelos con altas velocidades de infiltración (suelos medios y

ligeros). Para los suelos pesados se recomienda utilizar emisores del tipo Rotator y Wobbler debido a la baja aplicación instantánea que ellos proporcionan.

## El Rotator® R3000 Nelson Para Pivotes centrales

Nelson Irrigation Corporation (2017) el Rotator® R3000 es el aspersor para pivotes más popular del mundo. Presenta un concepto de accionamiento exclusivo y patentado, y una simplicidad de diseño con una sola parte móvil. Ofrece la mejor fiabilidad y durabilidad posible, aun en condiciones de servicio difíciles.

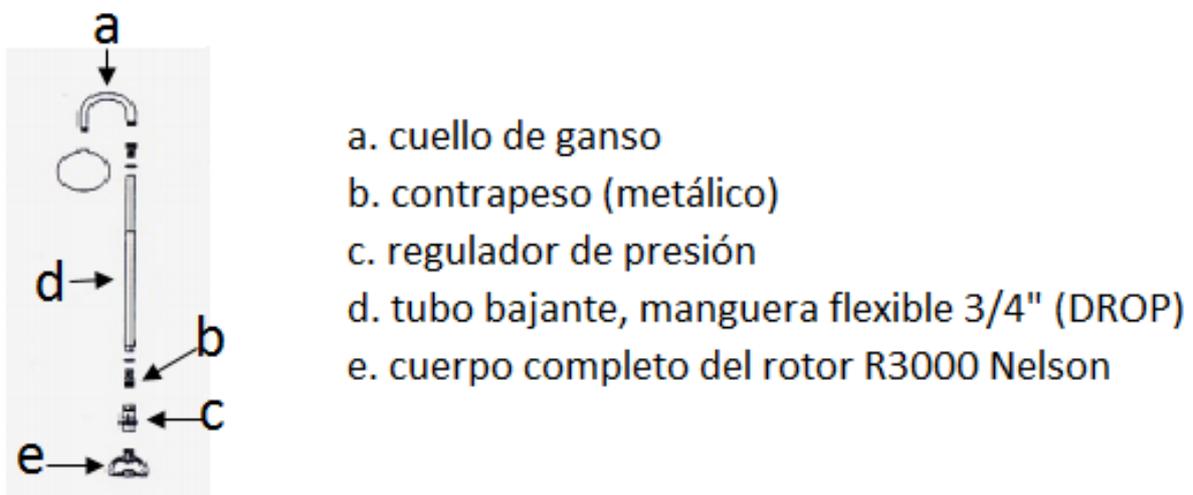


Figura 5. 1 Componentes de los aspersores

**CARACTERÍSTICAS & VENTAJAS: MAYOR ALCANCE.** El Rotator® R3000 brinda el mayor alcance cuando se monta sobre bajantes. Como todo aspersor giratorio, el Rotator® R3000 ensancha el patrón de agua, reduciendo la pluviometría y la esorrentía, y aumentando el tiempo de saturación.

**MEJOR UNIFORMIDAD.** El R3000 mejora la uniformidad, ya que los aspersores adyacentes generan una mayor superposición.

**MENOS DISPERSIÓN POR EL VIENTO Y PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN.**

El R3000 cumple el objetivo de montar un aspersor giratorio sobre drops -bajo y fuera del viento a fin de reducir la dispersión por el viento y la pérdida por evaporación al mínimo.

**BOQUILLAS CON CÓDIGO CROMÁTICO.** La gama de boquillas 3TN es el componente clave de la serie 3000 de productos para pivotes. Son fáciles de identificar, robustas y de alta precisión. Con el adaptador de cambio rápido se desmonta el Rotator fácilmente para limpiar una boquilla atascada -sin herramienta particular ni apagar el sistema. Nunca fue más cómodo de cambiar las boquillas a media estación.

**DISEÑO MODULAR VERSÁTIL.** Un sólo emisor no basta para cada necesidad. La serie 3000 integra piezas modulares que se cambian fácilmente. Utilice una combinación al principio de la estación y cámbiela después.

**DISEÑO AVANZADO.** Los platos del Rotator R3000 fueron específicamente diseñados para brindar un alto rendimiento.

- Control de la velocidad de rotación
- Uniformidad incorporada
- Control del tamaño de gotas:
- -Finas: para cultivos y suelos delicados.

- Antieólicas: para una eficiencia de riego óptima.



TIPO DE ESPESOR 6 DE PLATO	DESCRIPCIÓN	PRESIÓN	BOQUILLA**	ALCANCE*** (PRUEBAS FUERA DEL VIENTO)
PLATO AZUL U4 DE 8°	<b>PARA USO ENCIMA DEL PIVOTE</b> 4 chorros de ángulo bajo para un recubrimiento y una resistencia al viento óptimos.	20-50 PSI 1,4-3,4 bar	3TN num.16-50	Recubrimiento @ 90 psi (2,0 bar), boquilla num. 32  Altura de instalación: 12 ft. (3,7m) — Alcance: 70 ft. (21,3m)
¡NUEVO! PLATO BLANCO	<b>PARA USO ENCIMA DEL PIVOTE</b> Chorros de ángulos múltiples para un mejor rendimiento a baja presión desde la parte superior del pivote.	15-30 PSI 1,0-2,0 bar <small>DATOS PRELIMINARES</small>	3TN num.14-50 <small>DATOS PRELIMINARES</small>	Recubrimiento @ 90 psi (2,0 bar), boquilla num. 32  <b>DATOS PRELIMINARES</b> Altura de instalación: 12 ft. (3,7m) — Alcance: 74 ft. (22,6m)
PLATO VERDE D4 DE 8°	<b>PARA USO CON DROPS</b> 4 chorros de ángulo bajo para un recubrimiento y una resistencia al viento óptimos.	20-50 PSI 1,4-3,4 bar	3TN num.16-50	Recubrimiento @ 90 psi (2,0 bar), boquilla num. 32  Altura de instalación: 9 ft. (2,7m) — Alcance: 72 ft. (21,9m) 6 ft. (1,8m) — 64 ft. (19,5m)
PLATO ROJO D6 DE 12°	<b>PARA USO CON DROPS</b> 8 chorros para gotas más finas a baja presión.	15-30 PSI 1,0-2,0 bar	3TN num.14-50	Recubrimiento @ 90 psi (2,0 bar), boquilla num. 32  Altura de instalación: 9 ft. (2,7m) — Alcance: 66 ft. (20,1m) 6 ft. (1,8m) — 58 ft. (17,7m)
¡NUEVO! PLATO ANARANJADO	<b>PARA USO CON DROPS</b> Chorros de ángulos múltiples para una mejor filtración en cultivos altos.	15-30 PSI 1,0-2,0 bar	3TN num.14-50	Recubrimiento @ 90 psi (2,0 bar), boquilla num. 32  Altura de instalación: 9 ft. (2,7m) — Alcance: 72 ft. (21,9m) 6 ft. (1,8m) — 66 ft. (20,1m)
¡NUEVO! PLATO MARRÓN	<b>PARA USO CON DROPS</b> Diseñado con chorros de ángulos múltiples para mejorar el rendimiento en cultivos altos como papas, cebollas y remolachas azucareras	15-30 PSI 1,0-2,0 bar	3TN num.14-50	Recubrimiento @ 90 psi (2,0 bar), boquilla num. 32  Altura de instalación: 9 ft. (2,7m) — Alcance: 68 ft. (20,7m) 6 ft. (1,8m) — 62 ft. (18,9m)

Figura 5. 2 Componentes del rotor R3000 y aspersión según el color del plato

## FLUJO ENERGÉTICO E INDICADORES DE EFICIENCIA EN PIVOTES CENTRALES DE RIEGO

De Lima *et al.*, (2008) con un área de riego de aproximadamente 710.6 mil ha, se calcula un consumo anual de 1928 GWh en los sistemas de riego por pivote central instalados en Brasil. Considerando la necesidad de reducir los costos de producción, en este trabajo se estratifican las energías en pivotes centrales y se proponen indicadores que asocian la eficiencia energética a la hídrica y permiten comparar los sistemas de riego en condiciones topográficas diferentes. Estos indicadores fueron aplicados a tres sistemas de riego donde se verificó consumos específicos normalizados, variando entre 12.89 y 31.24 kWh mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> 10-2 m<sup>-1</sup>, y eficiencias de riego entre 8.7% y 21.1%.

Concluyendo que a pesar de que los indicadores existentes permitieron caracterizar un pivote central en particular, la metodología propuesta integra los

indicadores agrícolas y energéticos en una evaluación global de este sistema de riego, y a su vez, permiten determinar un patrón de eficiencia.

El conocimiento de los consumos normalizados en el conjunto motobomba y en las tuberías permite evaluar los gastos energéticos de cada elemento del sistema, comparar diferentes proyectos y evaluar la eficiencia a lo largo de la vida útil de un sistema de riego.

El indicador propuesto para evaluar los aspersores, integrando el consumo específico de energía al aprovechamiento hídrico a través de la eficiencia de aplicación, determina el gasto energético real de este elemento y puede ser utilizado como parámetro para la valorización de tecnologías eficientes. La eficiencia de riego, a partir de la caracterización de la energía útil de un sistema de riego, a su vez, posibilita visualizar el potencial para reducción de las pérdidas de agua y energía en un pivote central.

El indicador general, consumo específico normalizado en el riego, complementa la evaluación actualmente empleada en pivotes centrales de riego, permitiendo integrar los parámetros agrícolas y energéticos para caracterizar estos sistemas con cualesquiera características de instalación.

La evaluación de los sistemas de pivotes central y la implementación de medidas de eficiencia energética pueden reducir el desperdicio de energía y agua, y aumentar la productividad del cultivo regado.

## **RELACIÓN ENTRE INDICADORES DE DESEMPEÑO Y LA CALIDAD DEL RIEGO UTILIZANDO PIVOTE CENTRAL**

Palacios *et al.*, (2017) el uso del agua para la agricultura en regiones bajo condiciones de escasez y bajas eficiencias, requieren de investigación, innovación y una apropiada transferencia tecnológica, para mejorar la calidad del

riego. Las herramientas para optimizar el uso del agua incluyen sistemas de riego presurizados, que a pesar de las ventajas tecnológicas, requieren de un mantenimiento y operación adecuados para el correcto funcionamiento agronómico e hidráulico, porque su evaluación debe ser un procedimiento rutinario. El sistema de riego por pivote central presenta ventajas sobre otros sistemas presurizados y es una buena opción para la producción de algunos cultivos. Los índices de desempeño tradicionales son el coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución del agua. El objetivo del estudio fue comparar la calidad del riego a partir de los indicadores de desempeño: coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CUh), uniformidad de distribución (UD), área regada adecuadamente (ARA) y eficiencia de aplicación (Ea) y determinar la relación entre ellos. Las evaluaciones pluviométricas se realizaron en el norte de Sinaloa, México, en dos ciclos agrícolas (2013-2015). La pluviometría mostró una “alta calidad” del riego con un área “muy bien regada”, el análisis por tramos mostró el menor desempeño en los tramos uno, dos y el colgante. El análisis de la pluviometría total mostró alta relaciones CUh-ARA, CUh-Ea y Ea-ARA ( $R^2 = 0.9262, 0.8661, 0.9041$ , respectivamente) y por tramos solo en CUh-ARA ( $R^2 = 0.7648$ ); los indicadores de desempeño CUh y ARA son suficientes para evaluar la calidad del riego.

Concluyendo que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño obtenidos del análisis de la pluviometría total y el promedio del análisis por tramos. El análisis pluviométrico por tramos muestra las variaciones de estos indicadores a lo largo del sistema de riego por pivote central y permite detectar el desempeño por cada tramo individual.

En el análisis pluviométrico total se encontró una alta asociación entre los indicadores CUh, ARA y Ea, en tanto que las asociaciones con UD resultaron ser muy baja con Ea y casi nulas con CUh y ARA. Al realizar el análisis pluviométrico por tramos, solo se encontró una alta relación para la asociación CUh-ARA.

Es recomendable realizar el análisis pluviométrico por tramos, nos permite determinar la calidad del riego con los parámetros CUh y ARA, en tanto que las determinaciones de UD y Ea contribuyen a detectar los tramos con el desempeño más bajo y sus posibles causas.

