

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



FERTIRRIGACIÓN EN AVENA FORRAJERA CON PIVOTE CENTRAL

POR:

LIMBER AUSENCIO PÉREZ BRAVO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero agrónomo en irrigación

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO; MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

FERTIRRIGACIÓN EN AVENA FORRAJERA CON PIVOTE CENTRAL

POR:
LIMBER AUSENCIO PÉREZ BRAVO

Que somete a la consideración del H. jurado examinador como Requisito Parcial
Para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

M.C. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Principal

M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos
Coasesor

M.C. Tomas Reyna Cepeda
Coasesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO; MAYO DE 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme con sabiduría e inteligencia para lograr mis estudios y ahora ser un ingeniero agrónomo en irrigación.

A mi “Alma Terra Mater” por ser el lugar donde me he convertido en un profesional, por todas esas experiencias vividas que siempre recordare, por ser mi casa durante todo este tiempo de aprendizaje.

A mis maestros del Departamento de Riego y Drenaje por ser partícipes en mi formación profesional, al brindarme su amistad y apoyo, al compartirme sus conocimientos que siempre me serán útil en mi vida profesional. Gracias.

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez por aceptar ser mi asesor en esta tesis, por brindarme su amistad y su confianza, por su dedicación y tiempo que me regalo, y sobre todo por compartirme sus conocimientos y experiencias para lograr este trabajo.

Al M.C. Tomas Reyna Cepeda por aceptar ser mi coasesor, por brindarme su amistad y confianza, por su tiempo en la revisión de este trabajo.

Al M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos por aceptar ser mi coasesor, por brindarme su amistad y confianza, por su tiempo en la revisión de este trabajo.

A mis amigos por apoyarme en la realización de este trabajo, por toda motivación y los consejos que me brindaron en momentos complicados.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por haberme dado la oportunidad de existir, por bendecir cada decisión que he tomado en esta vida, por no dejarme solo en momentos complicados y difíciles, por darme fortaleza para mirar siempre al frente, por darme sabiduría y entendimiento para cumplir con cada uno de mis propósitos. Gracias mi Dios, por cuidarme, por protegerme, por todas las enormes bendiciones que me has dado y por este logro más.

A mis padres:

Merida Bravo Cruz y Aysel Urbano Pérez Morales por darme tanto amor y cariño en todos los años vividos, por apoyarme en cada una de mis decisiones que he tomado, por todo ese sacrificio que han por mí para mi formación profesional, por aceptar alejarme para lograr este sueño. Los amo.

A mis hermanos:

Yesarela Aurelia Pérez Bravo, Faviel Guadalupe Pérez Bravo, María del Carmen Pérez Bravo y Breydi Magdalena Pérez Bravo por su amor incondicional que siempre me han dado, por su comprensión y apoyo tanto económico y moral que me dieron durante mi carrera. Muchas gracias los quiero mucho.

A mi abuela:

Feliciana Morales por su amor y apoyo incondicional que siempre me ha brindado, y por todos sus buenos consejos que me ha dado y que me ayudaron a lograr este sueño. Gracias abuela.

A mis amigos:

Suri Sarai López por su grande amor, **Abner Vázquez, David Pérez Morales, Ángel López Vázquez, Ismael Roblero Morales, Samuel Roblero, Enrique Marroquín, Benety Merida Morales y Víctor López Gutiérrez** por su enorme amistad y comprensión, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3 HIPÓTESIS:.....	16
II. REVISION DE LITERATURA.....	17
2.1 EL RIEGO.....	17
2.2 SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL.....	17
2.2.1 Surgimiento.....	17
2.2.2 Definición.....	17
2.2.3 Ventajas y Desventajas.....	18
2.2.4 Costo energético.....	19
2.3 COMPONENTE DEL PIVOTE CENTRAL.....	21
2.3.1 Centro pivote.....	21
2.3.2 Panel de control.....	21
2.3.3 Sistema de propulsión.....	22
2.3.4 Lateral.....	22
2.3.5 Dispositivos de Seguridad.....	23
2.3.6 Emisores.....	23
2.4 PLUVIOMETRÍA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL.....	23
2.5 INDICADORES DE UNIFORMIDAD DE RIEGO EN PIVOTE CENTRAL.....	24
2.5.1 Coeficiente de Uniformidad de heerman y Hein 1968.....	24
2.5.2 Uniformidad de distribución.....	25
2.5.3 Factores que influyen en la uniformidad del riego.....	25
2.6 CONCEPTO DE FORRAJE.....	26
2.7 CULTIVOS FORRAJEROS.....	26
2.8 INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO.....	26

2.8.1 Avena forrajera de Variedad Chihuahua.....	26
2.8.2 Origen.....	26
2.8.3 Características	26
2.8.4 Clima.....	26
2.8.5 Preparación del terreno	27
2.8.6 Siembra.....	27
2.8.7 Fertilización.....	28
2.8.8 Malezas, Plagas y Enfermedades	28
2.8.9 Cosecha.....	28
2.9 USO CONSUNTIVO.....	29
2.10 FERTIRRIGACIÓN.....	29
2.11 SISTEMAS Y EQUIPAMIENTO PARA FERTIRRIGACION	29
2.12 FERTILIZACIÓN VÍA FOLIAR.....	30
2.13 CALIDAD DEL AGUA EN EL FERTIRRIEGO	31
2.13.1 Características físicas.....	31
2.13.2 características químicas.....	31
2.14 EL SUELO Y EL FERTIRRIEGO	32
2.14.1 Salinidad	32
2.14.2 El pH de la Solución Suelo	32
2.15 NUTRIENTES ESENCIALES PARA LOS CULTIVOS	33
2.16 FERTILIZANTE FERTIDRIP 20 20 20.....	34
III. MATERIALES Y METODOS.....	35
3.1 MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS.....	35
3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DEL EXPERIMENTO	36
3.2.1 Croquis del área del experimento.....	36
3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	37
3.4 PRUEBA ESTADÍSTICA	37
3.5 VARIABLES OBSERVADAS	38
3.6 MÉTODO DE MEDICIÓN.....	38
3.7 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO.....	39
3.8 FUENTE DE ABASTECIMIENTO	39
3.9 DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	40
3.10 FRECUENCIA DE RIEGO	41

3.12 PREPARACIÓN DEL TERRENO	41
3.13 SIEMBRA.....	41
3.14 GERMINACIÓN	42
3.15 DESHIERBES	42
3.16 FERTIRRIGACIÓN DEL CULTIVO	42
3.17 COSECHA	42
3.18 PLUVIOMETRÍA	43
3.18.1 Evaluación	43
3.18.2 Procedimiento de campo	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE AVENA DE VARIEDAD “CHIHUAHUA” CON EL MÉTODO DE BLANEY CRIDDLE.....	47
4.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	49
4.2.1. Primera prueba	50
4.2.2. Segunda prueba	52
4.2.3 Tercera prueba	53
4.3. PLUVIOMETRÍA DEL PIVOTE CENTRAL.....	55
4.4. CRECIMIENTO DEL CULTIVO.....	56
4.5. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO	57
4.5.1 Titulación del FertiDrip 20-20-20 con datos de Conductividad Eléctrica.....	58
4.6. PH DE AGUA DE RIEGO.....	59
4.6.1 Titulación del FertiDrip 20-20-20 con datos de PH	60
4.7. PESO SECO DEL FORRAJE EN KILOGRAMOS/METRO CUADRADO DE CULTIVO (CORTE).....	60
4.8 RESULTADO DE LA PRUEBA T-STUDENT.....	61
V. CONCLUSIONES.....	63
VI. BIBLIOGRAFÍA	65
VII. ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Asimilación de nutrientes en función del PH	32
Figura 3.1: Plano del área experimental	36
Figura 3.2: Medición del crecimiento del cultivo.....	38
Figura 3.3: Aplicación del fertilizante FertiDrip 20-20-20	39
Figura 3.4: Diseño del área del experimento.....	40
Figura 3.5: Cuadro de Construcción del área de experimento	40
Figura 4.1: Evapotranspiración mensual en mm del cultivo.....	47
Figura 4.2: Requerimiento de riego mensual en mm del cultivo.....	48
Figura 4.3: Pluviometría del pivote central	55
Figura 4.4: Curva de crecimiento del cultivo de Avena forrajera "Chihuahua"	56
Figura 4.5: Conductividad Eléctrica (CE) del agua de riego	57
Figura 4.6: Curva de titulación de FertiDrip 20-20-20 con datos de Conductividad Eléctrica.....	58
Figura 4.7: PH del agua de riego.....	59
Figura 4.8: Curva de Titulación del FertiDrip 20-20-20 con datos de PH	60
Figura 4.9: Peso seco del cultivo en kilogramos/m²	60
Figura 7.1: Levantamiento topográfico con estación total	67
Figura 7.2: Dilución del fertilizante FertiDrip 20-20-20 en el agua de riego	67
Figura 7.3: Recolección de muestras en cada aplicación de fertilizante FertiDrip 20-20-20.....	67
Figura 7.4: Muestras del agua de riego recolectadas de la unidad experimental,.....	68
Figura 7.5: Agregando diferentes concentraciones de Fertilizante FertiDrip 20-20-20 en un litro de agua de riego utilizado en el campo experimental. Esto para obtener la curva de titulación	68
Figura 7.6: Marcado de las plantas para medir la variable altura de la unidad fertirrigada.....	69
Figura 7.7: Marcado y recolección de planta de avena forrajera de variedad Chihuahua por metro cuadrado de la unidad experimental	69
Figura 7.8: Etiquetado, enumerado y pesado de las 12 muestras recolectadas tanto de la unidad fertirrigada, solo riego y unas muestras de temporal para facilitar el análisis del experimento.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Costo energético para el área agrícola en el 2017	21
Tabla 2.2: Tasa de absorción de elementos vía foliar.....	31
Tabla 2.3: Composición porcentual del fertilizante FertiDrip 20-20-20	34
Tabla 3.1: Formato para las pruebas de pluviometría	45
Tabla 3.2: Formato para el registro de los análisis de la calidad del agua colectada en los recipientes	46
Tabla 4.1: Evapotranspiración del cultivo	47
Tabla 4.2:Requerimiento de riego del cultivo	48
Tabla 4.3: Coeficiente de uniformidad de la primera prueba.....	50
Tabla 4.4: Coeficiente de uniformidad de la segunda prueba.....	52
Tabla 4.5: Coeficiente de uniformidad de la tercera prueba.....	53
Tabla 4.6: Datos de altura del cultivo durante el ciclo.....	56
Tabla 4.7: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales	61

FERTIRRIGACIÓN EN AVENA FORRAJERA CON PIVOTE CENTRAL

RESUMEN

El pivote central es un sistema de riego presurizado y más automatizado disponible en el mercado y actualmente es muy utilizado en los últimos tiempos por agricultores en muchos países. La técnica de fertirriego es considerada el método de aplicación de nutrientes más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Para ello se emplea el agua de riego con objeto de hacer llegar los fertilizantes en el momento y dosis que el cultivo requiera, logrando un mejor control sobre el rendimiento y calidad de las cosechas.

La tecnología del fertirriego permite ser aplicada bajo cualquier sistema con riego presurizado, en este caso el pivote central, el cual fue requerido en un experimento para estudiar el efecto del fertilizante FertiDrip 20-20-20, en una unidad con cultivo de avena forrajera con relación a otra que solo se le aplico riego continuo.

El experimento fue en el pivote central WR800 Wade Rain de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (UAAAN), el cual se encuentra al sureste de la ciudad de Saltillo Coahuila, sus coordenadas geográficas son: 25° 22' de Latitud Norte y 101° 01' Longitud Oeste con una altitud promedio de 1,742 msnm.

El 26 de octubre del 2017 se inició sembrando el cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua, en el área antes mencionado; con suelo arcilloso.

En este experimento se analizaron indicadores de uniformidad del pivote central como lo es el coeficiente de uniformidad de Herman y Hein 1968. En la primera prueba se obtuvo un resultado de 76.91%, en la segunda prueba se obtuvo un CUh = 75.54%, en la tercera prueba un CUh = 75.48; que de acuerdo con Tarjuelo (1999), los valores de CUh no fueron muy aceptables, debido a que son inferiores a 80%, pero se consideraron los efectos de la velocidad del viento, la calidad del agua y el mantenimiento de los emisores.

Se realizaron muestreos durante el experimento, en los días: 21/01/2018, 01/02/2018, 13/02/2018, 22/02/2018 y 05/02/2018 a los 88, 99, 111, 120 y 131 días después de la siembra respectivamente, para evaluar el crecimiento del cultivo.

Se realizó una prueba t-student para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, esto para hacer el ensayo de hipótesis encontrando que: si existía diferencia estadísticamente significativa en el promedio de peso seco en kg entre las dos unidades (Unidad fertirrigada y unidad riego). El cual fue positivo.

Palabras claves: Fertirrigación, Pivote central, Pluviometría, Avena forrajera y Fertilizante FertiDrip 20-20-20.

Nombre: Limber Ausencio Pérez Bravo

Correo: Limber.estudio@hotmail.com

FERTIRRIGATION IN FEED AVENA WITH CENTRAL PIVOT

ABSTRACT

The central pivot is a pressurized and more automated irrigation system available in the market and is currently widely used by farmers in many countries. The fertigation technique is considered the most efficient and environmentally friendly method of nutrient application. For this, irrigation water is used in order to deliver the fertilizers at the time and dose that the crop requires, achieving a better control over the yield and quality of the crops.

The technology of fertigation allows to be applied under any system with pressurized irrigation, in this case the central pivot, which was required in an experiment to study the FertiDrip fertilizer effect 20-20-20, in a unit with forage oats cultivation with relationship to another that only applied continuous irrigation.

The experiment was in the central pivot WR800 Wade Rain of the Autonomous Agrarian University "Antonio Narro" (UAAAN), which is located southeast of the city of Saltillo Coahuila, its geographic coordinates are: 25 ° 22 'North Latitude and 101 ° 01 'West longitude with an average altitude of 1,742 meters above sea level.

On October 26, 2017, sowing the forage oats cultivation of Chihuahua variety began in the aforementioned area; with clay soil.

In this experiment, indicators of uniformity of the central pivot were analyzed, such as the coefficient of uniformity of Herman and Hein 1968. In the first test a result of 76.91% was obtained, in the second test a CUh = 75.54% was obtained, in the third test a CUh = 75.48; that according to Tarjuelo (1999), the values of CUh were not very acceptable, because they are lower than 80%, but the effects of wind speed, water quality and maintenance of the emitters were considered.

Samples were taken during the experiment, on the days: 01/21/2018, 02/01/2018, 02/13/2018, 02/22/2018 and 05/02/2018 at 88, 99, 111, 120 and 131 days after sowing respectively, to evaluate the growth of the crop.