## **PRUEBA DE UNIFORMIDAD RIEGO**

USDA / Proyecto de Facilitación Nacional NIFA (2012) considera que la prueba de uniformidad es un procedimiento de solución de problemas para verificar que el agua se distribuye de manera uniforme por el sistema de riego. El procedimiento de ensayo sólo mide la cantidad de agua aplicada a la superficie del suelo y no está creado para indicar la cantidad de agua que se infiltra en el suelo en la zona de la raíz. La evaporación, la escorrentía y la lixiviación podría todo el impacto de la cantidad total de agua disponible para las plantas. Esta prueba es de bajo costo para determinar si las boquillas y rociadores están aplicando el agua de manera uniforme. La prueba ocupa una o dos personas cerca de cuatro horas para completarse, dependiendo del tamaño del campo. Se recomienda que una prueba de uniformidad se realice cada tres a cinco años dependiendo del uso y la calidad del agua. El coeficiente alcanzable de uniformidad varía con el tipo de sistema de riego, las horas de operación y el programa de asistencia técnica para atender las necesidades de mantenimiento y de servicio que se pueda requerir en la componente estructura del sistema.

Un bajo coeficiente de uniformidad podría conducir a estrés de la planta en algunas áreas del campo debido a un déficit de agua y los problemas de enfermedades en otras áreas debido al sobre-aplicación. El coeficiente de uniformidad debe ser mayor que 80% para asegurar que todas las áreas reciben la profundidad deseada de aplicación y un bajo CU puede indicar que el diagnóstico de problemas o falta de mantenimiento.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS:

Materiales para la prueba de uniformidad de riego en pivote central

- Manómetro Bourdon con carátula graduada de 0 a 60 libras con aditamento Pitot
- Cronómetro o reloj segundero fácilmente legible
- De 80 a 100 recipientes colectores de ½ litro (pluviómetros) en forma cilíndrica de 11 a 20 cm de diámetro y 7.5 a 15 cm de altura.
- Probeta graduada de 250 cc de capacidad para coleccionar y medir el volumen de agua de los pluviómetros
- Una cinta métrica mayor a 10m para la medición de la separación entre colectores
- De 40 a 50 estacas de madera de 60cm cada una
- ¼kg de clavos de una pulgada con cabeza el cual se usa para adherir unos colectores a las estacas
- Una barra de metal la cual sirve cuando el suelo está muy compactado abrir huecos donde se entierran las estacas
- Formato de recolección de datos el cual se usa para anotar los volúmenes y datos recolectados durante la prueba

### **Equipo de cómputo y software para el modelado y simulación de la pluviometría**

- Una computadora que cuente con algunos de los siguientes sistemas operativos Windows 7, 8,10, MacOS X Mavericks, Mountain Lion, Lion, Snow Leopard y Linux Ubuntu.
- Paquete office desde el 2010 hasta el más actualizado

## **Materiales para la producción del video didáctico**

- Cámara Profesional para grabar video
- Micrófono o grabadora para audio.
- Tripié
- Indumentaria para actores.
- Equipo de edición (Computadora y Programas de Adobe, Premiere, After Effects y Audition).

## **Realización de la prueba**

Los materiales básicos necesarios para realizar una prueba de uniformidad son como se mencionó anteriormente: recipientes de captura, cinta métrica o rollo de cinta, cronómetro, banderas para ayudar en la última medición de la velocidad de la torre, dispositivo de medición de líquido (pluviómetros), y una hoja de cálculo (como la que está en la página siguiente) para registrar los datos.

En esta prueba se instalaron 40 pluviómetros con un diámetro de apertura de 11 cm y aprox. 7.5 cm de altura puestos en una estaca de 60 cm de largo en una línea recta desde el punto de pivote. Esta línea que se extienden a lo largo de 120 metros radialmente, con un espaciado de 3 m entre cada colector, llevando el pivote a diferentes velocidades (20% 30% y 50%) con una presión de 30 psi y permitiendo que el sistema pase sobre ellos, debe ser aproximadamente de 30 a 45 grados “por delante” de la dirección en la que el pivote viajará para que el agua no entrará en los medidores durante el arranque inicial de pivote. Coloque el primer medidor de alrededor de 6 a 9 metros desde el punto de pivote. No es necesario colocar medidores cerca del punto de pivote, porque la uniformidad bajo la primera torre es baja, y el área representada es pequeño (menos de 5%). Coloque los medidores de no más de 3 metros de distancia de este punto de

partida. La colocación de los calibres más juntos proporciona una representación más exacta de la uniformidad de aplicación. Si la armadura final tiene un cañón o voladizo colocar pluviómetros más allá de la torre final.

Una vez que las funciones de operación del tablero de control están en su lugar, llevar el pivote hasta la presión de funcionamiento indicada y luego operar (hacia adelante o en dirección inversa) para pasar sobre el cultivo completamente. La velocidad del pivote (porcentaje de ajuste del temporizador) es importante. La velocidad de operación le dirá al operador si el sistema está aplicando la cantidad de agua que se desee. Recuerde que la realización de una prueba de uniformidad en un día caluroso, seco, ventoso puede resultar en pérdidas por evaporación tan altas como 25 por ciento. Si el tiempo es crítico, la prueba de uniformidad se puede realizar a un ajuste de temporizador porcentaje más alto. Esto permitirá que el pivote pase por encima de los medidores más rápidamente.

A medida que el pivote está en movimiento, caminar a lo largo del pivote y buscar fugas y aspersores o rotores que no pueden girar adecuadamente o que no funcionan correctamente. Tome nota de estos lugares en la parte posterior de la hoja de datos. Estas notas le ayudarán a hacer recomendaciones para mejoras y sugerir acciones de reparación y servicio, en nuestro caso estas observaciones nos ayudaran a explicar las variaciones extremas en el volumen colectado de algunos recipientes (algunos no colectaran agua cuando estén bajo el patrón de aspersión de rotores tapados otros colectaran mucho en exceso debido a que su posición coincida con algún plato quebrado)

### **Predicción de la lámina de agua que descargan los patrones de aspersión en movimiento.**

Para poder realizar esta predicción se necesitan datos de las boquillas instaladas en el pivote central los cuales se pueden encontrar en la página de la empresa.

<http://nelsonirrigation.com/products/family/pivot-sprinklers/r3030-rotator>

Especialmente se necesitarán los siguientes datos para poder empezar la predicción del patrón de pluviometría 15 psi de presión



Figura 6. 2 Diámetro de tiro de acuerdo al tamaño de boquilla y la presión

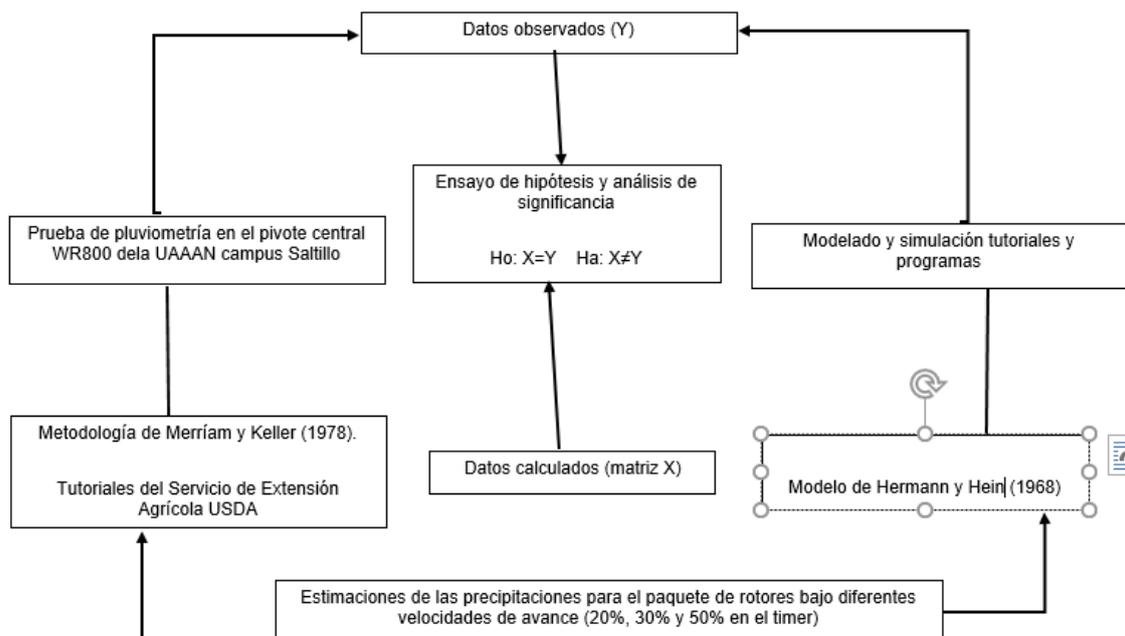


Figura 6. 1 Modelado y simulación en ingeniería de riego (adaptados de Wikipedia 2018)

Una vez teniendo los datos de cada cobertura se acomodan en una hoja de Excel la cual facilitara los cálculos para la predicción.

Tabla 6. 1 Consulta de los diámetros de mojado y cálculo de la intensidad de lluvia para los rotores R3000 en unidades inglesas

No de rotor j	Distancia Xj en pies	Espaciado en pies	Numero de boquilla	Gasto en GPM	Diámetro Dw en pies	Tasa de precipitación d' máx mm/hora
27	241.5	18.8	#17	2	52	0.712422369
28	251	9.5	#14	1.3	48	0.543469425
29	260.4	9.4	#14	1.3	48	0.543469425
30	269.8	9.4	#15	1.6	49	0.641862586
31	279.3	9.5	#15	1.6	49	0.641862586
32	288.7	9.4	#15	1.6	49	0.641862586
33	298.1	9.4	#15	1.6	49	0.641862586
34	307.5	9.4	#16	1.8	50	0.693500431
35	317	9.4	#16	1.8	50	0.693500431
36	326.4	9.4	#16	1.8	50	0.693500431

Los datos No de rotor, distancia, espaciado, número de boquilla, gasto y el diámetro de mojado se obtienen de la página antes mencionada

Para el cálculo de la tasa de precipitación (d' máx) en mm/hora se utiliza la formula

$$d \text{ máx.} = 1.5 * Q * 60 * 3.785 / (\pi * ((Dw/2)^2))$$

Donde:

Q= Gasto de la boquilla en galones por minuto

Pi= 3.1416

Dw= Diámetro de mojado en metros

V= velocidad de avance

\*\* Para el cálculo de la velocidad de avance se hace con la formula

$$V = 3.1416 * 1.2 * 20\% * 0.89$$

Con el timer en 20% es la velocidad lineal de avance del sistema en la última torre

En este caso para mayor facilidad de manejo de las unidades se hizo la conversión las cuales quedan así, Para el gasto no se hace la conversión ya que en la formula se hace la conversión.

Tabla 6. 2 Consulta de los diámetros de mojado y cálculo de la intensidad de lluvia para los rotores R3000 en unidades métricas

No de rotor j	Distancia Xj en metros	Espaciado en metros	Numero de boquilla	Gasto en GPM	Diámetro Dw en metros	Tasa de precipitación d'máx mm/hora
27	73.6092	5.73024	#17	2	15.8496	7.668450556
28	76.5048	2.8956	#14	1.3	14.6304	5.849856206
29	79.36992	2.86512	#14	1.3	14.6304	5.849856206
30	82.23504	2.86512	#15	1.6	14.9352	6.908951372
31	85.13064	2.8956	#15	1.6	14.9352	6.908951372
32	87.99576	2.86512	#15	1.6	14.9352	6.908951372
33	90.86088	2.86512	#15	1.6	14.9352	6.908951372
34	93.726	2.86512	#16	1.8	15.24	7.46477651
35	96.6216	2.86512	#16	1.8	15.24	7.46477651
36	99.48672	2.86512	#16	1.8	15.24	7.46477651

Precipitación de la lámina de agua (Dp en mm) que aplican los rotores en movimiento y traslape de los patones simples de pluviometría

Dp= Lamina precipitada

$$Dp = \pi \cdot r \cdot d_{\text{máx}} \cdot (1 - m^2) / (2 \cdot vL \cdot Xj / RI)$$

Pi=  $\pi = 3.1416...$

r= radio de cobertura

m= x/r, es la posición adimensional del bote colector con respecto al rotor

vL= velocidad de la máquina al 20% = 40.2 m/hora, al 30%= 60 y a 50%= 100 m/hora

Xj= distancian entre rotores

RI= distancia a la última torre= 364.1pies para el pivote WR800 de la UAAAN

Para la lámina de agua aplicada (mm) se hace de la siguiente manera ya que se aplica el traslape de las láminas de los rotores para un punto fijo del colector.

$$M0 = Xj \text{ del rotor a calcular} - Xj \text{ del mismo colector} / Xj \text{ del rotor a calcular} / 2$$

En Excel se queda así

Tabla 6. 3 traslape de los rotores

Rotor	m
1	0.78333333
2	0.39166667
3	0
4	-0.39166667
5	-0.7875

$M1 = (Xj3 - Xj1) / (Xj3/2) = \text{Distancia a bote 1} / \text{Radio rotor 3}$

$M2 = (Xj3 - Xj2) / (Xj3/2) = \text{Distancia a bote 2} / \text{Radio rotor 3}$

$M3 = (Xj3 - Xj3) / (Xj3/2) = \text{Distancia a bote 3} / \text{Radio rotor 3}$

$M4 = (Xj3 - Xj4) / (Xj3/2) = \text{Distancia a bote 4} / \text{Radio rotor 3}$

$M5 = (Xj3 - Xj5) / (Xj3/2) = \text{Distancia a bote 5} / \text{Radio rotor 3}$

Con esta rutina se calcula (m) y sucesivamente se sustituye en esta rutina de la "Dp".