A t-student test was performed for two samples assuming unequal variances, this was done to test the hypothesis finding that: if there was a statistically significant difference in the average dry weight in kg between the two units (Fertigation unit and irrigation unit). Which was positive

Key Words: Fertigation, Central Pivot, pluviometry, Forage Oats and FertiDrip Fertilizer 20-20-20.

I. INTRODUCCIÓN

El pivote central es un sistema de riego a presión, muy utilizado en los últimos tiempos por agricultores en muchos países, se trata de una tubería portae emisores suspendida sobre unas torres motrices, alineadas entre sí, que giran sincronizadamente alrededor de un centro pivotante, anclado sobre una plataforma de hormigón, por el cual recibe el agua y la energía eléctrica. En su desplazamiento, el pivote va describiendo un círculo y realizando el riego simultáneamente. Este sistema de riego tiene una eficiencia de aplicación global recomendada entre 75% - 90%, aun cuando la eficiencia de aplicación es de 74%, es aceptable aunque se encuentre cercas del límite inferior de eficiencia global y no cubra un porcentaje de área irrigada, en este caso aumentar la lámina de riego a aplicar por pivote central y se incrementaría el porcentaje de área irrigada, provocando un aumento en pérdidas por percolación, que a la vez puede ser tolerable con la finalidad de que no decaiga el rendimiento del cultivo (Román et al., 2013, p.10).

Existen elementos que se deben tener en cuenta a la hora de incorporar la tecnología del riego en los sistemas de producción. Por ejemplo, la cantidad de agua que un suelo puede almacenar y la infiltración básica o velocidad de infiltración que tiene el suelo. Ambos son elementos que determinarán el manejo del riego y la operación de los equipos de riego.

Conocer el suelo de determinado lugar es indispensable para el establecimiento de cultivos y en el sistema de riego a instalar, aunque en algunos conceptos el papel del suelo es menos importante, en el caso del riego que se aplica con láminas bajas y de alta frecuencia, como el caso de la aspersion o goteo, ya que la lámina de agua a aplicar tiende a ser igual al consumo. Sin embargo, hay que tener en cuenta la cantidad de agua que el suelo puede almacenar, así como el agua disponible que hay en la zona de crecimiento de las raíces, porque son aportes de agua al crecimiento de la planta.

El cultivo de avena tiene gran importancia en México, ya que se ha incrementado su superficie sembrada en los últimos 15 años. En años con retraso de temporal o con largos periodos de sequía, se ha promovido la siembra de este cereal en

extensas áreas siniestradas; sin embargo, el abasto de semilla es insuficiente y su demanda es tan alta que propicia el comercio de semilla de dudosa calidad. En México aún no se dispone de la tecnología para el manejo agronómico adecuado hacia la producción de este cultivo. El pivote central está siendo una de las opciones para cumplir con el riego de extensas áreas del cultivo de avena.

En México, cada día se hace posible un desarrollo más moderno de los sistemas de producción en el campo agrícola, con la introducción de fertilizantes líquidos y sólidos solubles, y estableciendo áreas de cultivos un poco más automatizados; se ha logrado incrementar la eficiencia de utilización de los insumos y por consiguiente productos con mayor calidad (Rodríguez & Troncoso, 2005).

La fertirrigación o fertigación es una técnica en el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Con este método fácilmente podemos controlar la parcialización, la dosis, la concentración, y la relación de los fertilizantes. La fertirrigación es técnica de aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego a los cultivos; en algunos países como USA, Holanda, Israel, Italia y España ha ido desarrollándose con los modernos sistemas de irrigación y por la calidad de los fertilizantes. Cabe mencionar que las áreas bajo riego a presión son cada vez más extensas en los países desarrollados y en vías de desarrollo, debido a que se pueden producir cultivos que sin estos sistemas de riego serían más complicados lograrlos. El pivote central es un sistema de riego que, por su estructura y su manejo, tiene la capacidad de poder lograr una fertirrigación uniforme y adecuada; como lo describiremos más adelante.

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de la fertirrigación en el cultivo de avena forrajera como referencia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir la uniformidad del riego del pivote central, mediante pruebas de pluviometría.

- Comprender a grandes rasgos la distribución del riego que se logra por medio del sistema de riego por pivote central.

1.3 HIPÓTESIS:

Se aplicó una prueba estadística t-student, para evaluar la significancia que se tiene entre la unidad fertirrigada y la unidad de riego.

Ho= No existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de peso en kg entre las dos unidades evaluadas, con 95% de confiabilidad.

Ha= Si existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de peso en kg entre las dos unidades evaluadas, con 95% de confiabilidad.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 EL RIEGO

El riego consiste en aportar agua al suelo, para que las plantas cultivadas puedan crecer y/o desarrollarse. Ésta es una actividad necesaria tanto como en la agricultura tradicional y la jardinería.

El riego parte de principal objetivo que es el ahorro de agua, cabe mencionar que la disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5% es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano. A nivel mundial el uso del agua es aproximadamente 69% agropecuaria, 19 % industrial y 12% municipal (Comisión Nacional del Agua, 2018, s/p.).

El riego es un componente esencial del desarrollo agrario sustentado. La escasez de agua constituye una importante limitación para el desarrollo agrícola en la regiones áridas y semiáridas. En muchas áreas mundiales, la competencia creciente por el agua, consecuencia del aumento de la demanda para distintos usos, conlleva un incremento en su coste y una creciente limitación de su disponibilidad para su uso en la agricultura. (Luis et al., 2010, p.87).

2.2 SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

2.2.1 Surgimiento

Frank Zybach, un granjero de Strasburg, Colorado, diseño y ensambló un aparato autopropulsado de riego por aspersores, logrando una alternativa práctica al tremendo esfuerzo de regar con palas y tubos (sifones) cargados a mano.

Fue en Julio de 1952, cuando Zybach patentó su nueva tecnología de riego. A este invento se le puso el nombre de pivote central (New Ag International, 2008, p.38).

2.2.2 Definición

El sistema de riego por pivote central consiste básicamente en llevar el agua de riego hasta los cultivos, mediante un lateral autopropulsado a través del cual se alimentan aspersores regantes distribuidos de acuerdo con los requerimientos,

cuyas cabezas de riego pueden ser ubicadas a distancias variables del suelo. El lateral va suponiendo sobre el área de cultivo por medio de torres metálicas en forma de “A”, generalmente de acero galvanizado o aluminio, la que es montada sobre torres de metal que se mueven sobre conjuntos de ruedas, de modo que el pivote gira en círculos manteniendo uno de sus extremos fijos en el centro del campo denominado “centro Pivote”, por el que se realiza el abastecimiento de agua permitiendo el riego de superficies circulares.

2.2.3 Ventajas y Desventajas

Ventajas:

- ✓ La alta eficiencia de aplicación reduce el volumen de agua durante el ciclo del cultivo, hay autores que indican valores de coeficiente de uniformidad de 94%.
- ✓ Es relativamente sencillo diseñar un sistema que satisfaga la demanda pico del cultivo, sin causar un impacto significativo en el costo de la inversión.
- ✓ El abastecimiento de agua es regular y sumamente fácil, ya que el punto central estacionario permite esta particularidad.
- ✓ El punto central fijo facilita también el control del movimiento y la alineación del brazo rotatorio.
- ✓ Al terminar la aplicación de un riego, la lateral se encuentra en posición adecuada para el inicio del siguiente.
- ✓ Según Jensen 1980, los equipos de aspersion de Pivote central son mejores sobre los equipos estacionarios bajo condiciones de viento.
- ✓ El lateral en continuo movimiento representa un infinito número de posiciones a lo largo del área a regar, por lo que solo afecta a aquellos lugares donde el lateral este en sentido contrario a la dirección del viento.
- ✓ El espaciamiento entre aspersores en la mayoría de estos equipos no es mayor de 12 m obteniéndose altas uniformidades de distribución.
- ✓ Posibilidad de aplicación de fertilizantes y químicos con el agua de riego.
- ✓ Se logran altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, agua y energía.

- ✓ En la actualidad los pivotes se utilizan para irrigar una impresionante gama de cultivos. Los tradicionales (maíz, trigo, soja, remolacha, algodón, patata), caña azucarera, arroz, espárragos, alcachofa, piña, café, frutales menores (arándanos), hortalizas y cítricos, ya que estos pueden tener despejes de hasta 5 m (Redagrícola, 2017, s/p).

Desventajas:

- ✓ Debido a la particularidad de regar superficies circulares tratándose de campos con lados rectos como son la mayoría, el equipo que se proyecte solo podrá regar un máximo de 90% de la superficie, ya que no puede hacerlo en las esquinas.
- ✓ La intensidad de aplicación en el extremo del lateral oscila entre 25 a 50 ml/h, lo cual para reducir o eliminar los problemas de escurrimiento y encharcamiento, obliga a programar aplicaciones rápidas pero frecuentes.
- ✓ Las diferencias de elevación que puedan existir entre los extremos del lateral hacen más difícil el diseño hidráulico del equipo.
- ✓ El pivote central requiere una inversión bastante alta, debiéndose efectuar un estudio económico financiero, para poder seleccionar este sistema.
- ✓ Estos equipos presentan aspersores a mayores alturas sobre la superficie del suelo, por lo tanto, están sujetos a los efectos de altas velocidades del viento.
- ✓ Intensidad de aplicación alta en el extremo del lateral.
- ✓ Mano de obra especializada para mantenimiento del sistema.
- ✓ El efecto del mojado de las hojas sobre las plagas y enfermedades.

2.2.4 Costo energético

Las tarifas eléctricas para bombeo agrícola las establece y publica la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en el Diario Oficial de la Federación (DOF). En 2003, a raíz del Acuerdo Nacional para el Campo, se establecieron las tarifas eléctricas de estímulo en la Ley de Energía para el Campo (LEC). Por esta razón los agricultores buscan tener una concesión de agua no para evitar las multas y sanciones de CONAGUA, sino para tener acceso a las tarifas de estímulo de electricidad para bombeo y rebombeo agrícola.

Tarifa 9. Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión. La energía se destina para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo. (Comisión Federal de Electricidad, 2017, s/p.).

Tarifa 9M. Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión. Tiene la misma aplicación que la tarifa 9, con la diferencia que se suministra en media tensión, por lo regular 13.8 kilovolts.

Tarifa 9-CU. Esta tarifa de estímulo con cargo único se aplica para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la cuota energética determinada (subsidio de la tarifa) por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). No se recomienda ser beneficiado de esta tarifa, es mejor obtener apoyo para la adquisición de paneles solares, para que el retorno de inversión sea más rápido.

Tarifa 9-N. Esta tarifa es de estímulo nocturno para bombeo de agua para riego agrícola. Tiene la misma aplicación que la tarifa 9 CU y la aplicación fotovoltaica será la misma. De día los paneles solares guardan la energía en la red de CFE y en la noche la consumen. El periodo nocturno comprende de las 0:00 horas a las 08:00 horas y el periodo diurno comprende de las 08:00 horas a las 24:00 horas, aplicable todos los días.

Tarifa 7. Servicio temporal. Aplica a todos los servicios que destinen la energía temporalmente a cualquier uso, exclusivamente donde y cuando la capacidad de las instalaciones del suministrador lo permitan y éste tenga líneas de distribución adecuadas.

Tabla 2.1: Costo energético para el área agrícola en el 2017

TENSIÓN	TARIFA	Demanda	CARGO POR KWh DE ENERGÍA CONSUMIDA					
			Primeros...		Siguintes...		Excedentes...	
		\$	\$	KWh	\$	KWh	\$	KWh
BAJA	9		10.146	5000	11.295	10000	12.326	20000
MEDIA	9M		10.146	5000	11.387	10000	12.471	20000
ESTÍMULO	9CU		0.580					
ESTÍMULO	9N		0.580	DIURNO	0.290	NOCTURNO		
	7	184.65	5.106					

Por otra parte, 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 (Cezar et al., 2008).

2.3 COMPONENTE DEL PIVOTE CENTRAL

2.3.1 Centro pivote

Es la estructura de acero en forma de pirámide, alrededor del cual gira todo el sistema, tiene una base cimentada (en los sistemas remolcables tienen unas ruedas que permiten transportarlo fácilmente por el campo) que sostiene la estructura y tramo vertical de tubería. El agua entra por la base del pivote y continúa a través del tubo de subida y del codo giratorio.

Esta estructura se encuentra anclada sobre una losa de concreto armado que absorbe perfectamente los esfuerzos de trabajo generados por la topografía del terreno y la rotación de la máquina. En el codo superior va un colector de anillos rozantes que realiza las conexiones de los cables de alimentación de los motores de las torres y de seguridad y control con el panel de control que va fijo en la estructura del pivote (Comision Nacional de Riego, 2018, p.30).

2.3.2 Panel de control

Se ubica generalmente en la estructura base o centro del pivote o en un costado del predio. Es un sistema eléctrico que suele estar formado por: cuadro de control y maniobra y el colector de anillos rozantes, localizados ambos en el pivote central, los cables conductores de tramo y las cajas de control de torres.

En el panel de control se programa las siguientes funciones de mando:

- * Velocidad de desplazamiento y sentido de avance
- * Arranque-realineación.

* Parada en una posición y conmutador sectorial, que permiten regar un sector circular.

* Funcionamiento coordinado de bomba y pivote, de forma automática, o arranque desde la estación de bombeo.

El colector alimenta las conexiones eléctricas entre las partes móviles y las fijas; y los mecanismos de seguridad se centran sobre todo en parar el equipo cuando se pierde el alineado de las torres y se supera la tolerancia en un cierto ángulo entre tramos.

2.3.3 Sistema de propulsión

Los sistemas de pivote central son impulsados ya sea mediante algo del agua presurizado, o por fuentes de energía independientes tales como electricidad, hidráulica de aceite o aire comprimido.

Normalmente la propulsión es por medio de motores eléctricos, que permiten regular fácilmente la velocidad y moverse sin necesidad de regar. Donde en cada torre lleva un motor que va desde 1.5 a $\frac{1}{2}$ cv que transmite el movimiento a las dos ruedas.

La velocidad de avance del equipo se regula actuando sobre el motor de la torre extrema (suele ir de 1.5 a 3 m por minuto, según la longitud del lateral). Las ruedas suelen ser neumáticas de unos 50 cm de radio, aunque existen diferentes variaciones.

2.3.4 Lateral

La separación entre torres (tramo) varía entre 25 y 75 m, aunque las más frecuentes son de unos 38 m (tramo corto) y 50 m (tramo largo). Los equipos de tramo largo son, normalmente, más económicos por llevar menos torres, pero su adaptación a topografías onduladas es menos eficiente y transmiten más peso al terreno, con mayor posibilidad de atascamientos. Por esta razón, los tramos finales de los equipos grandes suelen ser tramos cortos.

Las longitudes de lateral van desde 60 a 800 m. La inversión por hectárea regada disminuye al aumentar la longitud del equipo; pero el coste de aplicación de agua que contempla, en conjunto con el mantenimiento, la mano de obra, la energía y el

agua consumida, permanece prácticamente constante a partir de 50-60 hectáreas regadas (400-450 m de lateral) por crecer en gran medida el coste energético.

2.3.5 Dispositivos de Seguridad

El pivote cuenta con un sistema de seguridad que detiene la máquina siempre que se produce un fallo en el alineamiento por cualquier circunstancia, como puede ser el atasco de una rueda o un obstáculo (Morrillo et al., 2001).

2.3.6 Emisores

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

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

Al seleccionar el emisor correcto se pueden alcanzar una buena uniformidad de distribución, por ello, es importante tener en cuenta el tipo de emisor, el espaciamiento entre sí a lo largo del lateral, el tamaño de las boquillas y la presión de funcionamiento.

La tubería portaemisores suele ser de diámetro único y adecuado a transportar, el cual depende de las necesidades del cultivo y de la superficie a regar. Estas se fabrican, normalmente, de acero galvanizado interior y exteriormente, aunque también pueden ser de aluminio o acero revestido con pintura epóxica, siendo ser resistente a la corrosión ya que forma parte de la celosía entre torres. Los diámetros exteriores de tubería más frecuente suelen ser de 4-1/2" (114,3 mm), 6" (152,4 mm), 6-5/8" (168,3mm) y 8-5/8" (219 mm). El espesor de la tubería de acero está comprendido entre 2.5 y 3.3 mm según los diámetros (Gomez, 2008).

2.4 PLUVIOMETRÍA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

Se denomina pluviometría al estudio y tratamiento de los datos de precipitación, que se obtienen por medio pluviómetros ubicados en cualquier punto de estudio donde sea útil.

Se realiza para obtener información sobre sus características espaciales y temporales, como intensidad, frecuencia, fase, duración, cantidad, entre otros.

El principal objetivo de la pluviometría es medir el gasto, una vez obtenido los datos se calcula el gasto en l/s (León et al., 2012, p.712). Para realizar las pruebas de pluviometría en los pivotes centrales, se requieren equipos necesarios como:

- Un manómetro (0-100 PSI) con aditamento Pitot (el manómetro de caratula tipo bourdon).
- Un cronometro o reloj con manecilla en segundo fácilmente visible.
- De 40 hasta 100 envases colectores (dependiendo de la longitud de la lateral) de un litro de capacidad de boca ancha.
- Una probeta graduada de 250 ml para medir el volumen de agua colectada en los envases.
- Una cinta para medir las distancias en el lineamiento de la hilera de los colectores, para estimar la velocidad de la máquina.
- Una sonda de suelo, barrena vehimeyer, o sensores de humedad.
- Un nivel de mano y un estadal para revisar las diferencias de elevación topográfica.
- Una pala para afinar las áreas al colocar los envases colectores y para revisar los perfiles de suelo, raíces y penetración del agua.
- Tener a la mano el formato de pluviometría para registrar datos observados.
- Especificaciones de emboquillamiento del fabricante dando descarga y presión, y las instrucciones para controlar la velocidad de la máquina.
- Para las maquinas impulsadas hidráulicamente con agua que no incorporan el agua de transmisión dentro de los patrones de aspersión, una cubeta de 2 a 5 galones y posiblemente una sección corta de manguera flexible facilitan el aforo de la descarga de agua enviada a los pistones o turbinas de la transmisión hidráulica.

2.5 INDICADORES DE UNIFORMIDAD DE RIEGO EN PIVOTE CENTRAL

2.5.1 Coeficiente de Uniformidad de heerman y Hein 1968

El coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein (CUh), es una modificación del coeficiente de Christansen, donde cada pluviómetro representa una corona circular

de área creciente a medida que se aleja del punto pivote; es un indicativo del desempeño conjunto de emisores en condiciones de campo, ambiente y presión (Palacios et al., 2017, p.37). De acuerdo con la literatura considera que con valores de CUh inferiores a 80% el equipo no riega adecuadamente, entre 85 y 90% la superficie está bien regada y con valores superiores a 90% el área está muy bien regada, (Tarjuelo, 1999).

2.5.2 Uniformidad de distribución

La Uniformidad de Distribución (UD) es una medida de cuanto de agua se aplica a través del campo durante el riego. Se expresa en porcentaje entre 0 y 100%, pero en la práctica es virtualmente imposible obtener el 100%. Una UD inferior al 70% es considerada deficiente, UD entre 70 y 90% es buena, y UD superior al 90% es excelente. En resumen, una UD deficiente significa que se está aplicando demasiada agua, lo que implica un gasto innecesario, o que el agua aplicada no es suficiente, causando estrés a los cultivos (Franco, 2018).

2.5.3 Factores que influyen en la uniformidad del riego

La velocidad del viento es un factor que influye en la uniformidad de riego, así se refleja en estudios y evaluaciones que se han hecho en varios campos de cultivo. Aunque (Tarjuelo, 2005) menciona que no se ha encontrado claras diferencias en la uniformidad de reparto de agua por el factor velocidad y dirección del viento, es decir, la velocidad del viento no tiene demasiada repercusión en la distribución del riego, pero es un factor muy importante considerarlo cuando la velocidad del viento es alta.

La altura de los emisores con relación al suelo puede afectar el parámetro uniformidad. Los emisores que se encuentran entre 0.9-1.2 m en pivotes de cualquier marca, son muy aceptables ya que la literatura dice que a medida que disminuye la altura, aumenta el coeficiente de uniformidad. Es por ello por lo que se plantean reducir la altura de los emisores, para disminuir las pérdidas por evaporación y arrastre, sin perjudicar los parámetros de calidad del riego (Jiménez et al., 2012)

2.6 CONCEPTO DE FORRAJE

Son gramíneas o leguminosas cosechadas para ser suministradas como alimento a los animales, sea verde, seco o procesado (heno, ensilaje, rastrojo, sacharina, amonificación).

2.7 CULTIVOS FORRAJEROS

Las principales especies forrajeras que se siembran en condiciones de riego en el norte de país son las siguientes: alfalfa, maíz, avena, sorgo, pasto ballico anual y pastos perennes para pastoreo, en superficies extensas (INIFAP, 2004, p.3).

2.8 INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO

2.8.1 Avena forrajera de Variedad Chihuahua

Especie: Avena Sativa L.

Grano de tipo tardío con altura de 0.90-1.35m. Tallo grueso, hojas anchas, granos blancos, se adapta bien a las zonas de riego o de buen temporal de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas, Estado de México, Puebla y Jalisco

2.8.2 Origen

Variedad forrajera Chihuahua, liberada por el INIA en 1967, con amplio rango de adaptación para la región temporal de Chihuahua. Es de ciclo tardío, con una floración de 55 a 66 días y 95 a 110 días a madurez fisiológica. La característica principal es que el grano es color blanco vistoso y grande. Es susceptible a las royas del tallo y de la hoja.

2.8.3 Características

Tipo de variedad: Forrajera "chihuahua"

Ciclo Vegetativo: Ciclo Tardío

Tallos: Gruesos

Hojas: Anchas

Tipo de Grano: Color Blanco

Altura de Planta: 0.90-1.35 m

Densidad: 80-90 kg/ha (INIFAP, 2014)

2.8.4 Clima

La avena es una gramínea anual, adaptada a climas fríos y húmedos, sensible a altas temperaturas, especialmente en las etapas de floración y formación de grano.

Posee hojas alargadas, tallos gruesos y erectos y raíces abundantes y profundas. Es una planta que requiere más humedad que otros cereales, aunque tiene baja tolerancia al exceso de humedad. Es un cultivo rústico, prefiere suelos profundos y de textura media, aunque es poco exigente en las características del suelo y se desarrolla bien en suelos ligeramente ácidos a neutros (SAGARPA, 2016)

2.8.5 Preparación del terreno

Para la siembra de avena forrajera, la preparación del suelo es una medida importante dado que cuanto más prolongado sea el barbecho mejor será la implantación, permitiendo un mejor control de malezas, mayor almacenaje de agua y descomposición de los restos vegetales.

La preparación de terreno depende del tipo de suelo que se tenga, por lo regular consiste en barbecho y rastra antes de realizar la siembra. En suelos arenosos el barbecho no es necesario, dándose únicamente una doble rastra pesada. En suelos muy arcillosos, además del barbecho, es necesario dar un doble paso de rastra para una mejor distribución de la semilla.

2.8.6 Siembra

Se recomienda 120 kg/ha de semilla de avena forrajera de variedad Chihuahua. Se puede utilizar diferentes métodos de siembra, dependiendo de la disponibilidad de maquinaria y pendiente del terreno. Cuando el terreno es plano, se recomienda sembrar en hileras utilizando la “drilla”, sembradora triguera o de granos pequeños. La distancia entre hileras puede variar según las condiciones y la marca de la sembradora, lo más común es sembrar a una distancia de 11 a 25 centímetros entre hileras y a una profundidad de 6 cm. Para el caso de terrenos con pendiente baja, se recomienda el uso de corrugaciones o surcos. En el primer caso, posterior a la siembra se levanta un surcado de aproximadamente 15 cm de profundidad con una separación entre surcos de 30 a 40 cm. Para la siembra en surcos, después de preparar el terreno, se forman los surcos de 70 a 80 cm de separación, luego se siembra y se fertiliza al mismo tiempo, utilizando la sembradora convencional de grano pequeño.

Para la avena forrajera de variedad “Chihuahua” siendo preferible realizarla entre el 15 de noviembre y 15 de diciembre, si el predio se encuentra en la parte centro y norte del estado de Coahuila, esto para que el cultivo tenga un mejor amacollamiento al aprovechar un mayor período de horas frío, lo cual producirá mejores rendimientos.

2.8.7 Fertilización

Dosis: La época de aplicación, se sugiere la fórmula de fertilización 120-60-00 en suelos pesados se sugiere aplicar todo el nitrógeno y el fósforo al momento de la siembra, mientras que para suelos ligeros se recomienda aplicar todo el fósforo y la mitad del nitrógeno; el resto del nitrógeno inmediatamente antes del primer riego de auxilio. El método de aplicación puede ser al voleo o con máquina fertilizadora.

2.8.8 Malezas, Plagas y Enfermedades

En riego y temporal el cultivo de avena es susceptible a la roya, principalmente las variedades de ciclo largo; sin embargo, bajo condiciones de una adecuada fertilización estas raramente se presentan, salvo en años húmedos. Para el control de plagas los principales problemas son los pulgones del follaje, del cogollo y de la espiga; deben de combatirse cuando se encuentren 10 pulgones por planta antes del espigamiento, o de 5 a 10 pulgones por espiga. Se deben aplicar cualquiera de los siguientes productos: Dimetoato 40% en dosis de 0.75 a 1 litro por hectárea, Diazinón 25 CE en dosis de 1 a 1.5 litros por hectárea y Sevín 80 en dosis de 1 a 1.5 kilogramos por hectárea. En cuanto a malezas se puede aplicar un herbicida para hoja ancha, como 2-4 D amina, en la cantidad de 1 litro por hectárea, disuelto en 200 litros.

2.8.9 Cosecha

El corte del forraje de avena está en función del rendimiento de materia seca y de la calidad que se desea obtener, tomando en cuenta el ganado que se va a alimentar. La cosecha se realiza entre 87 a 109 días después de la siembra en etapa de madurez fisiológica, en algunos casos dependiendo de la variedad cuando la planta alcanza una altura de 30 a 35 cm. El corte puede realizarse con segadora mecánica o de manera manual con hoz y se deja secar en el suelo en hileras durante dos a tres días. Posteriormente se voltea para que se seque por el otro lado y se

procede a empacarlo. Es importante ajustar en forma apropiada la maquinaria para lograr una cosecha óptima.

En forraje seco se espera un rendimiento promedio de 5 a 6 toneladas por hectárea, y 14 toneladas por hectárea en forraje fresco, con un costo de producción de \$3,670 por hectárea, un ingreso bruto de \$3,800 por hectárea y una relación beneficio costo de 1.03.

2.9 USO CONSUNTIVO

Se define como la cantidad de agua que es necesario suministrar para que sea utilizada en la construcción de los tejidos de las plantas, en la transpiración de estas y en la evaporación realizada por el suelo. Durante todo el ciclo del cultivo. Al hablar de uso consuntivo nos referimos a la cantidad de agua consumida, sin posible recuperación, para que las plantas cultivadas puedan realizar su desarrollo completo y madurar su cosecha (Joaquín & Ricardo, 2018).

2.10 FERTIRRIGACIÓN

Fertirrigación son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como; aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, entre otros. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes (Sanchez, 2000).

Es importante resaltar que independientemente del sistema de irrigación utilizando en la fertirrigación, los nutrientes son aplicados diluidos en el agua de riego con el fin de infiltrarlo en el suelo, predominando la absorción radicular y no la foliar. En ese sentido, el conocimiento del comportamiento de los nutrientes en el suelo con relación a su movilidad y la exigencia del cultivo durante su ciclo, son factores importantes para considerar en el manejo de los fertilizantes.

2.11 SISTEMAS Y EQUIPAMIENTO PARA FERTIRRIGACION

Una unidad de fertirrigación está compuesta de: tanque de fertilizantes para la solución madre, válvula de retención, filtro principal, medidor de agua y el equipo de inyección.

La inyección química puede ser realizada de tres formas:

a) Tanque de Fertilización: Opera a base de una válvula de estrangulamiento ubicada en el sistema de riego, lo que produce que una parte del flujo de agua en la línea principal sea derivada a través del tanque de fertilizante el que puede o no contener una bolsa para retener el producto a ser inyectado.

b) Inyector Venturi: El inyector opera según el principio Venturi en el que existe una constricción con una entrada específica y una salida en la tubería, lo que crea un vacío. Esta causa en ascenso en la velocidad del flujo provocado la succión de la solución fertilizantes en este punto. La tasa de inyección dependerá de la pérdida de presión generada en la constricción.

c) Bombas Inyectoras: El elemento de inyección constituye el corazón de todo sistema de fertirrigación. Existe una gran variedad de bombas dosificadoras; de engranaje, rotativa, pistón o diafragma para desarrollar presiones que excedan la presión del sistema de riego e inyectar la solución.

2.12 FERTILIZACIÓN VÍA FOLIAR

Las plantas pueden fertilizarse suplementariamente a través de las hojas mediante aplicaciones solubles en agua, de una manera más rápida que por el método de aplicación al suelo. Los nutrientes penetran en las hojas y también a través de espacios submicroscópicos denominados ectodesmos en las hojas y al dilatarse la cutícula de las hojas se producen espacios vacíos que permiten la penetración de nutrientes.