Tomando en cuenta los datos siguientes para el cálculo de Dp en la hoja de Excel queda de la siguiente manera

	34	35	36	37	38	39	40	41	42
28									
29	3.33619042								
30	7.30975869	3.23620995							
31	8.63428145	7.09069652	3.14301027						
32	7.30975869	8.37552538	6.88649141	3.05502845					
33	3.27967784	7.09069652	8.13431846	6.69371887	2.97269937				
34		3.18139097	6.88649141	7.90661568	6.51333178	2.89387462			
35			3.08977003	6.69371887	7.69354259	6.34062284	2.83313602		
36				3.00327855	6.51333178	7.48953892	6.20754156	2.95026674	
37					2.92234407	6.34062284	7.3323434	6.46418078	3.73677242
38						2.84485455	6.20754156	7.63548546	8.18745373
39							2.78514481	6.46418078	9.67101417
40								2.90029143	8.18745373
41									3.67347429
42									

Figura 6. 3Lamina colectada por los traslapes de cada rotor

Los datos de la parte superior es el número de colector y los datos de esa columna es lo que capta por cada rotor la lámina que aporta cada uno de ellos a ese colector o pluviómetro.

Los datos del extremo izquierdo es el rotor, al graficar los datos se genera una vista de la simulación de la lluvia precipitada producida por cada rotor, la cual hace referencia a la simulación que se hizo.

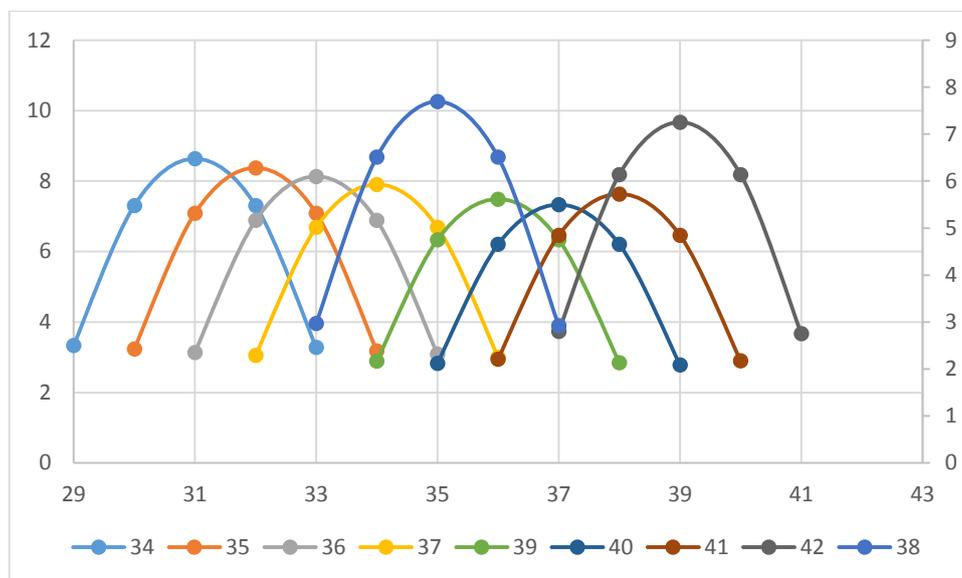


Figura 6. 4 Simulación del traslape de las láminas de riego

### Pasos para la comparación de uniformidad de riego entre observados, calculados y lo que la empresa ofrece para las boquillas

Tabla 6. 4 Tabla de volúmenes colectados para el cálculo de uniformidad de riego al 20% de velocidad de avance en el timer.

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	$X_i*(ABS(V_i*V_p))$	Vp=	<b>32.7347666</b>
				%CHU	<b>84.6421971</b>
4	70	37.2652334	149.0609337		
5	60	27.2652334	136.3261671		
6	56	23.2652334	139.5914005		
7	66	33.2652334	232.8566339		
8	44	11.2652334	90.12186732		
9	30	2.73476658	24.61289926		
10	31.8	0.93476658	9.347665848		
11	28.7	4.03476658	44.38243243		
12	33.7	0.96523342	11.58280098		
13	30	2.73476658	35.5519656		

14	30	2.73476658	38.28673219
15	30	2.73476658	41.02149877
16	24	8.73476658	139.7562654
17	30	2.73476658	46.49103194
18	32	0.73476658	13.22579853
19	30	2.73476658	51.96056511
20	32	0.73476658	14.6953317
21	34	1.26523342	26.56990172
22	40	7.26523342	159.8351351
23	48	15.2652334	351.1003686
24	32	0.73476658	17.63439803
25	36	3.26523342	81.63083538
26	38	5.26523342	136.8960688
27	38	5.26523342	142.1613022
28	34	1.26523342	35.42653563
29	34	1.26523342	36.69176904
30	38	5.26523342	157.9570025
31	36	3.26523342	101.2222359
32	32	0.73476658	23.51253071
33	30	2.73476658	90.2472973
34	33	0.26523342	9.017936118
35	32	0.73476658	25.71683047
36	28	4.73476658	170.4515971
37	24	8.73476658	323.1863636
38	34	1.26523342	48.07886978
39	30	2.73476658	106.6558968
40	12	20.7347666	829.3906634

Datos para el cálculo de la uniformidad de riego al 20%

Xi = Numero de bote

Vi= volumen en cc/bote

Vp= volumen ponderado por bote, CC/bote estimado

ABS= ABSOLUTO (volumen cc/bote en mm - volumen ponderado por bote, CC/bote estimado)

%CHU= porcentaje de uniformidad de riego con la fórmula de Hermann y Hein (1968)

Para el cálculo en Excel:

Xi = es la posición del bote durante la prueba en campo

$V_i$ = volumen cc/bote en mm

$$V_p = \frac{\text{SUMAPRODUCTO}(X_i * V_i)}{\sum X_i}$$

$$ABS = ABS(V_i - V_p)$$

$$\%CHU = 1 - \left( \frac{\text{SUMAPRODUCTO}(ABS(V_i - V_p) * X_i)}{\text{SUMAPRODUCTO}(V_i * X_i)} \right) * 100$$

Estos pasos se realizan en cada una de las pruebas, a los diferentes porcentajes de avance en el pivote central y también para los datos calculados igual a los diferentes porcentajes de avance. Al obtener los resultados se puedan comprar con la uniformidad de riego que la empresa ofrece, la cual los datos se obtienen de la página de internet, en esta página se observa la uniformidad de riego por tamaño de boquilla a tres diferentes alturas (en pies), y a diferentes presiones, que para nuestro caso se anda manejando a 25 PSI.

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 que son demasiado húmedas o demasiado secas.

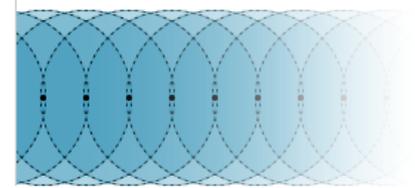


Figura 6. 5 Uniformidad de riego que la empresa ofrece por tamaño de boquillas a 6 pies de altura en diferentes presiones

## Pasos para realizar video didáctico para pruebas y prácticas de pluviometría en campo.

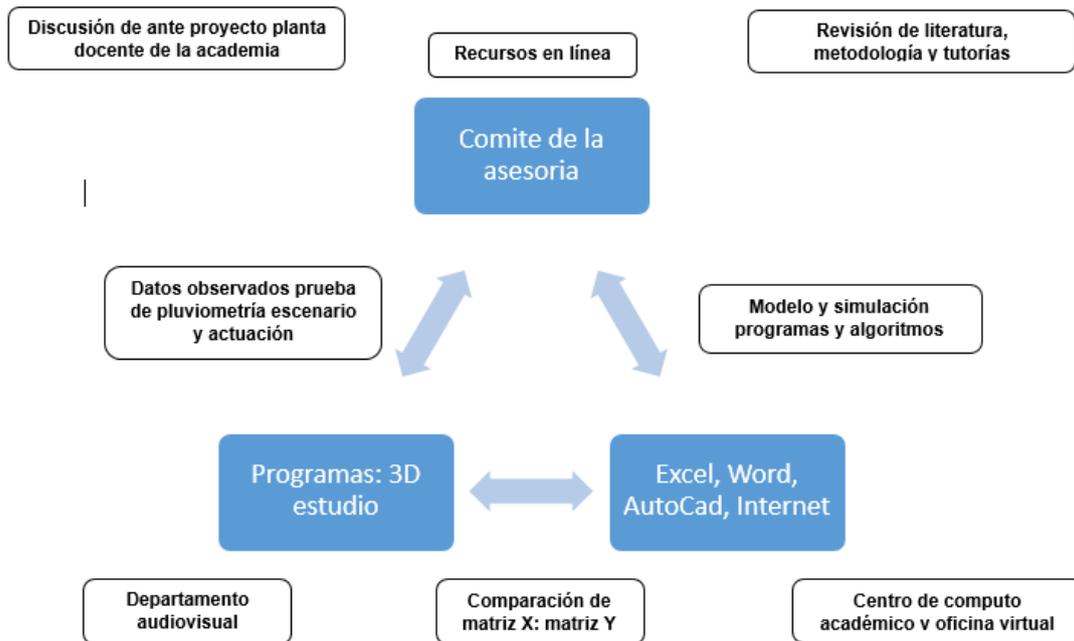


Figura 6. Organización del estudio de modelo y simulación para la edición del video

Para cualquier acción existen una serie de pasos que debemos de respetar en la elaboración de un video y que pueden variar simplemente dependiendo de si cuentas con apoyo o hacer por cuenta propia

Los pasos a seguir son los siguientes.

### PREPRODUCCIÓN

- Trabajo de investigación docente sobre el tema a tratar en el video.
- Selección de actores y lugares de grabación
- Recabar materiales e indumentaria necesarios para los actores.
- Definir horarios de grabación

-Elaboración del guion para producción.

## PRODUCCIÓN

-Grabación de las tomas con los actores, escenas de apoyo y grabaciones de voz.

## POSTPRODUCCIÓN

-Organización de las tomas para la edición del video, fallas y aciertos.

-Edición del video con todo el material recabado.

Lo cual especificando en ciertos puntos serían los siguientes.

- Escoge tu audiencia: la segmentación dependiendo del objetivo del vídeo es fundamental para su creación.
- Determina tu mensaje: ¿Cuál es el mensaje clave que quieres transmitir? Y sobre el encaja las diferentes partes.
- Crea un concepto irresistible: captura al público seleccionado con los puntos clave y concretos. No dejes que tu concepto sea aburrido.
- Determina la herramienta: Bien sea con un programa de animación, grabando con una cámara. Ten muy claro el costo total.
- Escribe y dibuja el concepto: Primer paso crea el texto y sobre el imagínate plasmándolo en dibujos como podría quedar es importante la creación de un guion a seguir para tener los puntos importantes y llevar un orden el armado de este video.
- Vigila el tema legal: Si vas a utilizar imágenes o sonidos de terceros que sean libres de derechos o adquiérelas. Youtube acaba de incorporar una opción con canciones que puedes incorporar desde el editor o bajártelas para trabajar con ellas desde tu editor.

- Busca lugar de grabación: Si prefieres grabar en un estudio, hoy en día tienes opciones interesantes a bajo coste para hacerlo llave en mano. Y si lo vas a hacer tú en exteriores, vigila las condiciones a la hora de grabar.
- Graba y edita el video: Si vas a grabarlo tú y no tienes equipo existen opciones de alquiler a un precio muy económico. Y si no quieres alquilar es posible que tengas en la mano (Smartphone) con capacidades realmente buenas para hacerlo. Y añade música y gráficos puede hacer tu video más profesional. Esta puede ser una diferencia importante.
- Distribuye el video: Plataformas como Youtube hay varias, ninguna con el potencial de distribución de Promocionan el video.

Una vez repasados estos puntos solo te queda ponerte manos a la obra y decidirte a plasmar tus ideas en acciones concretas.

<http://www.bloguismo.com/pasos-elaborar-video/>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comparación de la pluviometría colectada a diferentes velocidades de avance.