Tabla 2.2: Tasa de absorción de elementos vía foliar

Valores de referencia para estimar la tasa de absorción de elementos vía foliar	
Elemento	Tiempo (para que ocurra un 50% de absorción)
Nitrógeno (UREA)	0.5 a 2 horas
Fósforo	5 a 10 días
Potasio	10 a 24 horas
Calcio	10 a 24 horas
Magnesio	10 a 24 horas
Azufre	5 a 10 días
Cloruro	5 a 4 días
Hierro	10 a 20 días
Manganeso	1 a 2 días
Zinc	1 a 2 días
Molibdeno	10 a 20 días

2.13 CALIDAD DEL AGUA EN EL FERTIRRIEGO

2.13.1 Características físicas

Se consideran las sustancias que llevan en suspensión como: tierra (arena, limo, arcilla) y materia orgánica. Los materiales sólidos de mayor densidad que el agua se elimina por decantación y los materiales orgánicos con el proceso de la filtración.

2.13.2 características químicas

El contenido total de sales trae como peligro la acumulación de sales solubles en el suelo, que puede generar problemas de presión osmótica, es decir producen dificultades de absorción de agua por las plantas. La dureza del agua es otro factor que está relacionada con la presencia de iones de calcio y magnesio; es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresada en miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCO₃/l) o partes por millón de carbonato de calcio (ppm CaCO₃). También el contenido de iones tóxicos afecta la susceptibilidad de un cultivo, perjudican el área foliar y disminuyen la capacidad fotosintética de la planta. Los iones más comunes son el Sodio, Cloro y Boro.

El PH del agua de riego indica la acidez o alcalinidad del agua de riego el pH mayor que 8.0, es una limitante en el fertirriego, ya que hay peligro que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en que los nutrientes no puedan aprovecharse.

2.14 EL SUELO Y EL FERTIRRIEGO

2.14.1 Salinidad

Los fertilizantes son sales que, agregadas con el agua de riego, forman una solución salina que se aplica al suelo. Esta tiene efectos benéficos si las sales son fertilizantes y se dosifican sin exceder los límites de calidad de agua para los cultivos; esto debido a que existe una relación entre la salinidad del agua de riego, de la solución del suelo y del agua de drenaje.

2.14.2 El pH de la Solución Suelo

El pH (o reacción) de la solución suelo influye en la capacidad de las plantas de absorber nutrientes; en general, puede considerarse entre 5.0 y 7.5 como valores extremos. Sin embargo, cada cultivo tiene un rango específico para su mejor desarrollo. La mayoría de las plantas absorben los nutrientes en un alto porcentaje a valores de pH entre 6.0 y 6.8.

El pH del suelo puede originar desórdenes nutritivos, debido a que la concentración de estos iones puede aumentar o disminuir (Gutiérrez et al., 2015, s/p).



Figura 2.1: Asimilación de nutrientes en función del PH

2.15 NUTRIENTES ESENCIALES PARA LOS CULTIVOS

Son 17 elementos químicos (nutrientes) que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tres elementos; Carbono, Oxígeno e Hidrógeno son tomados por las plantas del aire y del agua; los trece restantes provienen del suelo y se denominan minerales. Dentro de ellos distinguimos a los macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio y Magnesio) y los micronutrientes (Hierro, Cobre, Manganeso, Zinc, Molibdeno, Cloro, Boro y Níquel).

a) Nitrógeno. Es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego. Esto se debe a su alta movilidad en el suelo, por tanto, también existe un alto potencial de pérdida por lixiviación como nitrato (NO_3^-). Ante esta situación la fertirrigación permite aplicar los fertilizantes nitrogenados en función de la demanda del cultivo. Del nitrógeno total de la capa superficial del suelo agrícola, más del 85% está en forma orgánica y sujeto a mineralización por procesos microbiológicos para pasar a amonio (NH_4^+) y posteriormente por la nitrificación transformarse a nitritos (NO_2^-) y finalmente a nitratos (NO_3^-).

b) Fósforo: Ningún nutriente tiene tan estudiado su comportamiento como el fósforo. Desde el punto de vista del manejo del fertilizante fosfatado. El fósforo se encuentra en el suelo en diferentes combinaciones químicas, siendo sus características; baja solubilidad, recuperación por el cultivo muy baja, no se mueve largas distancias de donde es aplicado y por lo tanto no se lixivia. Por lo tanto, una alta frecuencia de aplicación de fósforo por fertirrigación puede aumentar el tiempo promedio de la concentración de fósforo en la solución suelo arriba de las consideraciones de solubilidad.

c) Potasio: La aplicación del potasio junto con el nitrógeno vía agua de riego, es una práctica bastante utilizada en la agricultura moderna, esto debido a que presentan una alta solubilidad, la mayoría de los fertilizantes potásicos. El potasio es menos móvil que el nitrato y su distribución en el suelo puede ser más uniforme ya que se distribuye lateralmente. La utilización del sulfato de potasio puede ser limitada debido a las grandes cantidades de calcio en las aguas de riego que provocan precipitaciones de sulfato de calcio. En tanto, el cloruro de potasio no es

recomendable su utilización en suelos de alta salinidad, principalmente de cloruros ya que pueden causar toxicidad a los cultivos.

d) Otros Nutrientes: La nutrición de Calcio y Magnesio constituye un problema en los programas de fertilización especialmente en fertirriego bajo condiciones de suelos arenosos, debido a su marcada incompatibilidad con gran parte de fertilizantes. El Azufre, en términos generales es suplido por muchos fertilizantes portadores de macro y micronutrientes. Finalmente, las fuentes de micronutrientes son diluidos en agua formando soluciones o suspensiones siguiendo los mismos principios de, solubilidad, compatibilidad y movilidad.

2.16 FERTILIZANTE FERTIDRIP 20 20 20

Fertilizante ultra soluble enriquecido con Ácidos Fúlvicos y Húmicos especialmente elaborado para usarse en fertirrigación y aspersion foliar.

Es un producto libre de Sodio y Cloruros, ideal para usarlo en todo tipo de cultivos. Excelente para ser utilizado en producción de plántula en invernadero y almácigos diluyéndolo en el agua de riego a razón de 0.5 gr. por cada litro de agua. En el cultivo de Avena se recomienda aplicar de 3 a 4 kilogramos/ha.

Por su fórmula 20-20-20 se recomienda especialmente durante la etapa de crecimiento vegetativo, porque contiene microelementos, Azufre y Magnesio, necesarios para un vigoroso desarrollo de raíces, tallos y hojas que crearan las reservas que la planta requiere en la etapa de floración y cuajado de frutos.

Tabla 2.3: Composición porcentual del fertilizante FertiDrip 20-20-20

Composición Porcentual			
Ingredientes Activos	% en peso		
Nitrógeno Tota (N)	20%	Calcio (Ca)	30 ppm
Nitrógeno Nítrico	2.8%	Azufre (S)	1,670 ppm
Nitrógeno Amoniacal	2.4%	Magnesio (Mg)	540 ppm
Nitrógeno Amídico	14.8%	Fierro (Fe)	600 ppm
Fósforo asimilable (P2O5)	20%	Zinc (Zn)	800 ppm
Potasio soluble (k20)	20%	Manganeso (Mn)	300 ppm
Ac. Fúlvicos y Húmicos	2%	Cobre (Cu)	100 ppm
		Boro (B)	200 ppm
		Molibdeno (Mo)	10 ppm

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS

Personal:

Un operador de tractor

Un operador de pivote central

4 ayudantes

Equipo y herramientas:

Pivote central WR800 Wade Rain

Semilla de avena “variedad Chihuahua”

Fertilizante FERTIDRIP 20-20-20

Planta de bombeo

1 Probeta de 250 ml

1 Recipiente

60 Vasos desechables

40 Bases de madera

1 Mezclador

Lápiz

Cuaderno

Conductímetro

Refrigerador

Estación total

Flexómetro

Prisma

Orientador magnético

Estadal

2 Hoces

1 Balanza de resorte

36 Etiquetas (post-it)

Cinta adhesiva

3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DEL EXPERIMENTO

El proceso de investigación experimental se realizó en el pivote central WR800 Wade Rain de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), el cual se encuentra al sureste de la ciudad de Saltillo Coahuila, sus coordenadas geográficas son: 25° 22’ de Latitud Norte y 101° 01’ Longitud Oeste con una altitud promedio de 1,742 msnm.

Se eligió ese lugar para sembrar el cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua, ya que en ese periodo el pivote central de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que se utilizaba para dar riego de auxilio es por ello, que se aprovechó ese espacio y sobre todo la temporada de siembra del cultivo de avena forrajera. El suelo es profundo, sin pedregosidad y de textura arcillosa.

El área regada es semicircular y en cada extremo del sector regado están instaladas la barricada de paro automático. En mecanismo de autorriego.

3.2.1 Croquis del área del experimento

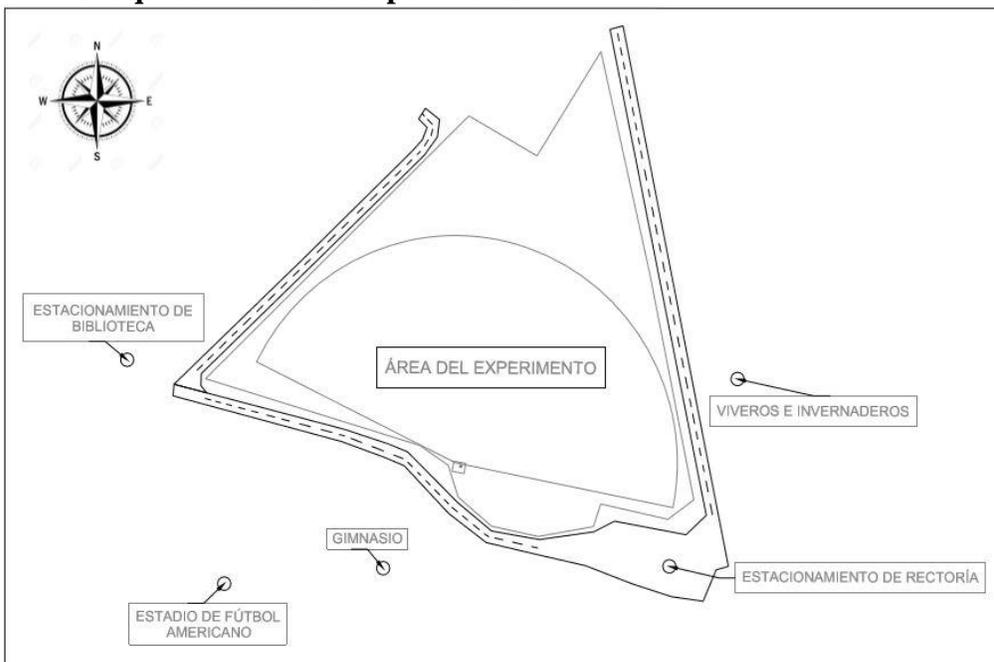


Figura 3.1: Plano del área experimental

El polígono de la superficie del pivote tiene un área de 29, 426.796 m², el plano fue realizado por medio de un levantamiento topográfico con estación total donde se tomaron datos de medición de coordenadas UTM (Universal Transversal de

Mercator), luego se hizo la descarga en el software Autocad 2017 para la realización del área de dibujo.

3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

De acuerdo con la clasificación de climática de Koppen y modificada por García (1964) adaptada a la república mexicana, el clima de saltillo Coahuila, se define bajo la siguiente formula climática: BsoKx' (w) (e), el cual se caracteriza por presentar temperaturas entre 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío es entre -3°C y 18°C y el mes más caliente menor a 22°C, presenta una oscilación térmica entre 7°C y 14°C; lluvias de verano con más del 5% y menos del 10.2% en invierno. En el Suroeste del Estado de Coahuila, se clasifica como de tipo desértico (BW) y de los subtipos secos semicálidos, con escasas lluvias de verano y temperatura media anual de 20 a 22 °C.

La evaporación promedio mensual de 178 mm. Siendo los meses de mayo y junio los de mayor intensidad con 236 y 234 mm. La precipitación media anual es de 365mm y los meses más lluviosos son los comprendidos entre julio y septiembre, de los cuales el más lluvioso es el mes de julio (Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).

3.4 PRUEBA ESTADÍSTICA

El diseño experimental que se utilizó fue para la comparación de medias t-student en dos muestras independientes. Teniendo un total de 2 unidades experimentales, cada unidad con 2631.27 m² de cultivo; de las cuales se tomaron 12 muestras para el análisis de la producción de forraje.

El cultivo de avena fue establecido en todo el polígono y se trabajó en las dos áreas o unidades de terreno experimental, simplemente que en una unidad se fertirrigó y en la otra solo se le aplicó riego continuo.

Área A: Unidad de cultivo fertirrigada

Área B: Unidad de cultivo de solo riego

3.5 VARIABLES OBSERVADAS

Los parámetros que siempre estuvieron en constante observación fueron: La altura de las plantas, el parámetro más importante que se consideró en este análisis experimental y otros que a simple vista proporcionaron información como fue el follaje y engrosamiento de la planta; estos parámetros fueron utilizados para identificar si se estaban manifestando resultados de acuerdo con el objetivo establecido para el experimento, de la unidad de cultivo fertirrigada en contraste a la unidad de solo riego. Así también, se hicieron pruebas de pluviometría para analizar parámetros de uniformidad, en base a las especificaciones de la literatura sobre este tipo de sistema de riego. En cada prueba se analizaron valores de PH y Conductividad Eléctrica (CE); para saber si el cultivo estaba aprovechando correctamente los nutrientes, en el caso del área del cultivo con riego más fertirriego.

3.6 MÉTODO DE MEDICIÓN

Para la medición de las variables de crecimiento, se escogieron 20 plantas al azar ubicadas cada 6 metros, tanto de la unidad de fertirriego como en la unidad sin fertirriego y se marcaron para seguir observando el transcurso de su crecimiento. La medición se realizó con la ayuda del estatal en cada planta.



Figura 3.2: Medición del crecimiento del cultivo

3.7 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Este trabajo se llevó a cabo en el pivote central WR800 de Wade Rain con dos armaduras de 55 m y un voladizo de 6 m, de 28 rotores, ubicado frente al campo de futbol americano en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.8 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La fuente de abastecimiento que se utilizó para el riego de la avena forrajera de variedad Chihuahua fue de la pila que se encuentra ubicado a 300 metros del pivote central, localizado dentro de la universidad.

La cisterna de 25000 litros que se encuentra cerca del pivote central, se encontraba en buenas condiciones para el abastecimiento del agua durante el ciclo de cultivo y en cada aplicación del fertilizante al cultivo se vertía y mezclaba un kilogramo de FertiDrip 20-20-20 en 2100 litros de agua dentro de la cisterna.