En la recolección de datos se presentaron diferentes dificultades, una de las principales fue el de los rotores ya que por falta de mantenimiento u otras circunstancias no estaban en las condiciones necesarias, lo que conllevó a hacer dos diferentes recolecciones de pruebas una con las boquillas tapadas y otra con boquillas destapadas. El resultado fue el siguiente

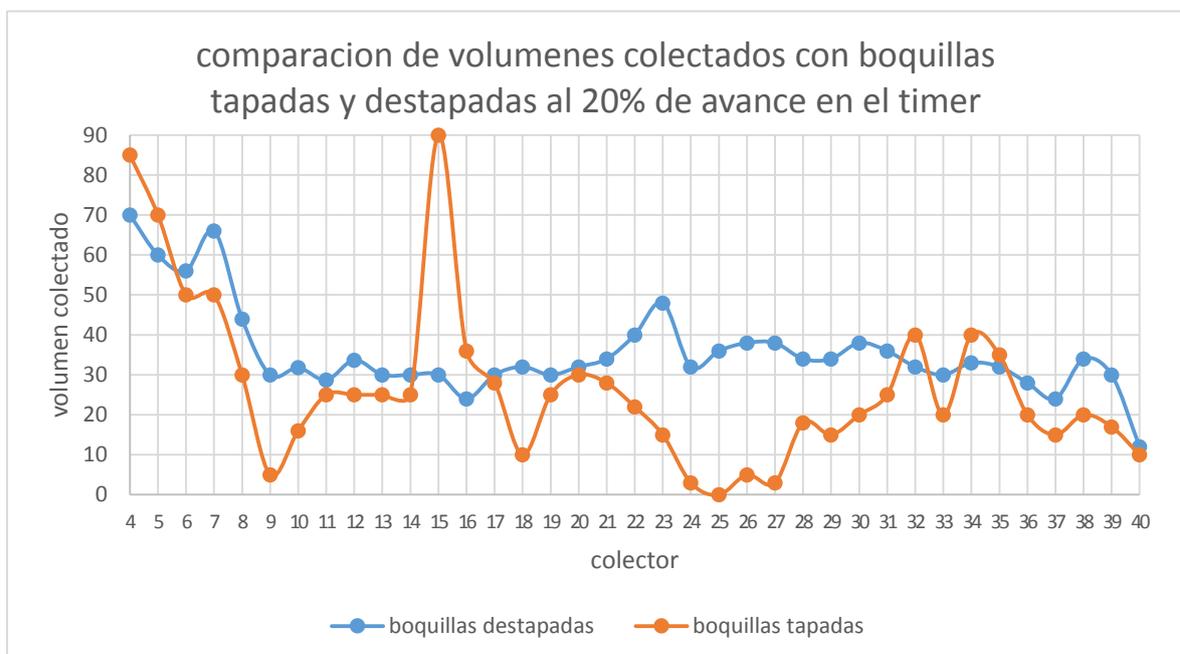


Figura 7. 1 Comparación gráfica de volúmenes observados con boquillas tapadas y destapadas a una velocidad en el timer de 20%

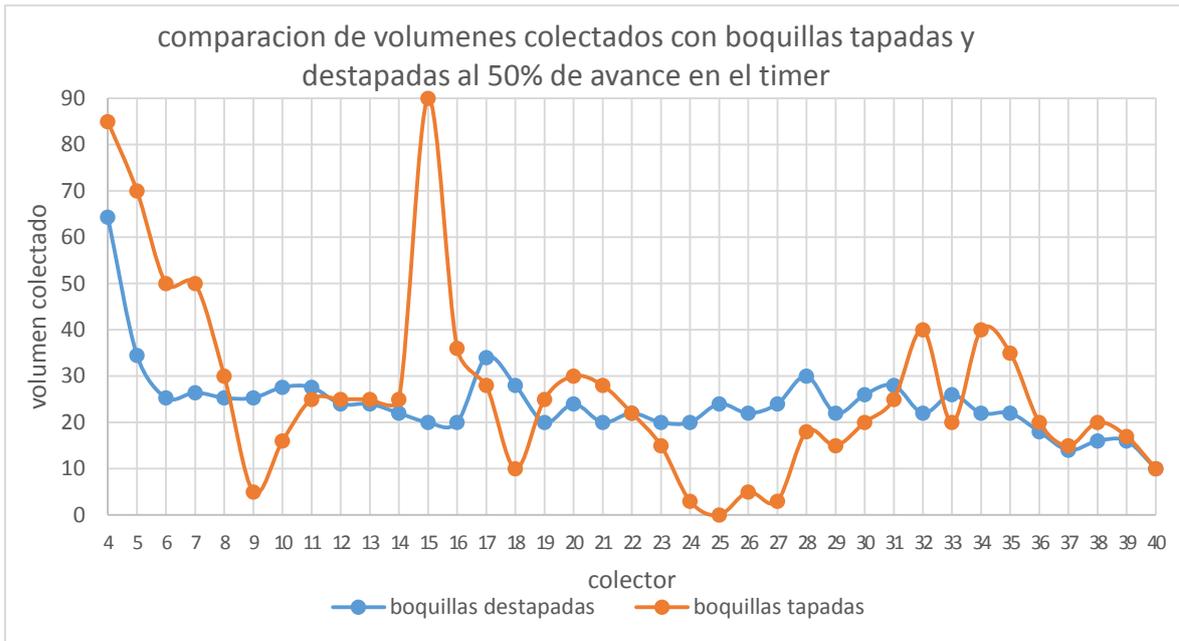


Figura 7. 2 Comparación gráfica de volúmenes observados con boquillas tapadas y destapadas a una velocidad en el timer de 20%

Se hicieron estas cuatro pruebas a dos diferentes velocidades las cuales son 20% y 30% como se muestran en las gráficas 1 y 2, los resultados fueron plasmados de esta manera para poder observar los volúmenes captados en los dos diferentes casos que presentaba en cada caso ya mencionado. La diferencia se hace notar desde un principio cabe mencionar que en algunos casos donde el volumen captado es demasiado es porque se presentan daños en ciertos rotores.

En las dos gráficas se observa volúmenes colectados en campo. Los datos de color naranja son los volúmenes que se colectaron antes de que las boquillas fueran destapadas o se les diera un mantenimiento previo para realizar la prueba que será comparada con el modelo.

Los datos de color azul son los volúmenes colectados después de haber destapado algunas boquillas o darles el mantenimiento para un óptimo funcionamiento.

En los dos casos tanto como al 20% y 30% de velocidad en el timer, al hacer los ajustes necesarios de mantenimiento se observa una gran mejora en cuanto la aspersion en las boquillas y también menos variación de volumen colectado en toda la lateral de colectores.

Tabla 7. 1 Comparación gráfica de volúmenes observados con boquillas tapadas y destapadas a una velocidad en el timer de 20%

problemas comunes	sugerencias para corregir los problemas
boquillas tapadas	remover y limpiar las boquillas
rotores que no giran	reparar los rotores, acomodar los platos
presión inadecuada	abrir la válvula maestra y revisar el equipo de bombeo
diferencia de presión debido a los desniveles topográficos	revisar los reguladores y los accesorios de cada bajante
boquillas en orden equivocado	cotejar con la hoja del emboquillado dada por el fabricante
cañón final desajustado	ajustar el giro parcial
boquilla incorrecta en el aspersor final	colocar el tamaño adecuado de boquilla
boquillas desgastadas	reemplazar las boquillas dañadas en el orden correcto
velocidad excesiva del viento	hacer la prueba e horas de poco viento
fugas de agua por la chumacera de flotación	tapar las fugas en que se encuentren en la tubería elevadora
empaques desgastados	inspeccionar la conexión de los empaques y apretar la tornillería

Tabla 7. 2 Pluviometría colectada a tres diferentes velocidades después del mantenimiento

No de colector	volumen colectado		
	20%	30%	50%
4	70	64.4	15
5	60	34.5	22
6	56	25.3	19
7	66	26.45	24
8	44	25.3	16
9	30	25.3	19
10	31.8	27.6	16
11	28.7	27.6	12
12	33.7	24	14
13	30	24	19
14	30	22	14
15	30	20	14
16	24	20	14
17	30	34	14
18	32	28	14
19	30	20	16
20	32	24	16

21	34	20	11
22	40	22	12
23	48	20	12
24	32	20	13
25	36	24	14
26	38	22	14
27	38	24	13
28	34	30	14
29	34	22	16
30	38	26	14
31	36	28	14
32	32	22	15
33	30	26	25
34	33	22	12
35	32	22	10
36	28	18	12
37	24	14	10
38	34	16	12
39	30	16	12
40	12	10	3

En el cuadro (7.2) se puede observar los volúmenes colectados a las 3 diferentes velocidades en las que se hizo el experimento cabe mencionar que estas pruebas fueron hechas con el mantenimiento básico para así evitar ciertos problemas de taponamiento se recalca también que algunas boquillas están dañadas y que por lo mismo baria en algunos puntos o tomas de la prueba.

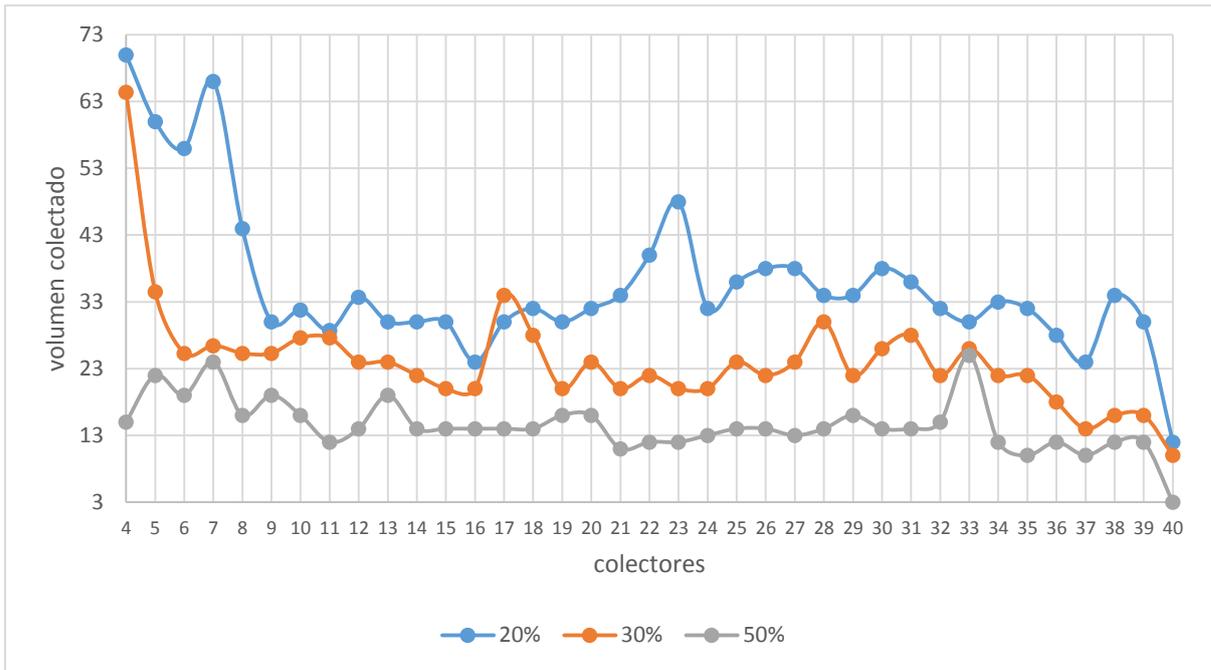


Figura 7. 3 Comparación de volúmenes colectados en pivote central a distintas velocidades

En la figura (7.3) se ve reflejada la variación de volumen colectado en las tres diferentes velocidades en la que se hizo la prueba y la variación de la pluviometría colectada en estas tres velocidades.

Tabla 7. 3 Valores de simulación de la pluviometría en pivote central

N° de bote	volúmenes calculados		
	20%	30%	50%
4	87.1790042	58.0244669	34.8146801
5	77.9843468	51.9047011	31.1428206
6	63.019785	41.9446111	25.1667667
7	58.5020513	38.9377049	23.3626229
8	49.5648453	32.9892931	19.7935759
9	47.0746069	31.3318441	18.7991065
10	40.7700027	27.1356354	16.2813812
11	41.4074979	27.5599385	16.5359631
12	38.1904971	25.4187721	15.2512632
13	39.7127811	26.4319715	15.8591829
14	36.7279046	24.445302	14.6671812
15	36.9689789	24.6057558	14.7634535
16	32.5219015	21.6458769	12.9875262

17	38.9111201	25.8984032	15.5390419
18	32.4700917	21.6113935	12.9668361
19	41.9371777	27.9124819	16.7474891
20	32.0929376	21.3603678	12.8162207
21	38.4009794	25.5588646	15.3353187
22	34.2380127	22.7880836	13.6728501
23	36.8537614	24.5290696	14.7174418
24	34.6075212	23.0340205	13.8204123
25	38.3396608	25.5180522	15.3108313
26	36.9193048	24.5726938	14.7436163
27	40.5074295	26.9608723	16.1765234
28	38.0914649	25.3528583	15.211715
29	38.5573162	25.6629189	15.3977514
30	39.0718876	26.0054066	15.603244
31	38.798092	25.8231741	15.4939045
32	38.6222108	25.7061114	15.4236668
33	38.4250767	25.5749032	15.3449419
34	38.0980287	25.357227	15.2143362
35	37.1261741	24.7103816	14.826229
36	37.1309349	24.7135503	14.8281302
37	37.316764	24.8372341	14.9023405
38	39.1728604	26.0726119	15.6435671
39	34.4985188	22.9614708	13.7768825
40	25.0863625	16.6969424	10.0181655

En esta tabla se ven reflejadas los valores calculados de la simulación que fueron necesarias para la simulación durante el experimento y poder hacer las comparaciones con los colectados.