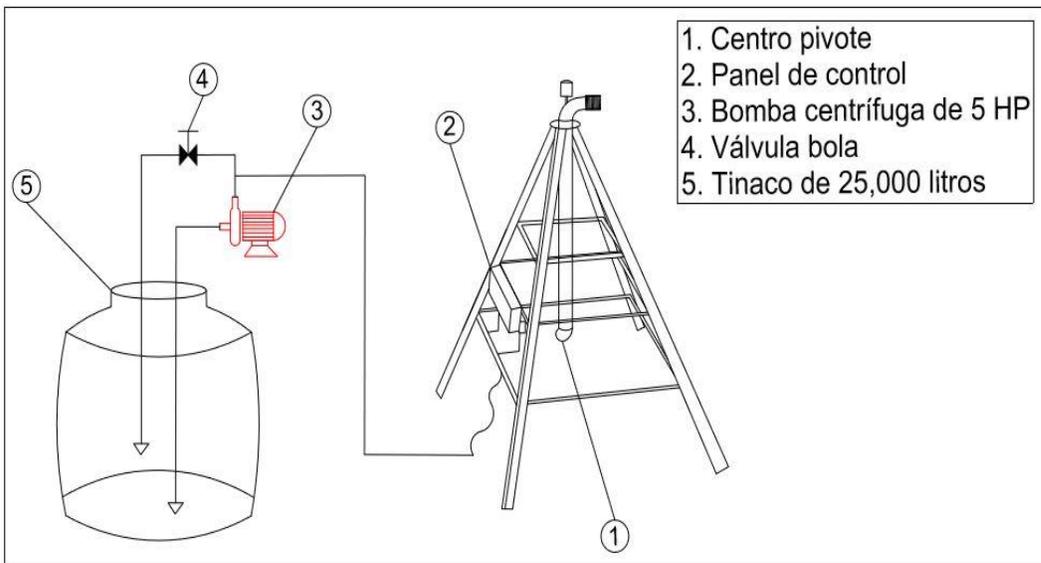


Figura 3.3: Aplicación del fertilizante FertiDrip 20-20-20

3.9 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

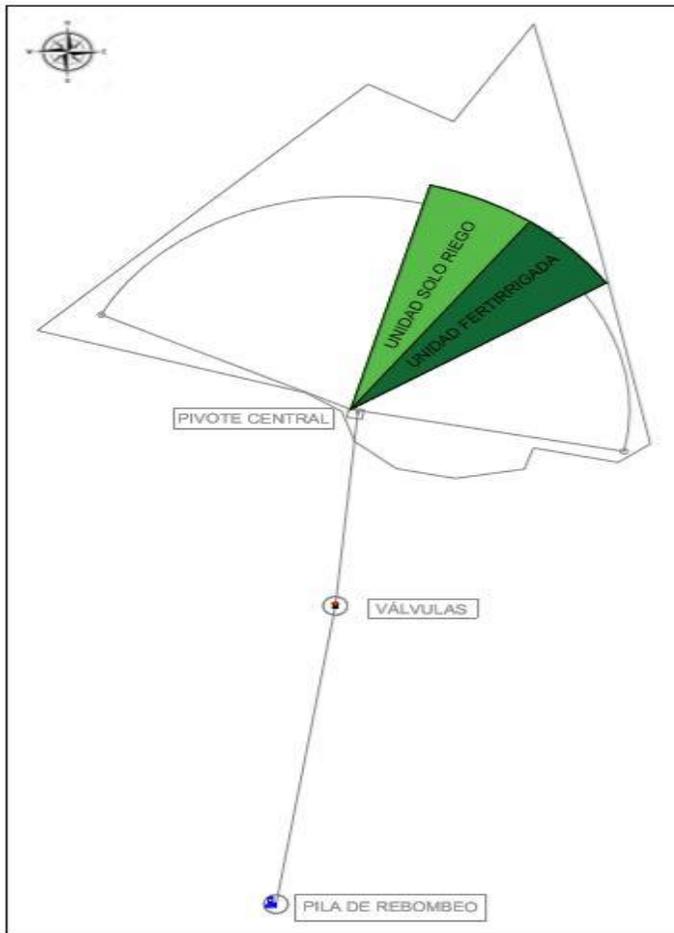


Figura 3.4: Diseño del área del experimento

CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
				1	2,805,628.3102	295,889.5236
1	2	N 60°08'15.91" W	38.945	2	2,805,647.7015	295,855.7496
2	3	S 45°43'23.52" W	182.298	3	2,805,520.4344	295,725.2285
3	4	S 73°04'13.43" E	111.005	4	2,805,488.1101	295,831.4231
4	5	S 55°34'14.15" E	17.039	5	2,805,478.4761	295,845.4777
5	6	S 18°00'56.89" E	16.216	6	2,805,463.0554	295,850.4929
6	7	S 49°29'07.51" E	21.620	7	2,805,449.0104	295,866.9290
7	8	S 77°50'56.71" E	23.804	8	2,805,444.0000	295,890.1995
8	9	N 80°02'25.08" E	27.690	9	2,805,448.7892	295,917.4726
9	10	N 18°17'08.41" E	11.535	10	2,805,459.7414	295,921.0917
10	11	S 77°22'28.37" E	34.167	11	2,805,452.2732	295,954.4328
11	12	N 53°16'41.36" E	15.973	12	2,805,461.8239	295,967.2359
12	13	N 11°16'32.33" W	111.694	13	2,805,571.3618	295,945.3965
13	14	N 12°40'46.54" W	110.126	14	2,805,678.8026	295,921.2238
14	1	S 32°07'17.15" W	59.619	1	2,805,628.3102	295,889.5236
SUPERFICIE = 29,426.792 m²						

Figura 3.5: Cuadro de Construcción del área de experimento

3.10 FRECUENCIA DE RIEGO

Se le aplicó un riego de presembrado de 5 a 6 horas, que se le conoce como remojo para una mejor germinación de la semilla. Este riego se recomienda hacerlo 15 días antes de la siembra, con un tiempo de riego de 10 a 12 horas. En este caso, se aprovechó la lluvia que se presentó en el mes; por eso, se disminuyó el tiempo de riego de presembrado.

Para la siembra de corte se realizan un mínimo de cinco riegos en melgas aplicando: a la siembra, al amacolle, en encañe, en floración y en llenado de grano. Puede haber diferencia de un riego, más o menos, dependiendo de las condiciones climáticas y del tipo de suelo. En este proceso experimental, se le aplicó periodos cortos de riego cuando se presentaron días calurosos y más lo que se le aplicó durante las pruebas; ya que se presentaron lluvias durante el ciclo del cultivo y no fue tan necesario la aplicación de los riegos recomendados.

3.12 PREPARACIÓN DEL TERRENO

En este caso, se realizó en conjunto con el departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro una labranza convencional, ya que el suelo preparado con este método la semilla queda en mejores condiciones para germinación, es más adecuado el contacto de la semilla con el suelo y la profundidad de semilla lograda, de esta manera se obtiene una emergencia más rápida y uniforme. Así también se logra mayor disponibilidad de nutrientes con la mineralización de los restos de nutrientes, y en consecuencia algunos expertos en el tema afirman que se logra anticipar el inicio del corte.

Primero se limpió toda el área donde se estableció el cultivo de avena forrajera, para facilitar el paso de la rastra. Después con un arado se realizó un barbecho para remover la tierra, facilitar y al mismo tiempo lograr que la semilla germinara aun en mejores condiciones, y con una mayor uniformidad.

3.13 SIEMBRA

El ciclo del cultivo se inició el 26 de octubre del 2017, fecha en el que sembró el cultivo de avena forrajera de variedad chihuahua, en el área antes mencionado con suelo arcilloso. Con una sembradora, se hizo llegar la semilla al suelo con una distribución de surcos doble hilera a cada 20 cm, y 10 cm entre hilera.

Posteriormente, se inició todo el proceso antes planeado, para la realización de las actividades de este proyecto de tesis en los meses de enero a marzo.

Se escogió el material vegetativo más adecuado de acuerdo con la germinación y desarrollo de las plantas. En este experimento, se eligieron partes con un 90% de germinación en toda el área de siembra del cultivo de avena forrajera.

3.14 GERMINACIÓN

La semilla empezó a germinar a partir de los 3 días después de haber sido depositado en suelo, y a los 25 días ya se identificaban sus primeros brotes del cultivo sobre el suelo.

3.15 DESHIERBES

Los deshierbes que se realizaron en el experimento el ciclo, fueron cada 15 días cortando malezas que a simple vista era notorio, con el fin de evitar la competencia de nutrientes, la manifestación de plagas y enfermedades a las plantas.

3.16 FERTIRRIGACIÓN DEL CULTIVO

Las fechas de prueba del experimento fueron las siguientes: 20/01/2018, 06/02/2018, 22/02/2018. En estas fechas se aplicó fertilizante FertiDrip 20-20-20 a la unidad fertirrigada y solo riego a la unidad solo riego. Cabe mencionar que esta labor se realizó en horas tempranas del día, ya que a estas horas la velocidad del viento es menor.

3.17 COSECHA

El corte del forraje de avena está en función del rendimiento de materia seca y de la calidad que se desea obtener; así como del uso que se le va a dar y del ganado que se va a alimentar.

Para la variedad Chihuahua, la cosecha se realiza entre 87 a 109 días después de la siembra en etapa de madurez fisiológica, con segadora mecánica o de manera manual con hoz y se deja secar en el suelo en hileras durante dos a tres días, dependiendo del clima. Posteriormente se voltea para secarse por el otro lado y se procede a empacarlo; importante ajustar en forma apropiada la maquinaria para lograr una cosecha óptima. En este proceso experimental el corte se realizó a los

131 días después de la siembra con una segadora mecánica, cuando el cultivo a simple vista alcanzó su etapa de madurez del cual se generaron los datos.

3.18 PLUVIOMETRÍA

3.18.1 Evaluación

En este experimento se tomaron datos de pluviometría a lo largo de la lateral del pivote, para la evaluación del Coeficiente de Uniformidad (CU) y otros parámetros como PH y Conductividad Eléctrica (CE) del agua que se le aplicó al cultivo.

3.18.2 Procedimiento de campo

a) En primer lugar, se colocaron los envases colectores a lo largo de una hilera radial en la unidad donde el cultivo se le aplicó fertirriego, empezando en el punto pivote con un espaciamiento conveniente a cada 3 metros hasta la última parte del pivote (Voladizo). La línea radial no necesita ser una línea completamente recta, los envases no deben ser colocados sobre las rutas de las ruedas o donde ellos pudieran recibir el caudal de agua desechado por los sistemas de transmisión hidráulica.

b) Llenar los espacios en el formato de prueba de pluviometría es muy importante, ya que tratan de las condiciones climáticas, especificación de prueba y de la máquina, topografía, sistema general, humedad del suelo y manejo del cultivo. Se realizó lo anterior, y se determinó el área irrigada en hectáreas aplicando la fórmula del área para círculo, primero se estimó el radio humedecido del círculo irrigado.

c) Enseguida, se señaló con estacas una longitud conocida a lo largo de la ruta de la rueda de tracción y se determinó el tiempo requerido, para que el punto sobre la unidad de transmisión viajara entre las estacas. Esto para la velocidad de viaje, que es la distancia dividida entre el tiempo. Otro método, consiste en determinar la distancia viajada en un tiempo dado, ya que la velocidad es igual a la distancia sobre el tiempo.

d) Ya que la mayoría de las máquinas tienen longitudes uniformes de armadura excepto quizás para la primera armadura de arranque, el radio entre el punto pivote y la ruta exterior de la rueda. En este caso se determinó multiplicando la longitud de armadura por el número de armadura más el voladizo.

e) Después se estimó la anchura del patrón de mojado perpendicular a la lateral y el tiempo mediante el cual se recibió agua en los colectores cerca de la última torre autopropulsada. La literatura dice que el tiempo de aplicación (duración de la precipitación), es aproximadamente igual a la anchura del patrón de aspersion dividida entre la velocidad de la última torre (o ultima velocidad de transmisión, tren de potencia).

f) Para determinar el caudal, se observó la lectura del medidor al inicio y al final de un periodo de 10 minutos y se calculó el gasto por minuto. Esto se hizo debido a que la mayoría de los medidores estándar de caudal, indican solamente el volumen total de agua que ha pasado.

g) Al momento en que el borde de entradas de los patrones de mojado alcanzará el área de prueba, se colocó aparte 2 envases con un volumen anticipado de agua para revisar el volumen de agua perdido por evaporación.

h) Posteriormente se midió la lámina de agua colectada en todos los envases y se registró los datos tan pronto como fue posible y se observó si aún estaban todavía derechos, se marcaron los volúmenes colectados excesivamente altos y bajos. Este paso se realizó con una probeta graduada de 250 ml para tener mejor exactitud, también puede ser lograda utilizando cualquier cilindro graduado para obtener mediciones volumétricas, las cuales pueden convertirse a laminas si el área de la apertura de los colectores es conocida.

i) Por último, se midió el colectado de uno de los envases de revisión de la evaporación aproximadamente a la mitad del periodo durante la lectura de volúmenes y el otro al final.

j) La muestra colectada se transportará al laboratorio de calidad del agua del Departamento de Riego y Drenaje para el análisis de Conductividad Eléctrica (CE) y PH.

Este procedimiento se realizó en las tres aplicaciones de fertilizante a la unidad experimental, para ello se utilizaron el formato de prueba de pluviometría y el formato para el registro de los análisis de la calidad del agua colectada en los

recipientes. Como ejemplo, en las siguientes tablas se muestran los formatos de campo con los datos recaudados en la primera estimación.

Tabla 3.1: Formato para las pruebas de pluviometría

PRUEBA DE PLUVIOMETRIA EN LA TUBERIA DE UN PIVOTE CENTRAL WR 800 "UAAAN" CAMPUS SALTILLO							
Porcentaje de velocidad:		20% en Timer					
Paquete de Rotores:		Nelson R3000					
Fecha de evaluación:		20/01/2018					
Observadores:		Limber, Iván y Víctor					
Presión de operación en el pp:		40 PSI					
Ancho de mojado del Asp.:		14 m.					
Tiempo de paso del patrón de Asp.:		21 minutos					
Espaciado de los botes colectados:		3 m entre colectores					
Área de captación de los botes:		95 cm ²					
Inicio de la prueba:		10:00 a.m.					
Termino de la prueba:		10:21 a.m.					
Velocidad del viento registrados:		6 km/h					
Volumen colectado promedio vp:		30.07 ml					
Coeficiente de uniformidad, CUH:		Modelo de Hermann y Hein (1968)					
DATOS COLECTADOS							
No. Colector	Vol. cc/Bote	No. Colector	Vol. cc/Bote	No. Colector	Vol. cc/Bote	No. Colector	Vol. cc/Bote
1	0	11	26	21	34	31	38
2	0	12	30	22	38	32	40
3	7	13	36	23	36	33	42
4	50	14	35	24	26	34	38
5	30	15	27	25	28	35	38
6	42	16	30	26	30	36	30
7	40	17	34	27	32	37	28
8	38	18	37	28	38	38	18
9	34	19	40	29	38	39	14
10	28	20	36	30	40	40	7

Tabla 3.2: Formato para el registro de los análisis de la calidad del agua colectada en los recipientes

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA COLECTADA EN LOS RECIPIENTES			
DATOS CALCULADOS			
No. Colector	VOL. (ml/colector)	PH	CE (us/cm)
4	57	8.348	829.5
6	72	8.344	789.6
8	78	8.327	784
10	62	8.302	747.3
12	56	8.332	770.7
14	71	8.309	764.1
16	57	8.325	776.1
18	71	8.23	753.1
20	76	8.31	770.6
22	72	8.29	764.3
24	62	8.203	742.7
26	58	8.271	767.8
28	70	8.283	805.4
30	78	8.215	746.2
32	78	8.2	804.4
34	80	8.178	826.5
36	68	8.104	790.4
38	46	8.097	772.3
40	21	8.07	736.6
Muestra		8.366	696

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE AVENA DE VARIEDAD “CHIHUAHUA” CON EL MÉTODO DE BLANEY CRIDDLE

Municipio: Saltillo Estado: Coahuila

Universidad Agraria Antonio Narro

Latitud: 25° 21' 13" N Longitud: 101° 1' 56" W Altura: 1123 MSNM

Tabla 4.1: Evapotranspiración del cultivo

MES	N° Dias	Dias Acum.	Temperatura °C	P %	Kc	ETc mm/mes	ETc mm/día
Octubre	6	6	17.9	4.158	0.65	39.36	6.56
Noviembre	30	36	15.3	20.93	0.75	190.46	6.35
Diciembre	31	67	12.7	22.85	0.85	192.56	6.21
Enero	31	98	12.1	24.36	0.9	206.85	6.67
Febrero	28	126	13.7	23.36	0.8	200.79	7.17
Marzo	5	131	16.5	4.338	0.65	37.30	7.46
Total Periodo	131					867.32	

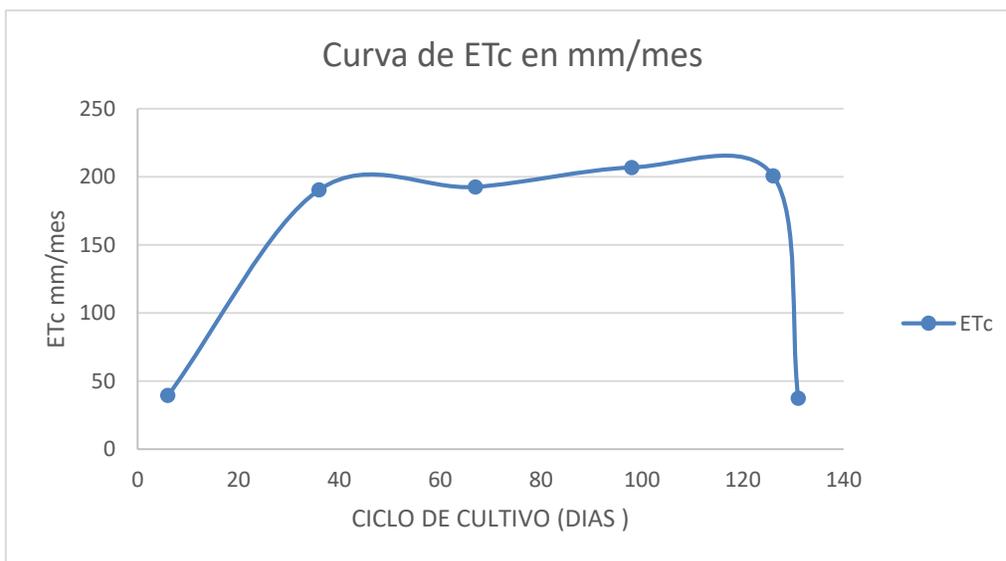


Figura 4.1: Evapotranspiración mensual en mm del cultivo

En la figura 4.1 se representa los consumos de agua para evapotranspiración de la avena forrajera de variedad Chihuahua, los cuales se estimaron en el siguiente orden de: 39.36, 190.46, 192.56, 206.85, 200.79 y 37.30 mm/mes para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo respectivamente estimado con el modelo de Blaney y Criddle como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.2:Requerimiento de riego del cultivo

Mes	Precipitación mm/mes	P. Efectiva mm/mes	ETc mm/mes	RRMens mm/mes	RR Diario mm
Octubre	31.4	29.51	39.36	9.85	1.64
Noviembre	9.8	9.31	190.46	181.15	6.04
Diciembre	11.2	10.64	192.56	181.92	5.87
Enero	17.1	16.245	206.85	190.61	6.15
Febrero	12	11.4	200.79	189.39	6.76
Marzo	9.3	8.835	37.30	28.46	5.69
Total periodo		85.94	867.32	781.38	

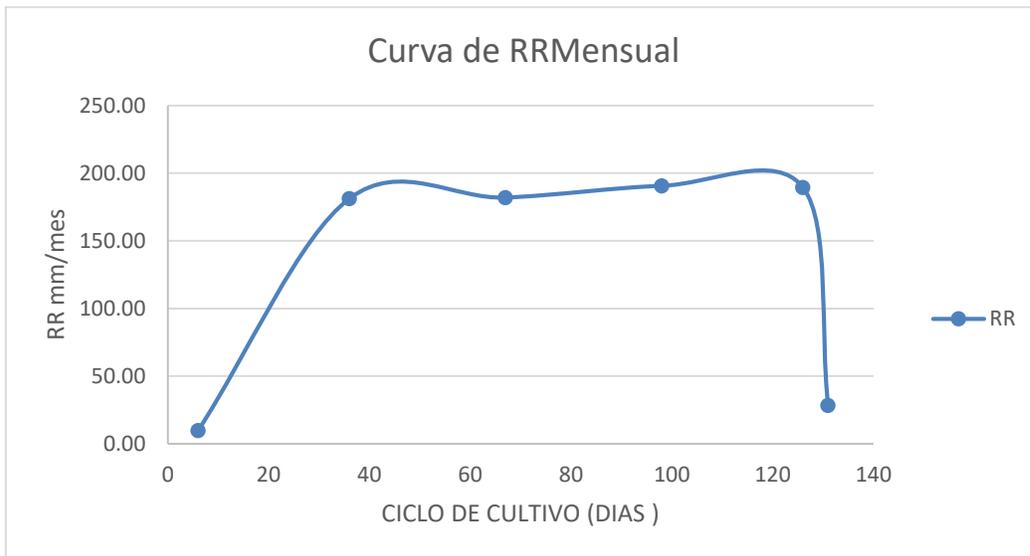


Figura 4.2: Requerimiento de riego mensual en mm del cultivo

En la figura 4.2, se muestra el requerimiento de riego mensual del cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua. Los requerimientos correspondientes son: 9.85mm para el mes de octubre, 181.15mm para el mes de noviembre, 181.92mm para el mes de diciembre, 190.60mm para enero, 189.39 para febrero y 28.46 para el mes de marzo.

Cabe mencionar que, en el mes de octubre el requerimiento del cultivo es demasiado bajo, esto debido al clima promedio de los pronósticos del año (Tabla 4.2). Se conoce que en el mes de octubre por lo general es un mes lluvioso por ende el requerimiento del cultivo es menos; en comparación con los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo por lo regular son meses fríos, pero con menos

porcentajes de precipitación, entonces para esos meses el requerimiento de riego es mayor.

La evapotranspiración máxima del cultivo es de 7.46 mm/día (Tabla 4.1) y el Requerimiento de Riego Diario (RRD) en el mes de máxima demanda es 6.76 mm/día (Tabla 4.2). Por lo tanto, la lámina de riego estimado para al cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua durante el ciclo fue de 6.76 mm/día, aunque no se le aplico. Esto debido a las precipitaciones que se presentó durante el ciclo del cultivo, es por ello, por lo que ya no se requirió un riego frecuente, sino que se le aplico simplemente las que se consideraron necesarias para el cultivo.

4.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Este parámetro se determinó en el software Excel de office versión 2017. Para la estimación del coeficiente de uniformidad, se utilizó la fórmula de Hermann y Hein (1968), la ecuación es la siguiente:

$$CU_h = 100 * (1 - (\text{SUMA.PRODUCTO}(\text{ABS}(V_i - V_p) * (X_i))) / (\text{SUMA.PRODUCTO}(V_i * X_i)))$$

Donde:

CU_h = Coeficiente de uniformidad de Herman y Hein (1968)

X_i = Muestras colectadas

V_i = Volumen colectados en ml

V_p = Volumen ponderado de las muestras

ABS = Valor Absoluto

Para el desarrollo de la ecuación anterior en el Software excell, se realizó el siguiente procedimiento: Primero se estimó, el valor ponderado de los 40 datos de pluviometría, que se obtuvieron en todo el tramo del pivote, utilizando la siguiente ecuación:

$$V_p = (\text{SUMAPRODUCTO}(X_i * V_i) / \text{SUMA}(X_i))$$

Donde:

V_p = Volumen ponderado

X_i = Muestras colectadas

V_i = Volumen Colectados en ml

En seguida, se obtuvo el valor absoluto (ABS) utilizando la formula siguiente:

$$ABS = V_i - V_p$$

Donde:

ABS = Valor Absoluto

Vi = Volumen Colectados en ml

Vp = Volumen ponderado

Para ejecutar con la formula se realizó la última parte, que es la multiplicación de (Xi * ASB), y con esto se cumple con los datos de la formula. Posteriormente se procede al cálculo del coeficiente de uniformidad de Herman y Hein (1968).

Para obtener el coeficiente de uniformidad de riego a lo largo del tramo del pivote. Se aprovecharon las tres aplicaciones de fertilizante que se le hizo al experimento, en el cual, se tomaron datos de pluviometría. Estos datos fueron indispensables para el cálculo de este indicador, los datos se muestran en las siguientes tablas, de tal manera como fueron recabadas.

4.2.1. Primera prueba

Fecha de evaluación: 20/01/2018

Inicio de la prueba: 10:00 a.m.

Término de la prueba: 10:21 a.m.

Velocidad del viento registrados: 6 km/h

Volumen colectado promedio vp: 30.07 ml

Tabla 4.3: Coeficiente de uniformidad de la primera prueba

DATOS COLECTADOS:					
	Xi	Vi (ml)	VP	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp))
	0	0	31.61	31.61	0.00
	1	0	31.61	31.61	31.61
	2	0	31.61	31.61	63.22
	3	7	31.61	24.61	73.83
	4	50	31.61	18.39	73.57
	5	30	31.61	1.61	8.04
	6	42	31.61	10.39	62.35
	7	40	31.61	8.39	58.74
	8	38	31.61	6.39	51.13
	9	34	31.61	2.39	21.52
	10	28	31.61	3.61	36.09
	11	26	31.61	5.61	61.69
	12	30	31.61	1.61	19.30
	13	36	31.61	4.39	57.09
	14	35	31.61	3.39	47.48
	15	27	31.61	4.61	69.13
	16	30	31.61	1.61	25.74
	17	34	31.61	2.39	40.65

	18	37	31.61	5.39	97.05
	19	40	31.61	8.39	159.44
	20	36	31.61	4.39	87.83
	21	34	31.61	2.39	50.22
	22	38	31.61	6.39	140.61
	23	36	31.61	4.39	101.00
	24	26	31.61	5.61	134.60
	25	28	31.61	3.61	90.21
	26	30	31.61	1.61	41.82
	27	32	31.61	0.39	10.57
	28	38	31.61	6.39	178.96
	29	38	31.61	6.39	185.35
	30	40	31.61	8.39	251.74
	31	38	31.61	6.39	198.14
	32	40	31.61	8.39	268.53
	33	42	31.61	10.39	342.92
	34	38	31.61	6.39	217.31
	35	38	31.61	6.39	223.70
	36	30	31.61	1.61	57.91
	37	28	31.61	3.61	133.52
	38	18	31.61	13.61	517.12
	39	14	31.61	17.61	686.73
	40	7	31.61	24.61	984.34
SUMA=	820	1233		356.96	5960.80
Coeficiente de Uniformidad =					76.91

Como se puede observar en la Tabla 4.3, la parte inferior de la tabla muestra el coeficiente de uniformidad que es de 76.91%. Tarjuelo, (1999) menciona que con valores de CUh inferiores a 80% el equipo no riega adecuadamente, entre 85 y 90% la superficie está bien regada y con valores superiores a 90% el área está muy bien regada. Entonces podemos deducir, que en esta prueba el pivote estuvo regando uniformemente, esto puede ser por varios motivos. Por ejemplo, la velocidad del viento, ese día se tenía una velocidad del viento de 6 kilómetros por hora, como también el taponamiento de los aspersores por basura, aunque antes de realizar la prueba se halla hecho el mantenimiento, a veces la basura viene suspendida en el agua que se envía desde la pila al pivote, por eso no es posible limpiar correctamente la boquilla del aspersor.

4.2.2. Segunda prueba

Fecha de evaluación: 06/02/2018

Inicio de la prueba: 11:05 a.m.

Termino de la prueba: 11:26 a.m.

Velocidad del viento registrados: 9 km/h

Volumen colectado promedio vp: 26 ml

Tabla 4.4: Coeficiente de uniformidad de la segunda prueba

DATOS COLECTADOS:					
	Xi	Vi (ml)	VP	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp))
	0	0	31.61	31.61	0.00
	1	0	31.61	31.61	31.61
	2	0	31.61	31.61	63.22
	3	10	31.61	21.61	64.83
	4	60	31.61	28.39	113.57
	5	38	31.61	6.39	31.96
	6	44	31.61	12.39	74.35
	7	39	31.61	7.39	51.74
	8	30	31.61	1.61	12.87
	9	31	31.61	0.61	5.48
	10	28	31.61	3.61	36.09
	11	32	31.61	0.39	4.31
	12	28	31.61	3.61	43.30
	13	30	31.61	1.61	20.91
	14	26	31.61	5.61	78.52
	15	26	31.61	5.61	84.13
	16	24	31.61	7.61	121.74
	17	26	31.61	5.61	95.35
	18	30	31.61	1.61	28.95
	19	32	31.61	0.39	7.44
	20	30	31.61	1.61	32.17
	21	32	31.61	0.39	8.22
	22	28	31.61	3.61	79.39
	23	22	31.61	9.61	221.00
	24	28	31.61	3.61	86.60
	25	20	31.61	11.61	290.21
	26	20	31.61	11.61	301.82
	27	28	31.61	3.61	97.43
	28	20	31.61	11.61	325.04
	29	24	31.61	7.61	220.65
	30	30	31.61	1.61	48.26
	31	30	31.61	1.61	49.86
	32	34	31.61	2.39	76.53

	33	34	31.61	2.39	78.92
	34	34	31.61	2.39	81.31
	35	32	31.61	0.39	13.70
	36	28	31.61	3.61	129.91
	37	23	31.61	8.61	318.52
	38	20	31.61	11.61	441.12
	39	18	31.61	13.61	530.73
	40	9	31.61	22.61	904.34
SUMA=	820	1078		344.56	5306.07
Coeficiente de Uniformidad =					75.54

En la tabla Tabla 4.4, podemos observar que el coeficiente de uniformidad de riego de Herman y Hein (1968) tiene un valor del 75.54 %, en el cual, indica que tampoco se riega adecuadamente según (Turjuelo, 1999). Para que un pivote riegue adecuadamente debe reflejar un coeficiente de uniformidad superior a 80 %, y el porcentaje de esta prueba como podemos ver es menor. Las causas de que el pivote genere una uniformidad menos aceptable pueden ser en este caso la velocidad del viento como se dijo antes, ya que el día de la prueba, se registró una velocidad del viento de 9 kilómetros por hora o de igual forma el taponamiento de los emires. Podemos comparar la velocidad del viento de ambas pruebas y entonces podemos notar que en la primera prueba la velocidad del viento es menor que en la segunda prueba, por lo tanto, puedo afirmar que la velocidad del viento si tuvo influencia en la obtención de los datos de pluviometría en esta prueba.