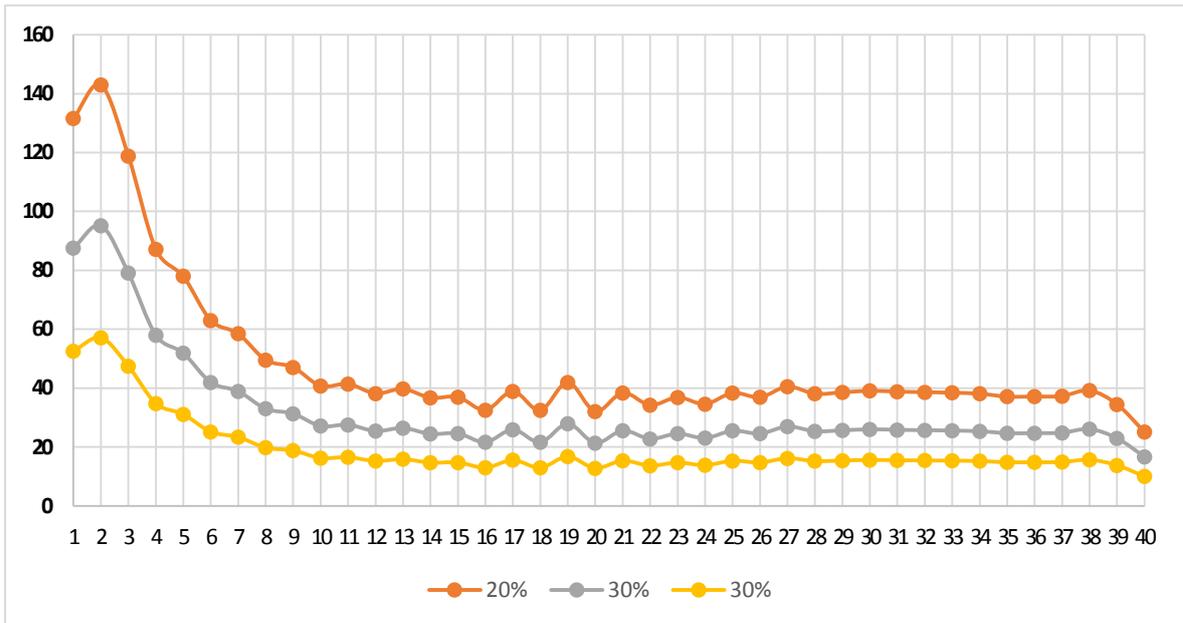


Figura 7. 4 Comparación de volúmenes calculados a diferentes velocidades

En las gráfica se ven los valores calculados de la simulación comparados a las tres diferentes velocidades a la que se corrió el pivote central durante el experimento este simula la lluvia que el pivote central debería de estar dando y lo que cada pluviómetro debe de estar colectando de acuerdo a cada velocidad.

Como se ha visto en comparaciones anteriores entre volúmenes colectados a diferentes velocidades así también sobre la simulación o bien dicho los volúmenes calculados en la simulación, se hacen las comparaciones de los volúmenes colectados contra los simulados a las mismas velocidades para así poder ver que tan aceptable es el modelo de la simulación.

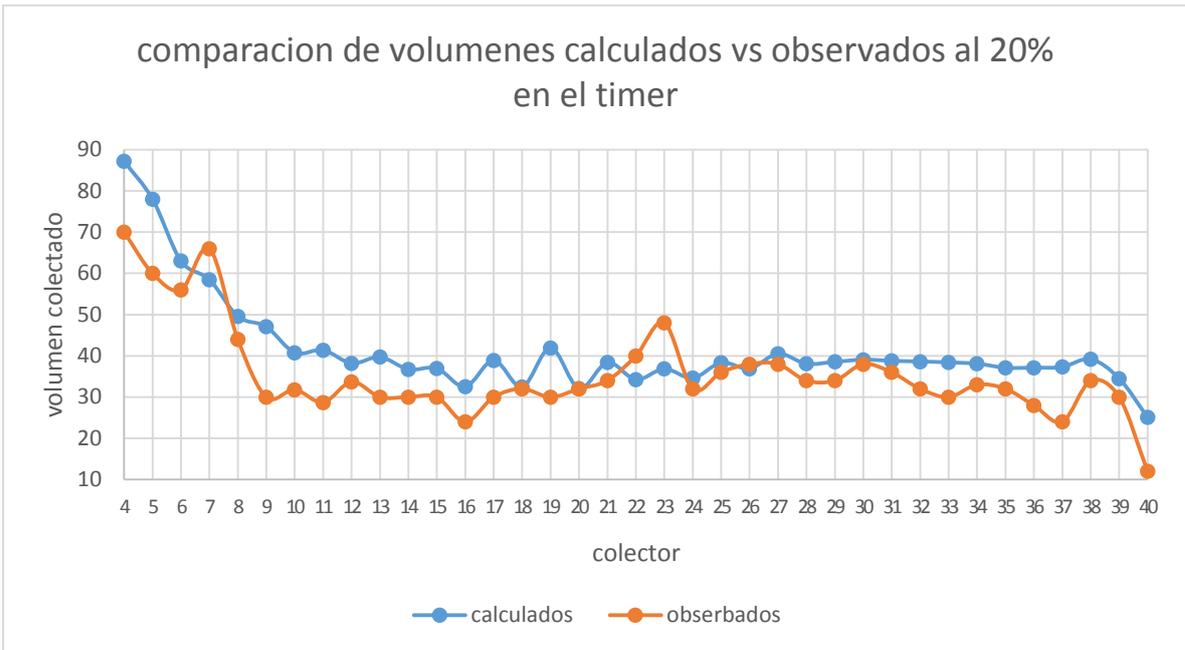


Figura 7. 5 Comparación del perfil de pluviometría observado V/S calculado en un lateral pivote 20% Timer

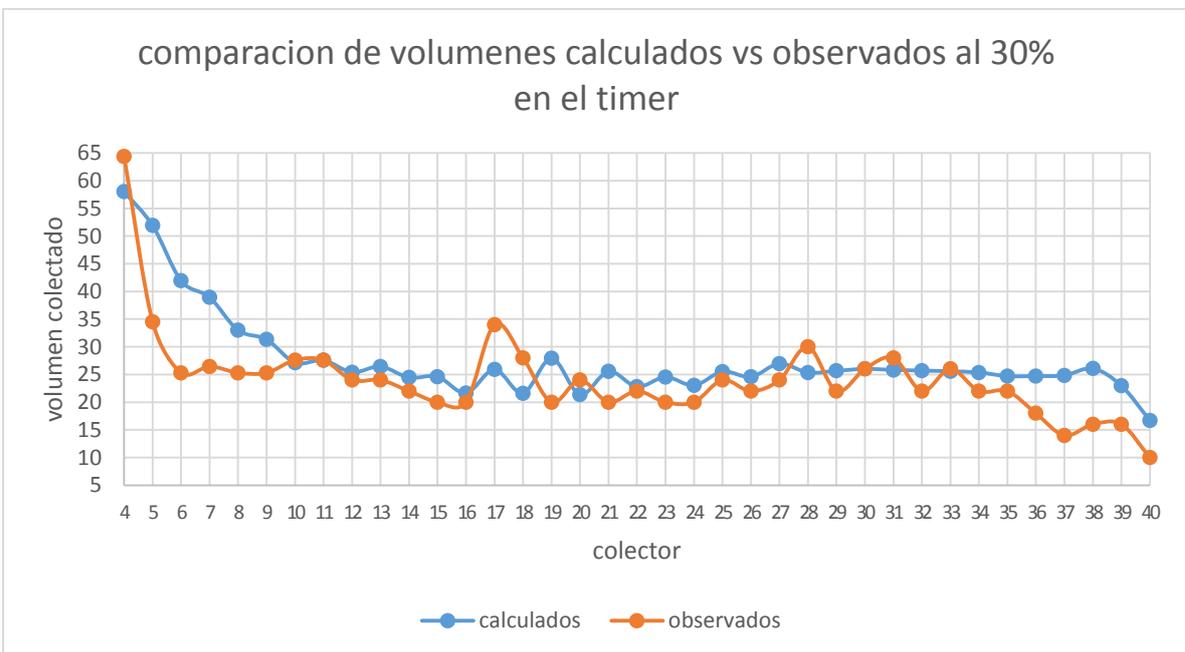


Figura 7. 6 Comparación del perfil de pluviometría observado V/S calculado en un lateral pivote 30% Timer

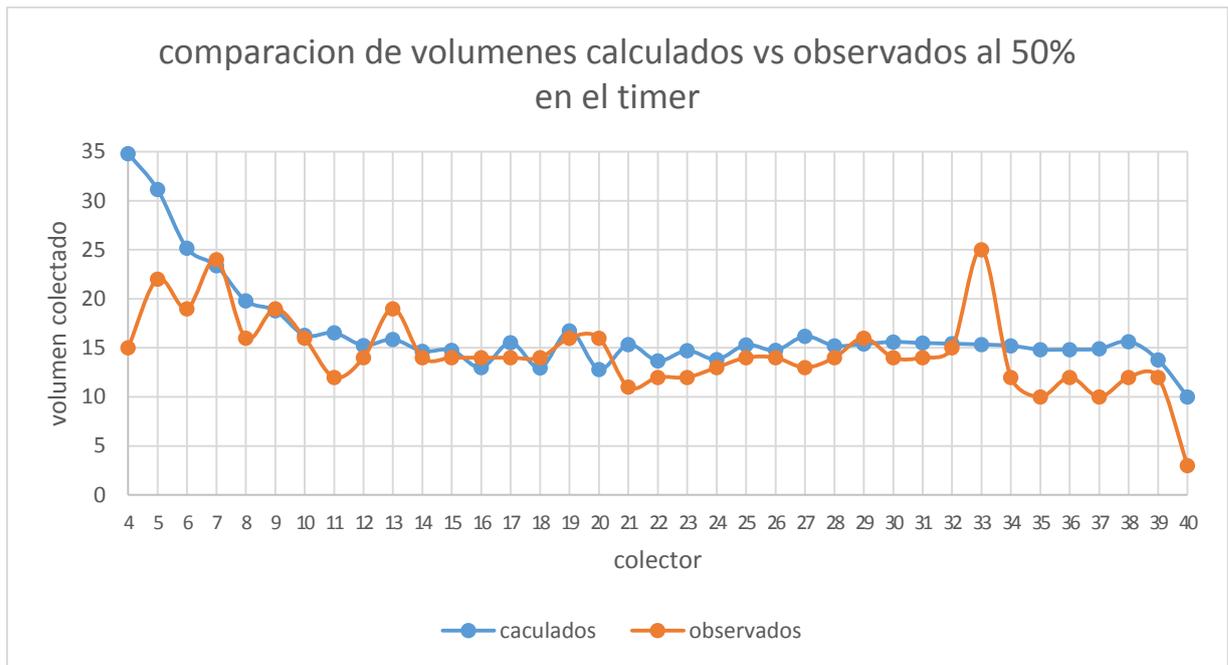


Figura 7. 7 Comparación del perfil de pluviometría observado V/S calculado en un lateral pivote 50% Timer

En las figuras 7.5, 7.6, 7.7 se representa el perfil de pluviometría observado contra el calculado en la lateral pivote se observa en tres diferentes velocidades a 20%,30% y 50% la cual cada una de ellas marca diferentes lecturas, estas al ser comparadas con lo calculado pueden dar un acertamiento si la prueba es o no aceptada para este experimento.

Se hizo La prueba t-studen en los tres casos, para cada uno de ellos se compararon los datos observados y los calculados; para así saber si la simulación es o no aceptada, recordando la hipótesis la cual dice que:

Ho: la pluviometría que el modelo predice es igual a la pluviometría observada en la prueba de uniformidad.

Ha: la pluviometría que el modelo predice es diferente a la pluviometría observada en la verificación de campo.

Si  $T_{cal} \leq T_{crit}$  No se rechaza Ho., deduciendo que el modelo es confiable.

Si  $T_{cal} > T_a$  se rechaza  $H_0$ , deduciendo que el modelo no es confiable

Para la prueba del 20% se hizo con los siguientes datos los cuales son:

Tabla 7. 4 Datos observados contra calculados a una velocidad en el timer del 20%

N° de bote	volúmenes	
	calculados	observados
4	87.1790042	70
5	77.9843468	60
6	63.019785	56
7	58.5020513	66
8	49.5648453	44
9	47.0746069	30
10	40.7700027	31.8
11	41.4074979	28.7
12	38.1904971	33.7
13	39.7127811	30
14	36.7279046	30
15	36.9689789	30
16	32.5219015	24
17	38.9111201	30
18	32.4700917	32
19	41.9371777	30
20	32.0929376	32
21	38.4009794	34
22	34.2380127	40
23	36.8537614	48
24	34.6075212	32
25	38.3396608	36
26	36.9193048	38
27	40.5074295	38
28	38.0914649	34
29	38.5573162	34
30	39.0718876	38
31	38.798092	36
32	38.6222108	32
33	38.4250767	30
34	38.0980287	33
35	37.1261741	32
36	37.1309349	28
37	37.316764	24

38	39.1728604	34
39	34.4985188	30
40	25.0863625	12

En la tabla se ve reflejado los datos de los calculados y de los observados. Entonces la comparación de la t-student se hará con los siguientes datos por medio de una hoja de cálculo en Excel. A la cual arroja los siguientes resultados.

Tabla 7. 5 Resultados de la prueba T-student a dos colas y 5% asociados a la significancia de las hipótesis para la evaluación al 20% de velocidad en el timer.

Media	40.6466436	35.40571429
Varianza	82.5223693	85.90761345
Observaciones	35	35
Varianza agrupada	84.2149914	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	68	
Estadístico t	2.3890906	
P(T<=t) una cola	0.00983504	
Valor crítico de t (una cola)	1.66757228	
P(T<=t) dos colas	0.01967008	
Valor crítico de t (dos colas)	1.99546893	
Ensayo de significancia a dos colas y 5%	El modelo no es aceptable	
Error típico de la estima Eexy en %	5.871319163	

En la tabla anterior se ve reflejada los datos de la prueba T- student y error típico de la estima prevista con el modelo para cada una de las observaciones de campo al 20% de velocidad de avance en el timer.

Se interpretaran los datos que Excel arrojó para saber si el modelo que se tiene predice la pluviometría en pivote central a 20% en el timer de avance.

A lo cual se sabe que se tiene un alfa de 5% que es lo mismo 0.05, para poder aceptar  $H_0$  el  $P(T \leq t)$  dos colas debe ser mayor a alfa que es igual a 5%, y esto

quiere decir que la prueba tiene un 95% de credibilidad para una prueba T-student para dos muestras emparejadas.

Al comparar los resultados se sabe que:

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$P(T \leq t) \text{ dos colas} = 0.019$$

Por lo tanto,  $\alpha$  es mayor a  $P(T \leq t)$  dos colas y esto quiere decir que se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$  que dice que la pluviometría que el modelo predice es diferente a la pluviometría observada en la verificación de campo.

Otra manera de comprobar el resultado es si, Estadístico  $t$  es menor a Valor crítico de  $t$  (dos colas) se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ , por lo contrario, si el Estadístico  $t$  es mayor a Valor crítico de  $t$  (dos colas) se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$ .

Al hacer la comparación de resultados se sabe que:

$$\text{Estadístico } t = 2.39$$

$$\text{Valor crítico de } t \text{ (dos colas)} = 1.99$$

Al reflejarse los datos nos damos cuenta que Estadístico  $t$  es mayor a Valor crítico de  $t$  (dos colas) y por lo tanto se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$  que dice que la pluviometría que el modelo predice es diferente a la pluviometría observada en la verificación de campo.

Al ser comprobado por estos métodos se dice que efectivamente hay una diferencia estadísticamente comprobada en las dos medias de las matrices de calculados y observados.

En la prueba con una velocidad en el timer del 30% de avance los datos observados y calculados fueron los siguientes.

Tabla 7. 6 Datos observados contra calculados a una velocidad en el timer del 30%

No° BOTE	volúmenes	
	calculados	observados
4	58.0244669	64.4
5	51.9047011	34.5
6	41.9446111	25.3
7	38.9377049	26.45
8	32.9892931	25.3
9	31.3318441	25.3
10	27.1356354	27.6
11	27.5599385	27.6
12	25.4187721	24
13	26.4319715	24
14	24.445302	22
15	24.6057558	20
16	21.6458769	20
17	25.8984032	34
18	21.6113935	28
19	27.9124819	20
20	21.3603678	24
21	25.5588646	20
22	22.7880836	22
23	24.5290696	20
24	23.0340205	20
25	25.5180522	24
26	24.5726938	22
27	26.9608723	24
28	25.3528583	30
29	25.6629189	22
30	26.0054066	26
31	25.8231741	28
32	25.7061114	22
33	25.5749032	26
34	25.357227	22
35	24.7103816	22
36	24.7135503	18
37	24.8372341	14
38	26.0726119	16
39	22.9614708	16
40	16.6969424	10

Los datos anteriores fueron los que se utilizaron para poder hacer la prueba T-student al 30% de avancen en el timer a lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7. 7 Resultados de la prueba T-student a dos colas y 5% asociados a la significancia de las hipótesis para la evaluación al 30% de velocidad en el timer.

	<i>matriz x: cal</i>	<i>matriz y: obs</i>
Media	27.6106748	24.22837838
Varianza	63.8308238	70.48535285
Observaciones	37	37
Varianza agrupada	67.1580883	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	72	
Estadístico t	1.7752044	
P(T<=t) una cola	0.0400452	
Valor crítico de t (una cola)	1.6662937	
P(T<=t) dos colas	0.08009041	
Valor crítico de t (dos colas)	1.99346357	
Ensayo de significancia a dos colas y 5%	El modelo es confiable	
Error típico de la estima Eexy en %	4.067318216	

En la tabla anterior se ve reflejada los datos de la prueba T- student y error típico de la estima prevista con el modelo para cada una de las observaciones de campo al 30% de velocidad de avance en el timer. A lo cual se interpretan los datos para saber si los volúmenes calculados coinciden con los volúmenes observados, para así poder verificar la prueba de pluviometría es aceptada.

En este caso también se hará la verificación a las dos probabilidades de aceptación.

A lo cual se sabe que se tiene un alfa de 5% a lo que es lo mismo 0.05, para poder aceptar  $H_0$  el P(T<=t) dos colas debe ser mayor a alfa que es igual a 5%,

y esto quiere decir que la prueba tiene un 95% de credibilidad para una prueba T-student para dos muestras emparejadas.

Al comparar los resultados se sabe que:

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$P(T \leq t) \text{ dos colas} = 0.080$$

Por lo tanto,  $\alpha$  es menor a  $P(T \leq t)$  dos colas y esto quiere decir que se acepta **Ho** que dice que la pluviometría que el modelo predice es igual a la pluviometría observada en la prueba de uniformidad y se rechaza **Ha**

Se corrobora con la siguiente forma, diciendo que el **Estadístico t** es menor a **Valor crítico de t (dos colas)** se acepta **Ho** y se rechaza **Ha**, por lo contrario si el **Estadístico t** es mayor a **Valor crítico de t (dos colas)** se rechaza **Ho** y se acepta **Ha**.

Al hacer la comparación de resultados se sabe que:

$$\text{Estadístico } t = 1.77$$

$$\text{Valor crítico de } t \text{ (dos colas)} = 1.99$$

Al reflejarse los datos nos damos cuenta que **Estadístico t** es menor a **Valor crítico de t (dos colas)** y por lo tanto se acepta **Ho** que dice que la pluviometría que el modelo predice es igual a la pluviometría observada en la prueba de uniformidad y se rechaza **Ha**

Al ser comprobado por estos métodos se dice que efectivamente no hay una diferencia estadísticamente en las dos medias de las matrices de calculados y observados.

Para la última prueba con una velocidad en el timer del 50% de avance, los datos observados y calculados fueron los siguientes.

Tabla 7. 8 Datos observados contra calculados a una velocidad en el timer del 50%

No° BOTE	volúmenes	
	calculados	observados
4	34.8146801	15
5	31.1428206	22
6	25.1667667	19
7	23.3626229	24
8	19.7935759	16
9	18.7991065	19
10	16.2813812	16
11	16.5359631	12
12	15.2512632	14
13	15.8591829	19
14	14.6671812	14
15	14.7634535	14
16	12.9875262	14
17	15.5390419	14
18	12.9668361	14
19	16.7474891	16
20	12.8162207	16
21	15.3353187	11
22	13.6728501	12
23	14.7174418	12
24	13.8204123	13
25	15.3108313	14
26	14.7436163	14
27	16.1765234	13
28	15.211715	14
29	15.3977514	16
30	15.603244	14
31	15.4939045	14
32	15.4236668	15
33	15.3449419	25
34	15.2143362	12
35	14.826229	10
36	14.8281302	12
37	14.9023405	10

38	15.6435671	12
39	13.7768825	12
40	10.0181655	3

Estos datos fueron los obtenidos en la última prueba el 50% de velocidad en el timer y de los cuales fueron utilizados para realizar la prueba t-student obteniendo lo siguiente.

Tabla 7. 9 Resultados de la prueba T-student a dos colas y 5% asociados a la significancia de las hipótesis para la evaluación al 50% de velocidad en el timer

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>matriz x: cal</i>	<i>matriz y: obs</i>
Media	16.2321181	14.8
Varianza	13.1605094	12.63529412
Observaciones	35	35
Varianza agrupada	12.8979018	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	68	
Estadístico t	1.66816243	
P(T<=t) una cola	0.04994118	
Valor crítico de t (una cola)	1.66757228	
P(T<=t) dos colas	0.09988236	
Valor crítico de t (dos colas)	1.99546893	
Ensayo de significancia a dos colas y 5%	El modelo es confiable	
Error típico de la estima Eexy en %	2.842807815	

En la tabla anterior se ve reflejada los datos de la prueba T- student y error típico de la estima prevista con el modelo para cada una de las observaciones de campo al 30% de velocidad de avance en el timer. A lo cual se interpretan los datos para saber si los volúmenes calculados coinciden con los volúmenes observados, para así poder verificar si la prueba de pluviometría es aceptada.

En este caso también se hará la verificación con los dos métodos antes ya mencionados.

A lo cual se sabe que se tiene un alfa de 5% a lo que es lo mismo 0.05, para poder aceptar **H<sub>0</sub>** el  $P(T \leq t)$  dos colas debe ser mayor a alfa que es igual a 0.05, y esto quiere decir que la prueba tiene un 95% de credibilidad para una prueba T-student para dos muestras emparejadas.

Al comparar los resultados se sabe que:

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$P(T \leq t) \text{ dos colas} = 1.99$$

Por lo tanto,  $\alpha$  es menor a  $P(T \leq t)$  dos colas y esto quiere decir que se acepta **H<sub>0</sub>** que dice que la pluviometría que el modelo predice es igual a la pluviometría observada en la prueba de uniformidad y se rechaza **H<sub>a</sub>**

Se corrobora con la siguiente forma, diciendo que el **Estadístico t** es menor a **Valor crítico de t (dos colas)** se acepta **H<sub>0</sub>** y se rechaza **H<sub>a</sub>**, por lo contrario si el **Estadístico t** es mayor a **Valor crítico de t (dos colas)** se rechaza **H<sub>0</sub>** y se acepta **H<sub>a</sub>**.

Al hacer la comparación de resultados se sabe que:

$$\text{Estadístico } t = 1.66816243$$

$$\text{Valor crítico de } t \text{ (dos colas)} = 1.99546893$$

Al reflejarse los datos nos damos cuenta que **Estadístico t** es menor a **Valor crítico de t (dos colas)** y por lo tanto se acepta **H<sub>0</sub>** que dice que la pluviometría que el modelo predice es igual a la pluviometría observada en la prueba de uniformidad y se rechaza **H<sub>a</sub>**

Al ser comprobado por estos métodos se dice que efectivamente no hay una diferencia estadísticamente en las dos medias de las matrices de calculados y observados.