4.2.3 Tercera prueba

Fecha de evaluación: 22/02/2018

Inicio de la prueba: 10:20 a.m.

Termino de la prueba: 10:41 a.m.

Velocidad del viento registrados: 8 km/h

Volumen colectado promedio vp: 29 ml

Tabla 4.5: Coeficiente de uniformidad de la tercera prueba

DATOS COLECTADOS:					
	Xi	Vi (ml)	VP	ABS	Xi*(ABS(Vi*Vp))
	0	0	31.61	31.61	0.00
	1	0	31.61	31.61	31.61
	2	0	31.61	31.61	63.22
	3	14	31.61	17.61	52.83
	4	82	31.61	50.39	201.57

	5	54	31.61	22.39	111.96
	6	58	31.61	26.39	158.35
	7	52	31.61	20.39	142.74
	8	40	31.61	8.39	67.13
	9	40	31.61	8.39	75.52
	10	30	31.61	1.61	16.09
	11	30	31.61	1.61	17.69
	12	30	31.61	1.61	19.30
	13	30	31.61	1.61	20.91
	14	27	31.61	4.61	64.52
	15	28	31.61	3.61	54.13
	16	26	31.61	5.61	89.74
	17	26	31.61	5.61	95.35
	18	30	31.61	1.61	28.95
	19	30	31.61	1.61	30.56
	20	28	31.61	3.61	72.17
	21	30	31.61	1.61	33.78
	22	30	31.61	1.61	35.39
	23	30	31.61	1.61	37.00
	24	30	31.61	1.61	38.60
	25	28	31.61	3.61	90.21
	26	30	31.61	1.61	41.82
	27	34	31.61	2.39	64.57
	28	32	31.61	0.39	10.96
	29	32	31.61	0.39	11.35
	30	36	31.61	4.39	131.74
	31	37	31.61	5.39	167.14
	32	32	31.61	0.39	12.53
	33	30	31.61	1.61	53.08
	34	28	31.61	3.61	122.69
	35	24	31.61	7.61	266.30
	36	18	31.61	13.61	489.91
	37	18	31.61	13.61	503.52
	38	20	31.61	11.61	441.12
	39	15	31.61	16.61	647.73
	40	8	31.61	23.61	944.34
SUMA=	820	1197		398.35	5558.11
Coeficiente de Uniformidad =					75.48

En la tabla 4.5, indica que el coeficiente de uniformidad para la tercera prueba refleja una uniformidad del 75.48, el cual también representa una uniformidad inferior a

80%, es decir, de acuerdo con lo que menciona Turjuelo (1999), el equipo otra vez no riega adecuadamente. En este caso, si analizamos la velocidad del viento se obtiene el mismo resultado, ya que en la tercera prueba al momento de realizarlo la velocidad del viento era de 8 kilómetros por hora, menor que la segunda prueba y mayor que en la tercera prueba. Si observamos las diferentes tablas, el coeficiente de uniformidad de la primera es mayor que en la segunda y tercera prueba, con menos velocidad de viento registrado. Por otro lado, el taponamiento de los emisores también afecta la uniformidad del pivote central aun con el mantenimiento de los aspersores antes de cada prueba, la misma inyección de fertilizante puede tapar los emisores por la forma y estructura del agua.

4.3. PLUVIOMETRÍA DEL PIVOTE CENTRAL

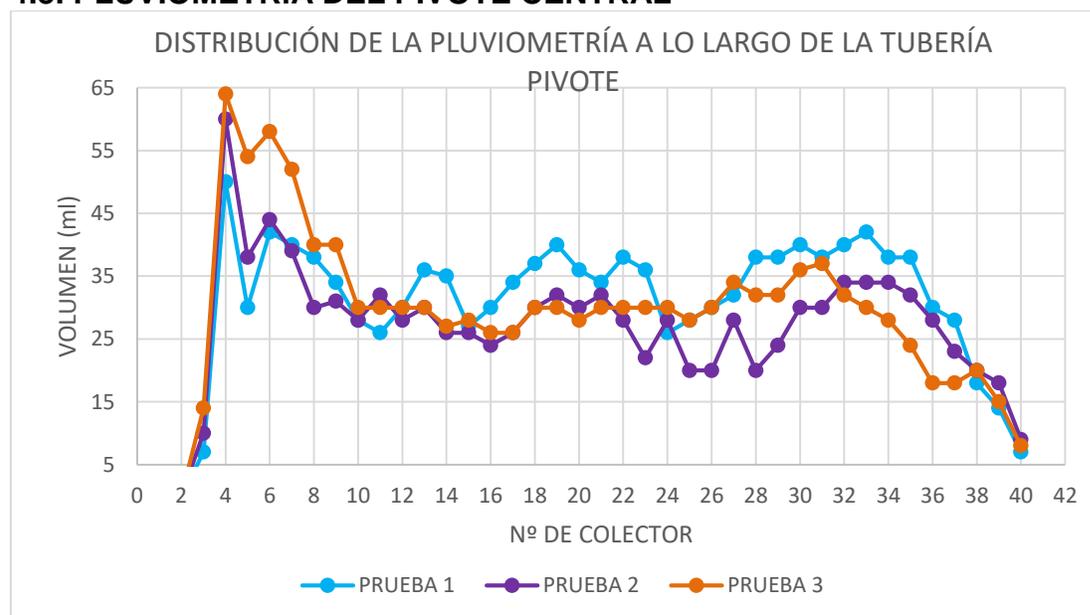


Figura 4.3: Pluviometría del pivote central

En las tablas (4.3,4.4,4.5), en la columna V_i encontramos los datos en volumen recabados durante las pruebas de fertirrigación del cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua. En la figura 4.3 podemos apreciar claramente la distribución de la uniformidad de riego en el tramo completo del pivote. Para empezar, podemos decir que el comportamiento de las curvas de pluviometría es el mismo en las tres pruebas, con volúmenes altos en la parte cercana al centro pivote, luego se mantienen casi constantes los volúmenes hasta el final del primero tramo e inicio del segundo se puede observar un pequeño aumento en los volúmenes; también se

logra apreciar otro aumento en el volumen en la parte casi final del pivote y baja consideradamente en la parte del voladizo. En las tres pruebas, en la parte inicial del pivote los volúmenes son muy altos a diferencia del resto de la lateral, esto es debido al mayor tiempo de paso del pivote, es por ello, por lo que la captación de agua en esa parte es abundante.

4.4. CRECIMIENTO DEL CULTIVO

Tabla 4.6: Datos de altura del cultivo durante el ciclo

ALTURA DE LAS PLANTAS DURANTE EL CICLO				
	Dia	UNIDAD FERTIRRIGADA	SOLO RIEGO	TEMPORAL
	1	0	0	0
21/01/2018	88	43.15	40.1	28.9
01/02/2018	99	48.9	43.95	32.1
13/02/2018	111	56.2	47.4	34.3
22/02/2018	120	69.05	52.05	37.75
05/03/2018	131	83.95	59.5	43.25

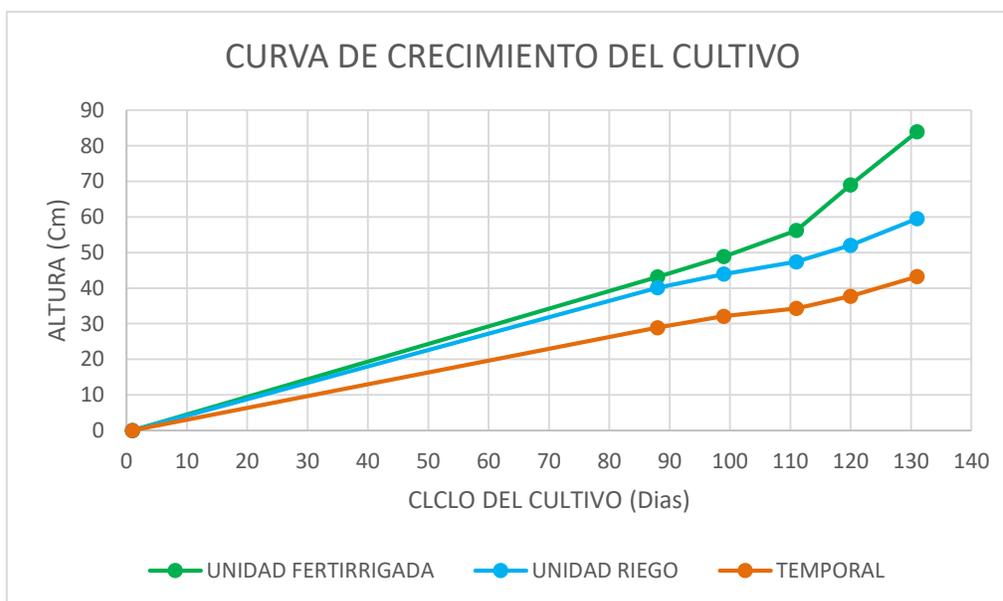


Figura 4.4: Curva de crecimiento del cultivo de Avena forrajera "Chihuahua"

En la tabla 4.6, se reportan las fechas de muestreo de la altura del cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua. Las fechas de muestreo fueron en los días: 21/01/2018, 01/02/2018, 13/02/2018, 22/02/2018 y 05/03/2018 a los 88, 99, 111, 120 y 131 días después de la siembra respectivamente. En la figura 4.4, se muestran la curva de crecimiento del cultivo, como podemos ver en la unidad fertirrigada fue donde las plantas crecieron más, que en la unidad riego. Esto

significa, que el fertilizante si tuvo efecto en el cultivo y se está demostrado gráficamente; cabe mencionar que, en la parte final del ciclo del cultivo fue donde se empezó a diferenciar aún más el crecimiento entre las unidades. También se observó el crecimiento de una parte con cultivo de avena forrajera temporal, se eligieron plantas que no fueron beneficiadas con riego debido a que se encontraban más allá del final de la lateral del pivote. En la gráfica 4.4 podemos observar la curva de crecimiento y se observa diferencia con la unidad riego, es decir, las plantas bajo riego crecieron aún más que las plantas bajo temporal. Lo anterior muestra la gran importancia del pivote central, a partir de la diferencia en crecimiento del cultivo; siendo el sistema de riego por pivote central una opción para regar cultivos de avena forrajera, y se recomienda aprovechar la opción de aplicar fertilizante, sin duda, un sistema muy completo.

4.5. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO

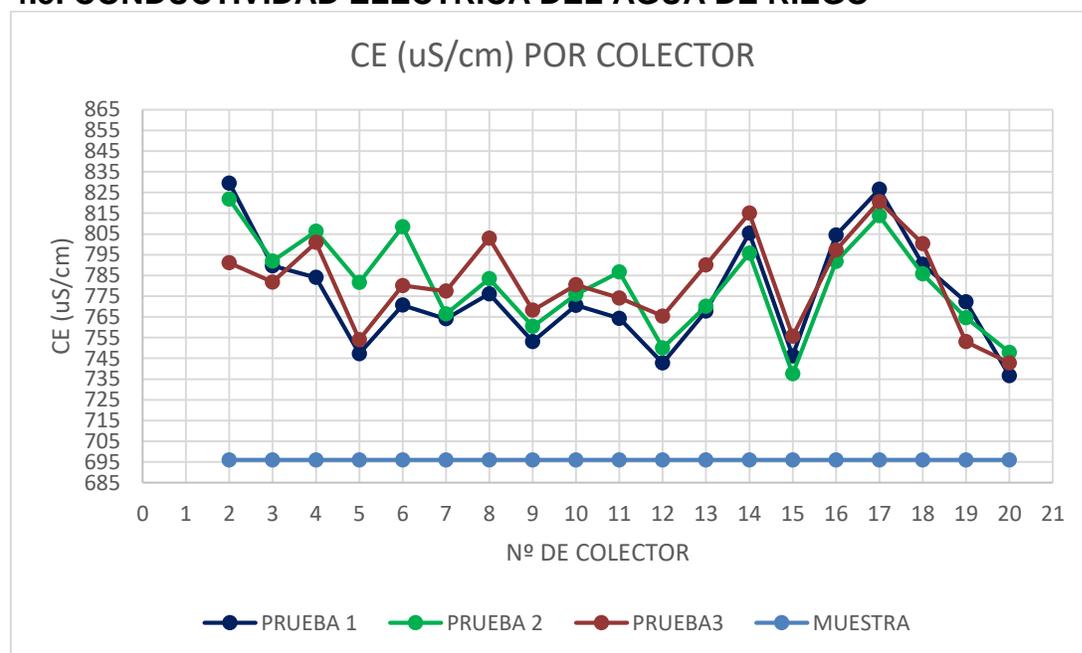


Figura 4.5: Conductividad Eléctrica (CE) del agua de riego

En la figura (Figura 4.5), se puede apreciar la tendencia de los niveles de conductividad eléctrica (CE) por colector. Este parámetro se utiliza para saber la cantidad de sales que hay disueltas en el agua, por lo que un nivel de CE por encima de la tolerancia puede provocar daño a los cultivos. Estos valores se obtuvieron por cada colector a cada 6 metros en todo el lateral del pivote; en cada prueba de

fertilizante también se tomaron datos de conductividad eléctrica. Como se observa en la figura 4.5, se tiene valores altos al inicio y en la parte final del pivote, con valores cambiantes en la mayor parte del pivote y una disminución considerable en tramo final (voladizo), en las tres pruebas en referencia a la muestra (agua de riego sin de fertilizante) tomada antes de realizar la prueba. Estos valores representan la dilución del fertilizante en el agua de riego y este parámetro se mantuvo uniformemente aceptable en todo el lateral del pivote, generando un coeficiente de uniformidad del 96%, 97% y 96% respectivamente. Por lo que se puede decir que la aplicación del fertilizante fue eficiente para el cultivo de avena forrajera.