La prueba t- student tiene como regencia para los tres casos una aceptación de .95 o que va a lo mismo de 95%. Lo que se puede reflejar en la siguiente figura el cual marca las áreas a lo que las pruebas se están reflejando o en las que se pueden ubicar las pruebas realizadas

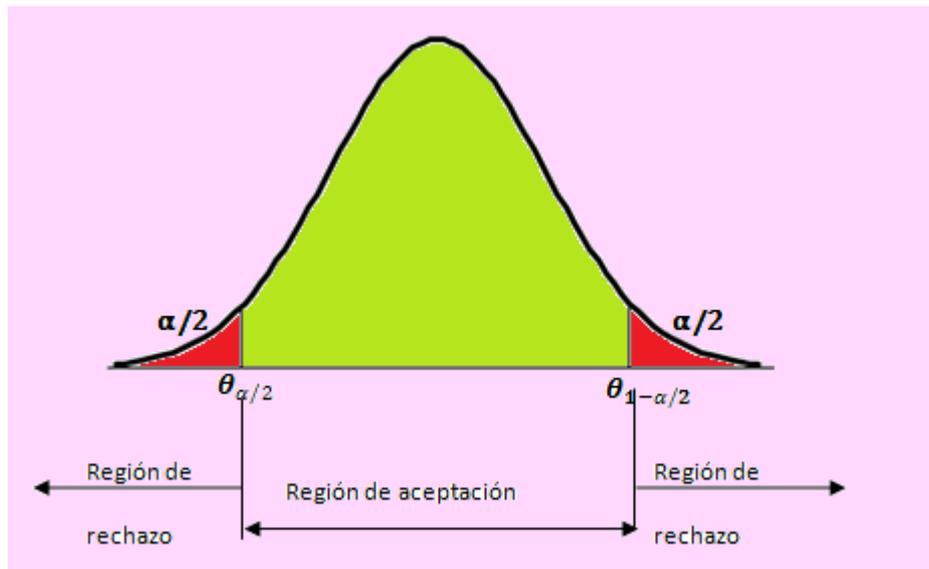


Figura 7. 8 Distribución gráfica de la t-student a dos colas

El  $\alpha = 0.05 = 5\%$  se divide entre dos para poder hacer la comparación de las dos colas de la gráfica así que si se tiene un  $\alpha = 0.05 = 5\%$  sería 2.5% o 0.025 por cada cola o que tenemos. Esta va a variar y el margen va a variar de acuerdo a la prueba el número de datos para los grados de libertad que se esté manejando.

En nuestro caso las pruebas del 50% y 30% de velocidad de avance en el timer se encuentran en el área de aceptación de la prueba y que la prueba al 20% de velocidad no es aceptada o que es lo mismo se encuentra dentro de la zona de rechazo.

## Comparación de la uniformidad de riego observada, con la calculada mediante la ecuación de Hermann y Hein (1968) y la uniformidad de riego que la empresa ofrece para el paquete de boquillas

La comparación de las uniformidades de riego que la empresa ofrece se compara con los datos observados en campo y contra los calculados, para así saber si en estas pruebas hay una diferencia altamente notable o si están fuera del rango del rango que la empresa ofrece.

Con los datos obtenidos durante la prueba de pluviometría en pivote central se calculan las uniformidades de riego para datos observados y calculados y así ser comparado con la que la empresa ofrece.

Los datos fueron los siguientes:

Tabla 7. 10 Tabla de volúmenes colectados para el cálculo de uniformidad de riego al 20% de velocidad de avance en el timer.

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp))	Vp=
				%CHU
4	70	37.2652334	149.0609337	
5	60	27.2652334	136.3261671	
6	56	23.2652334	139.5914005	
7	66	33.2652334	232.8566339	
8	44	11.2652334	90.12186732	
9	30	2.73476658	24.61289926	
10	31.8	0.93476658	9.347665848	
11	28.7	4.03476658	44.38243243	
12	33.7	0.96523342	11.58280098	
13	30	2.73476658	35.5519656	
14	30	2.73476658	38.28673219	
15	30	2.73476658	41.02149877	
16	24	8.73476658	139.7562654	
17	30	2.73476658	46.49103194	
18	32	0.73476658	13.22579853	
19	30	2.73476658	51.96056511	
20	32	0.73476658	14.6953317	
21	34	1.26523342	26.56990172	
22	40	7.26523342	159.8351351	
23	48	15.2652334	351.1003686	
24	32	0.73476658	17.63439803	
25	36	3.26523342	81.63083538	
26	38	5.26523342	136.8960688	
27	38	5.26523342	142.1613022	

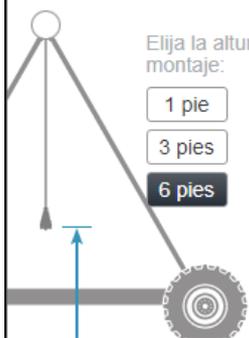
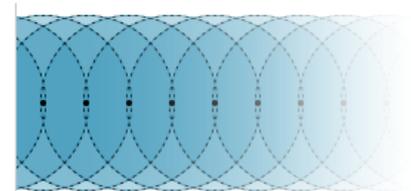
28	34	1.26523342	35.42653563
29	34	1.26523342	36.69176904
30	38	5.26523342	157.9570025
31	36	3.26523342	101.2222359
32	32	0.73476658	23.51253071
33	30	2.73476658	90.2472973
34	33	0.26523342	9.017936118
35	32	0.73476658	25.71683047
36	28	4.73476658	170.4515971
37	24	8.73476658	323.1863636
38	34	1.26523342	48.07886978
39	30	2.73476658	106.6558968
40	12	20.7347666	829.3906634

Tabla 7. 11 de volúmenes calculados para el cálculo de uniformidad de riego al 20% de velocidad de avance en el timer

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp))	Vp=	<b>37.9865633</b>
				%CHU	<b>91.6393723</b>
4	87.1790042	49.1924409	196.7697636		
5	77.9843468	39.9977835	199.9889177		
6	63.019785	25.0332217	150.19933		
7	58.5020513	20.5154879	143.6084156		
8	49.5648453	11.5782819	92.62625554		
9	47.0746069	9.08804363	81.79239268		
10	40.7700027	2.78343939	27.83439391		
11	41.4074979	3.4209346	37.63028062		
12	38.1904971	0.20393384	2.447206069		
13	39.7127811	1.7262178	22.44083135		
14	36.7279046	1.25865874	17.62122232		
15	36.9689789	1.01758444	15.26376665		
16	32.5219015	5.46466181	87.43458904		
17	38.9111201	0.92455683	15.71746613		
18	32.4700917	5.51647158	99.29648837		
19	41.9371777	3.95061437	75.06167296		
20	32.0929376	5.89362568	117.8725136		
21	38.4009794	0.41441614	8.702738847		
22	34.2380127	3.74855064	82.46811398		
23	36.8537614	1.13280187	26.05444293		
24	34.6075212	3.37904213	81.09701114		
25	38.3396608	0.35309747	8.827436746		
26	36.9193048	1.06725851	27.74872115		
27	40.5074295	2.52086618	68.06338682		
28	38.0914649	0.10490155	2.937243478		

29	38.5573162	0.57075289	16.55183372
30	39.0718876	1.08532431	32.55972937
31	38.798092	0.81152873	25.15739067
32	38.6222108	0.63564748	20.34071933
33	38.4250767	0.43851337	14.47094119
34	38.0980287	0.11146535	3.789821804
35	37.1261741	0.86038921	30.1136225
36	37.1309349	0.85562843	30.80262358
37	37.316764	0.66979933	24.78257516
38	39.1728604	1.18629708	45.07928895
39	34.4985188	3.48804452	136.0337361
40	25.0863625	12.9002008	516.0080305

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 que son demasiado húmedas o demasiado secas.



Elija la altura de montaje:

- 1 pie
- 3 pies
- 6 pies**

PRESIÓN DE AGUA (PSI)

	TAMAÑO DE LA BOQUILLA										
	14	DIECISÉIS	18	20	24	28	32	36	40	44	50
15	85	85	85	85	85	90	90	90	90	90	95
20	85	85	85	90	90	90	90	90	90	90	95
25	85	85	85	90	90	90	95	95	95	95	95
30	85	85	85	90	95	95	95	95	95	95	95

UNIFORMIDAD (CU)

Figura 7. Uniformidad de riego que la empresa ofrece por tamaño de boquillas a 6 pies de altura en diferentes presiones

Para el pivote central de la UAAAN se maneja a 6 pies de altura y una presión de 25 PSI la cual maneja un rango de uniformidad de riego de acuerdo al tamaño de las boquillas de 85% a 95%.

La uniformidad de riego que se obtuvo de los datos observados al 20% es de 84.64%, mientras que la uniformidad de riego que se obtuvo de los datos calculados es de 91.64%, el rango de uniformidad de riego que la empresa ofrece es de 85% a 95%.

Al observar los porcentajes, tanto de observados en campo y los calculados, se sabe que, solo los calculados están dentro del rango de la uniformidad de riego, que la empresa ofrece, pero se toma en cuenta las condiciones de los rotores y que el rango que la empresa ofrece es para rotores nuevos y que en estos casos las condiciones climáticas tal como el viento y la radiación solar perjudican a los patrones de aspersión de cada rotor.

Los resultados de las pruebas de uniformidad de riego al 30% de avance en el timer son de 81.89% para los datos tomados en campo, mientras que la uniformidad de riego que se obtuvo de los datos calculados es de 91.63%, el rango de uniformidad de riego que la empresa ofrece es de 85% a 95%.

Se observan nuevamente los porcentajes, tanto de observados en campo y los calculados, se sabe que solo los calculados están dentro del rango de la uniformidad de riego que la empresa ofrece, pero ya que se sigue hablando del mismo pivote central se toma en cuenta las mismas condiciones de los rotores y que el rango que la empresa ofrece es para rotores nuevos sabiendo que las condiciones climáticas se siguen tomando en cuenta.

Los últimos resultados de las pruebas de uniformidad de riego al 50% de avance en el timer son de 80.94% para los datos tomados en campo, mientras que la uniformidad de riego que se obtuvo de los datos calculados es de 91.63%, el rango de uniformidad de riego que la empresa ofrece es de 85% a 95%.

Y nuevamente al observar los datos tomados en campo y los calculados, se sabe que solo los calculados están dentro del rango de la uniformidad de riego que la empresa ofrece, pero ya que se sigue hablando del mismo pivote central se toma en cuenta las condiciones climáticas y el estado de los rotores y que el rango que la empresa ofrece es para rotores nuevos.

Tabla 7. 12 Comparación de uniformidad de riego a diferentes velocidades

velocidad de avance en el timer	20%	30%	50%
datos observados	84.64%	81.89%	80.95%
datos calculados	91.64%	91.64%	91.64%
rango que la empresa ofrece	85% a 95%		

Tabla 7. 13 Criterio de interpretación básica de los coeficientes de uniformidad  
["www.extesion.uga.edu/publications/"](http://www.extesion.uga.edu/publications/)

Valor	Clasificación y sugerencias para mejorar
90 a 100%	Excelente; ningún cambio es necesario
85 a 90%	Buena; nada es sugerido
80 a 85%	Regular; no se necesitan ajustes, solo se necesita supervisión
Menos de 80%	Pobre; se necesitan ajustes por ejemplo: remover y limpiar las boquillas, reparar los rotores, ajustar la presión y corregir fugas entre otras cosas que puedan afectar la operación de la máquina.

El coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein (CUh) obtenido fue de 84.64%, 81.89% y 80.95% para los datos observados en campo, cifra que de acuerdo a los criterios de evaluación, el área está regularmente regada. Pues se considera que valores de CUh inferiores a 80% el equipo no riega adecuadamente, entre 80 y 85%, la superficie está regularmente regada, y con valores superiores a 90% el área está muy bien regada. Como ya se había recalado antes los rotores que se están utilizando para estas pruebas no se encuentran en buenas condiciones y que los factores climáticos afectan a la uniformidad de riego por lo que se puede decir que el equipo está teniendo un buen riego uniforme.

## CONCLUSIONES

Se midió la pluviometría en pivote central a diferentes velocidades, la cual al bajar el % en el timer de 50% → 30% → 20%, la velocidad de avance disminuye de 1.677 → 1.006 → 0.67 (m/minuto) en la última torre. Se hizo la comparación de la pluviometría con los datos recolectados en campo contra los calculados y al hacer la comparación de estos dos se encontró que el modelo de simulación de pluviometría para dos pruebas fueron aceptadas, las cuales fueron al 30% y 50% de avance en el timer indicó que efectivamente el modelo predice la pluviometría en campo, teniendo un error típico de la estima de 4.06 para la prueba de 30% sabiendo que la academia de hidráulica maneja un margen menor o igual a un 10% para los modelos de simulación. Con un margen de error de 5% o que es lo mismo con un 95% de credibilidad en el modelo comprobado que estadísticamente las pruebas no tenían diferencias significantes, para la prueba al 50% de avance se tuvo un error típico de 2.84 al mismo margen de error de 5%. Mientras que la prueba al 20% de avance en el timer el modelo no predijo la pluviometría ya que la **t calculada** según la prueba t-studen se encontró dentro del margen de error, la cual dio como resultado 0.019 la cual indico que es menor al 5% de error que se estaba manejando y esto quiso decir que para esta prueba el modelo no predice la pluviometría. Se debe tomar en cuenta que al saber los datos que se arrojó al hacer la prueba al 20% se hizo otros ajustes las cuales consistieron en el acomodo de unos rotores dañados a los extremos del equipo, esto ayudo en mucho a las siguientes pruebas al 30% y 50% de avance en una mejor captación de volumen. La falta de mantenimiento en los rotores y las condiciones climáticas con vientos fuertes afectaron en la distribución del agua ocasionando que el modelo no tuviera una mejor precisión, por esta razón en la prueba del 20% de avance el modelo no fue aceptado.

Se comparó la uniformidad de riego observada contra la calculada, mediante la ecuación de Hermann y Hein (1968) y la uniformidad de riego que la empresa ofrece para el paquete de boquillas. La comparación de uniformidad de riego se hizo a las tres pruebas, con los diferentes porcentajes de velocidad de avance al 50% → 30% → 20% en el timer del pivote central de la UAAAN. La cual dio como

resultado para los datos observados un CU de 80.946% → 81.890% → 84.642% y para los datos calculados dio un CU de 91.639% → 91.639% → 91.639% en los diferentes porcentajes de velocidad de avance. La uniformidad de riego que la empresa ofrece va de un 85% hasta un 95% de acuerdo al tamaño de la boquilla. Al hacer las comparaciones entre observados, calculados y la uniformidad que la empresa ofrece para las boquillas, se logró saber que tanto como el modelo y la observación en campo son similares a la que la empresa ofrece ya que se encontró dentro del rango que la empresa maneja; así se puede decir que efectivamente el modelo de cálculo de pluviometría y la de los datos tomados en campo tuvieron una diferencia mínima a lo cual se dijo que son iguales. Se tomó en cuenta que algunas de las boquillas estaban dañadas la cual afecto la uniformidad y en algunos casos las condiciones climáticas tales como el viento o la radiación afectan a estas pruebas.

Se hizo un video didáctico el cual servirá a la universidad para demostración y prácticas de pluviometría en campo. En este video se describe los materiales y los métodos para poder hacer esta práctica que son de bajo costo y fáciles de conseguir, se explica el procedimiento para la toma de datos y se hacen recomendaciones importantes para un mejor manejo de estas pruebas la cual sirvió a la comunidad estudiantil tanto como a los docentes responsables de estas materias ampliando así el material didáctico con la que la universidad cuenta.

Con los datos y el modelo establecido en la hoja de cálculo, se puede utilizar para que personas o academias interesadas, puedan utilizar la herramienta ahorrando tiempo y trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., j. Keller, D. Martin. 2000. Center Pivot System Design. The Irrigation Association, USA. 300 p. Bremond, B., B. Molle. 1995. "Characterization of rainfall under center pivot: influence of measuring procedure", J. Irrig. Drain. Eng., 121(5): 347-353.
- Cezar-de-Lima, Aureo; Camargo-Guimarães-Jr., Sebastião; Fietz, Carlos R.; Camacho, José R.. (2008). FLUJO ENERGÉTICO E INDICADORES DE EFICIENCIA EN PIVOTES CENTRALES DE RIEGO. Agrocienca, 42, 869-880.
- Cruz Bautista Fidencio, Rodríguez Julio César, Watts Christopher, López Elías Jesús, Huez López Marco Antonio, Garatuza Payan Jaime, Yopez Gonzales Enrico. (2012). EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL EN CULTIVO DE ALFALFA. En XV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas(675-679). Universidad de Sonora: Apoyos Complementarios para la Consolidación Institucional de Grupos de Investigación (Repatriación, Retención y Estancias de Consolidación).
- González Baucells, Pedro A.; Stincer Cordobés, Juan F.; Roque Rodés, Reynaldo. (2002,). Algunas consideraciones para el diseño, explotación y adquisición de máquinas de pivote central. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 11, 47-53.
- <http://www.nelsonirrigation.com/products/family/pivot-sprinklers/r3030-rotator>

- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/355/A5.pdf?sequence=5>
- King Bradley A. and Dennis C. Kincaid 1997. Optimal performance from center pivot sprinkler systems. Cooperative extension service. University of Idaho. College of Agriculture. Bulletin 797. 1-20 pp.
- Linares Medina, S. (2012). Modelado y simulación de la pluviometría para una lateral pivote. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Linares Medina, S. (2012). Modelado y simulación de la pluviometría para una lateral pivote. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Ortiz Bravo, R. (2014). Diseño mecánico estructural de una lateral pivote. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Pacheco Seguí, Juan; Pacheco Cárdenas, Yoan. (2004). Aplicación de software para calcular coeficientes de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 1, 12-16.
- Palacios Mondaca, César Arturo; Díaz Valdés, Tomás; Plutarco Munguía López, Juan; Partida Ruvalcaba, Leopoldo; de Jesús Velásquez Alcaráz, Teresa; López Valenzuela, Blanca Elvira. (2017). Relación entre indicadores de desempeño y la calidad del riego utilizando pivote central Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8, 37-49.

- Roque Rodés, Reynaldo; Alemán García, Candelario. (2005). Emisores LEPA, filosofía de manejo del agua en los pivotes centrales. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 14, 14-16.

## APÉNDICE

Tabla A.1. Uniformidad de riego a 30% de velocidad de avance de velocidad en el timer con los datos observados

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	$X_i \cdot (ABS(V_i \cdot V_p))$	Vp=	<b>22.0082924</b>
				%CHU	<b>81.8903843</b>
4	64.4	42.3917076	169.56683		
5	34.5	12.4917076	62.4585381		
6	25.3	3.29170762	19.7502457		
7	26.45	4.44170762	31.0919533		
8	25.3	3.29170762	26.3336609		
9	25.3	3.29170762	29.6253686		
10	27.6	5.59170762	55.9170762		
11	27.6	5.59170762	61.5087838		
12	24	1.99170762	23.9004914		
13	24	1.99170762	25.892199		
14	22	0.00829238	0.11609337		
15	20	2.00829238	30.1243857		
16	20	2.00829238	32.1326781		
17	34	11.9917076	203.859029		
18	28	5.99170762	107.850737		
19	20	2.00829238	38.1575553		
20	24	1.99170762	39.8341523		
21	20	2.00829238	42.17414		
22	22	0.00829238	0.18243243		
23	20	2.00829238	46.1907248		
24	20	2.00829238	48.1990172		
25	24	1.99170762	49.7926904		
26	22	0.00829238	0.21560197		
27	24	1.99170762	53.7761057		
28	30	7.99170762	223.767813		
29	22	0.00829238	0.24047912		
30	26	3.99170762	119.751229		
31	28	5.99170762	185.742936		
32	22	0.00829238	0.26535627		
33	26	3.99170762	131.726351		
34	22	0.00829238	0.28194103		
35	22	0.00829238	0.29023342		
36	18	4.00829238	144.298526		
37	14	8.00829238	296.306818		
38	16	6.00829238	228.315111		
39	16	6.00829238	234.323403		
40	10	12.0082924	480.331695		

Tabla A.2. Uniformidad de riego a 30% de velocidad de avance de velocidad en el timer con los datos calculados

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp)	Vp=	<b>25.2830381</b>
				%CHU	<b>91.6393723</b>
4	58.0244669	32.7414288	130.965715		
5	51.9047011	26.621663	133.108315		
6	41.9446111	16.661573	99.969438		
7	38.9377049	13.6546668	95.5826674		
8	32.9892931	7.706255	61.65004		
9	31.3318441	6.04880604	54.4392543		
10	27.1356354	1.85259729	18.5259729		
11	27.5599385	2.27690037	25.045904		
12	25.4187721	0.13573397	1.62880763		
13	26.4319715	1.14893337	14.9361339		
14	24.445302	0.83773614	11.7283059		
15	24.6057558	0.67728228	10.1592342		
16	21.6458769	3.63716117	58.1945787		
17	25.8984032	0.61536511	10.4612068		
18	21.6113935	3.67164463	66.0896033		
19	27.9124819	2.62944381	49.9594323		
20	21.3603678	3.92267027	78.4534054		
21	25.5588646	0.27582645	5.79235547		
22	22.7880836	2.49495454	54.8889999		
23	24.5290696	0.75396852	17.3412759		
24	23.0340205	2.24901764	53.9764234		
25	25.5180522	0.23501407	5.87535171		
26	24.5726938	0.71034427	18.4689509		
27	26.9608723	1.67783422	45.3015238		
28	25.3528583	0.06982021	1.95496598		
29	25.6629189	0.37988082	11.0165439		
30	26.0054066	0.72236848	21.6710544		
31	25.8231741	0.54013604	16.7442172		
32	25.7061114	0.42307327	13.5383445		
33	25.5749032	0.29186505	9.63154667		
34	25.357227	0.07418893	2.52242374		
35	24.7103816	0.57265652	20.0429783		
36	24.7135503	0.56948785	20.5015626		
37	24.8372341	0.445804	16.4947481		
38	26.0726119	0.78957378	30.0038035		
39	22.9614708	2.32156728	90.5411239		
40	16.6969424	8.58609569	343.443828		

Tabla A.3. Uniformidad de riego a 50% de velocidad de avance de velocidad en el timer con los datos observados

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp)	Vp=	<b>13.47543</b>
				%CHU	<b>80.94646</b>
4	15	1.52457002	6.0982801		
5	22	8.52457002	42.6228501		
6	19	5.52457002	33.1474201		
7	24	10.52457	73.6719902		
8	16	2.52457002	20.1965602		
9	19	5.52457002	49.7211302		
10	16	2.52457002	25.2457002		
11	12	1.47542998	16.2297297		
12	14	0.52457002	6.29484029		
13	19	5.52457002	71.8194103		
14	14	0.52457002	7.34398034		
15	14	0.52457002	7.86855037		
16	14	0.52457002	8.39312039		
17	14	0.52457002	8.91769042		
18	14	0.52457002	9.44226044		
19	16	2.52457002	47.9668305		
20	16	2.52457002	50.4914005		
21	11	2.47542998	51.9840295		
22	12	1.47542998	32.4594595		
23	12	1.47542998	33.9348894		
24	13	0.47542998	11.4103194		
25	14	0.52457002	13.1142506		
26	14	0.52457002	13.6388206		
27	13	0.47542998	12.8366093		
28	14	0.52457002	14.6879607		
29	16	2.52457002	73.2125307		
30	14	0.52457002	15.7371007		
31	14	0.52457002	16.2616708		
32	15	1.52457002	48.7862408		
33	25	11.52457	380.310811		
34	12	1.47542998	50.1646192		
35	10	3.47542998	121.640049		
36	12	1.47542998	53.1154791		
37	10	3.47542998	128.590909		
38	12	1.47542998	56.0663391		
39	12	1.47542998	57.541769		
40	3	10.47543	419.017199		

Tabla A.4. Uniformidad de riego a 50% de velocidad de avance de velocidad en el timer con los datos calculados

No° BOTE	VOLUMEN CC/BOTE	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp)	Vp=	15.1698229
				%CHU	91.6393723
4	34.8146801	19.6448573	78.5794291		
5	31.1428206	15.9729978	79.8649889		
6	25.1667667	9.9969438	59.9816628		
7	23.3626229	8.19280006	57.3496004		
8	19.7935759	4.623753	36.990024		
9	18.7991065	3.62928362	32.6635526		
10	16.2813812	1.11155837	11.1155837		
11	16.5359631	1.36614022	15.0275424		
12	15.2512632	0.08144038	0.97728458		
13	15.8591829	0.68936002	8.96168031		
14	14.6671812	0.50264168	7.03698355		
15	14.7634535	0.40636937	6.09554053		
16	12.9875262	2.1822967	34.9167472		
17	15.5390419	0.36921906	6.27672409		
18	12.9668361	2.20298678	39.653762		
19	16.7474891	1.57766628	29.9756594		
20	12.8162207	2.35360216	47.0720433		
21	15.3353187	0.16549587	3.47541328		
22	13.6728501	1.49697272	32.9333999		
23	14.7174418	0.45238111	10.4047655		
24	13.8204123	1.34941058	32.385854		
25	15.3108313	0.14100844	3.52521103		
26	14.7436163	0.42620656	11.0813706		
27	16.1765234	1.00670053	27.1809143		
28	15.211715	0.04189213	1.17297959		
29	15.3977514	0.22792849	6.60992635		
30	15.603244	0.43342109	13.0026326		
31	15.4939045	0.32408162	10.0465303		
32	15.4236668	0.25384396	8.12300673		
33	15.3449419	0.17511903	5.778928		
34	15.2143362	0.04451336	1.51345424		
35	14.826229	0.34359391	12.025787		
36	14.8281302	0.34169271	12.3009376		
37	14.9023405	0.2674824	9.89684885		
38	15.6435671	0.47374427	18.0022821		
39	13.7768825	1.39294037	54.3246743		
40	10.0181655	5.15165741	206.066297		