4.5.1 Titulación del FertiDrip 20-20-20 con datos de Conductividad Eléctrica

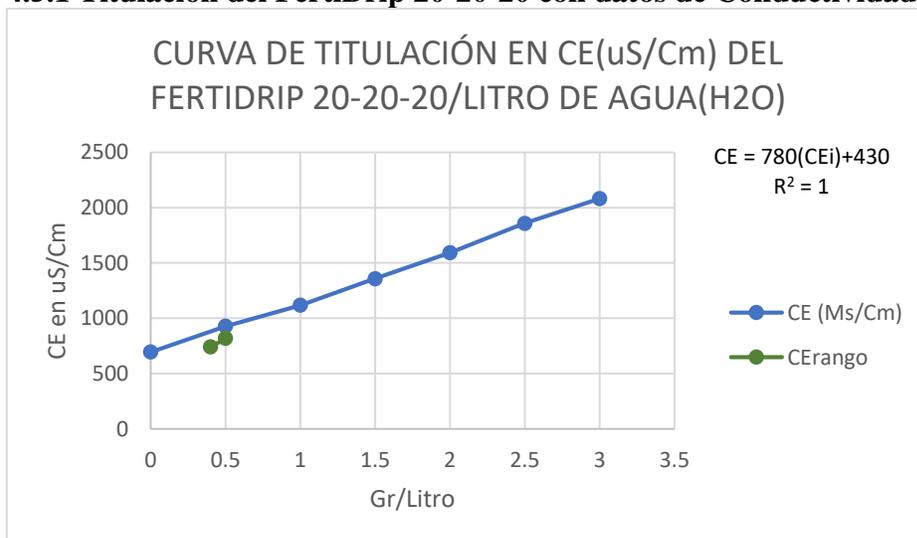


Figura 4.6: Curva de titulación de FertiDrip 20-20-20 con datos de Conductividad Eléctrica.

La figura anterior muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica a diferentes concentraciones de fertilizante FertiDrip 20-20-20 disueltos en un litro de agua, analizando las pruebas de pluviometría del agua de riego para el cultivo de avena forrajera se le aplico de 0.4 a 0.5 gramos de fertilizante por litro de agua, ya que en la curva de titulación muestra que la Conductividad Eléctrica (CE) se encuentra entre 742 a 820 uS/cm. Esto indica que a mayor concentración de fertilizante exista en el agua, mayor es la conductividad eléctrica(CE).

4.6. PH DE AGUA DE RIEGO

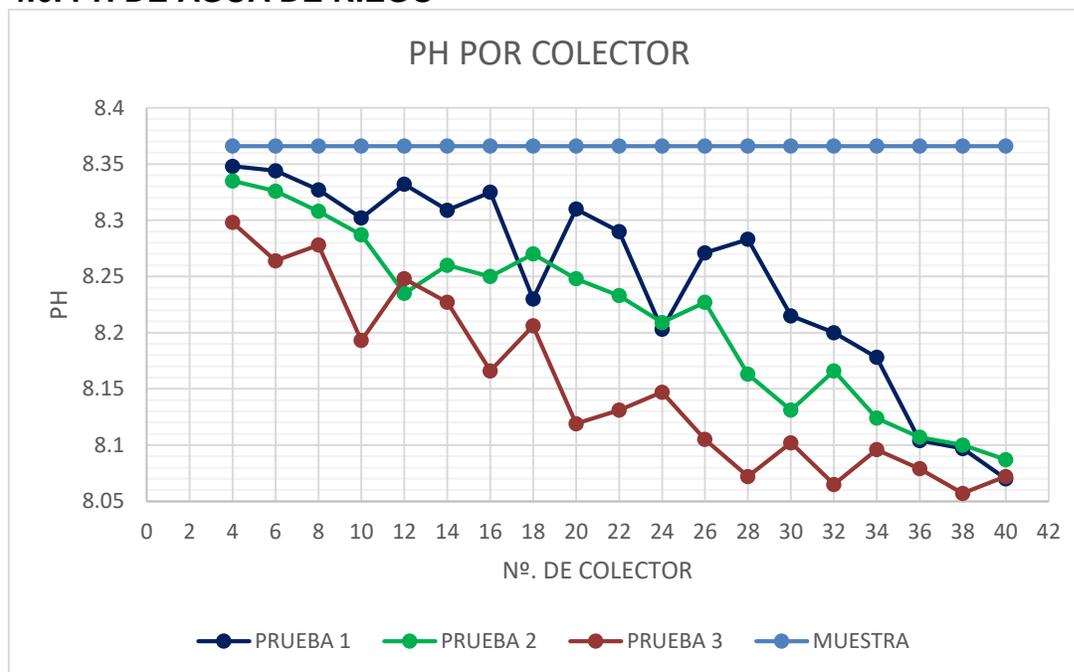


Figura 4.7: PH del agua de riego

El pH del agua de riego es también un parámetro muy importante en especial para la fertirrigación, la disponibilidad de nutrientes y la precipitación de fertilizantes están estrechamente relacionados a este parámetro. En la figura anterior (figura 4.7) se muestra la gráfica de PH en las diferentes pruebas, y si observamos el comportamiento es el mismo para las tres pruebas. Para la obtención de este parámetro se realizó el mismo procedimiento de la conductividad eléctrica, las muestras fueron a cada 6 metros en todo el lateral del pivote y en el laboratorio con un conductímetro se obtuvo el valor. Para el cultivo de avena forrajera se recomienda un agua de riego con un PH entre 6.5 y 7.5; en este caso no se cumple a lo que afirma la literatura, pero si observamos en la gráfica, en referencia al agua muestra el PH disminuye de 8.4 a 8.1 al aplicarle fertilizante fertidrip 20-20-20, es decir, no se encuentra en el rango recomendado pero al aplicar este fertilizante tiende a bajar el PH del agua durante el fertirriego.

4.6.1 Titulación del FertiDrip 20-20-20 con datos de PH

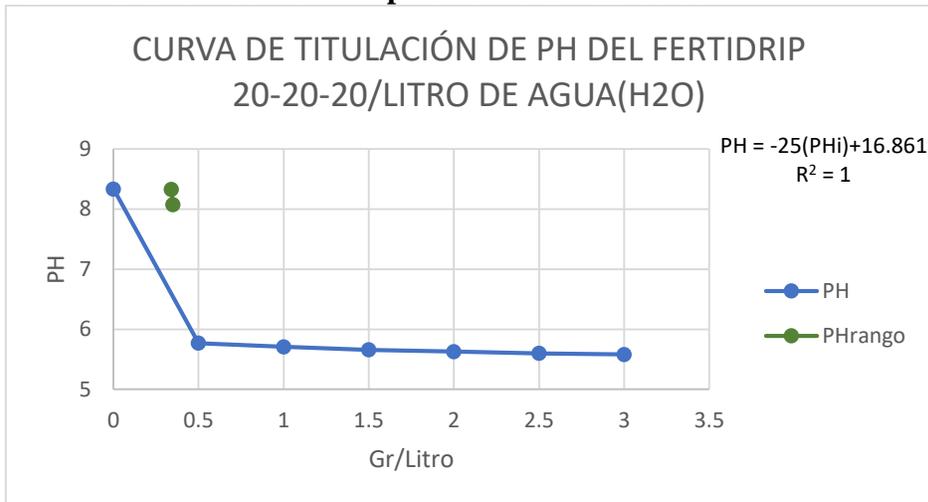


Figura 4.8: Curva de Titulación del FertiDrip 20-20-20 con datos de PH

La curva de titulación como se muestra en la figura anterior, sobre el PH del agua de riego con diferentes concentraciones de fertilizante FertiDrip 20-20-20. Por medio del cual, las pruebas de pluviometría indican que el PH del agua de riego que se le aplico al cultivo de avena forrajera se encontraba entre 8.076 a 8.327 disolviendo de 0.35 a 0.34 gramos por litro respectivamente. Es decir, entre más concentrado de fertilizante contenía el agua de riego menor es el PH del mismo.

4.7. PESO SECO DEL FORRAJE EN KILOGRAMOS/METRO CUADRADO DE CULTIVO (CORTE)

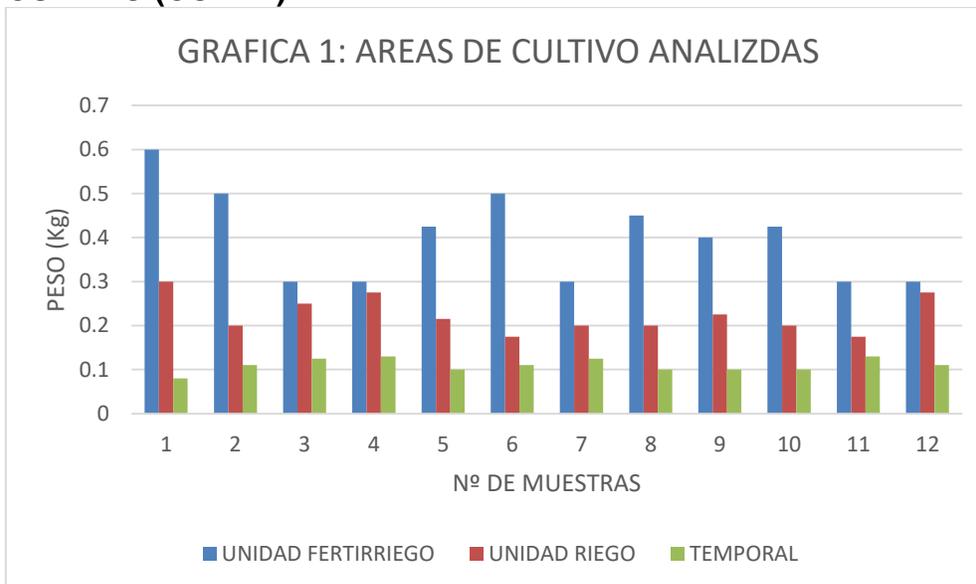


Figura 4.9: Peso seco del cultivo en kilogramos/m²

En la figura 4.7, se observa el peso seco del cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua en kilogramos por metros cuadrado. En la parte inferior de la gráfica se muestra las unidades de cultivo, las cuales son dos: unidad fertirriego, unidad riego y la parte temporal que no fue posible regar con el pivote. En esta grafica podemos notar que el área con más peso es la unidad fertirrigada, el cual indica que hay diferencia entre la unidad fertirrigada y la unidad riego, por lo tanto, se cumple el objetivo. Un ejemplo: la muestra 1, se tiene un peso de 0.6 kilogramos en la unidad fertirrigada, mientras que en la unidad riego se tiene un peso de 0.3 kilogramos, por lo que si se tiene diferencia significativa a simple vista y se cumple lo predicho. Por otro lado, también se observa diferencia entre la unidad riego y la parte que no fue regada, ya que se tienen mejores resultados utilizando un sistema de riego como el pivote central a que el cultivo este sujeto a medio temporal.

4.8 RESULTADO DE LA PRUEBA T-STUDENT

Tabla 4.7: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.400000	0.224167
Varianza	0.010341	0.001713
Observaciones	12.000000	12.000000
Diferencia hipotética de las medias	0.000000	
Grados de libertad	15.000000	
Estadístico t	5.547918	
P(T<=t) una cola	0.000028	
Valor crítico de t (una cola)	1.753050	
P(T<=t) dos colas	0.000056	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131450	

En la tabla anterior, se observa la prueba estadístico t-student, que compara los valores de peso seco entre las dos unidades (Unidad fertirrigada y solo riego). El objetivo de realizar esta prueba estadística fue para solo probar si existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de peso en kilogramos, entre las dos unidades con un 95% de confiabilidad.

Primero se realizó una prueba f, para saber si la prueba t-student era para dos muestras suponiendo varianzas desiguales o en su caso para dos muestras

suponiendo varianzas iguales; por lo que resulto ser de varianzas desiguales debido a que el resultado de la prueba f, fue menor a 0.05. si la prueba f hubiera arrojado un resultado mayor a 0.05 se hubiese tomado en cuenta la prueba t del segundo caso.

El resultado que se obtuvo del análisis fue: prueba t igual 5.5479 y el valor P igual a 0.000056 como se muestra en la tabla 4.7. El resultado estadístico fue positivo en este caso, es decir, si existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de peso en kg entre las dos unidades evaluadas con 5% de confiabilidad, esto porque el valor P fue menor a 0.05, nuevamente se afirma que el fertilizante si tuvo efecto en el cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua. Por lo tanto, el experimento tuvo una ejecución totalmente positiva.

La literatura dice que el cultivo de avena forrajera se fertiliza en el momento de la siembra y cuando el cultivo presenta síntomas de deficiencia nutricional, como por ejemplo marchitamiento o hojas amarillas, entre otros. En este caso, se le aplico fertilizante para saber el efecto de este en el cultivo de avena forrajera, durante la etapa de encañe del cultivo para obtener mejores resultados.

El cultivo de avena forrajera durante el ciclo, en condiciones de buen temporal, como se mencionó antes al menos se requieren cinco riegos por superficie después de la siembra para el primer corte, distribuidos de acuerdo con la variedad del cultivo. Por ejemplo, la variedad "Chihuahua" tiene un ciclo de 140 días aproximadamente por ser de ciclo tardío. Es importante mencionar que a veces es necesario aplicar más cantidad de riegos o todo lo contrario durante el ciclo, debido al comportamiento del clima en su momento. El fertilizante puede aplicarse en conjunto con el riego si se requiere, en las etapas de amacolle y encañe, no se recomienda mucho en las etapas de floración y llenado de frutos porque puede tener efectos que puedan, en este caso perjudicar la calidad del forraje.

V. CONCLUSIONES

El coeficiente de uniformidad de riego es muy importante analizar cuando se riega con un sistema de riego por pivote central, ya que es sistema que consiste en un tramo largo con aspersores a cierta distancia, es por ello por lo que conocer su uniformidad con la que riega el equipo es muy demasiado interesante para detectar fallas en el equipo o igual si el mantenimiento a la que está sujeto es el adecuado. Como hemos observado con anterioridad al recabar los datos de pluviometría para posteriormente estimar el coeficiente de uniformidad influyen factores como el viento, el taponamiento de los emisores y la calidad del agua. para es necesaria que cuando se realicen esta prueba es necesario limpiar los emisores, estar consciente de la calidad del agua y también tener en cuenta la velocidad del viento en el momento, recomendable realizar las pruebas de pluviometría a velocidades bajas del viento, para no afectar los resultados de uniformidad.

Utilizar pivote central para regar cultivos de avena forrajera es muy eficiente, como lo hemos observado en el experimento anterior, ya que hablar de crecimiento se tienen efectos significantes más si se le aplica fertilizante al cultivo.

El PH y la conductividad eléctrica también son parámetros sumamente necesarios y al analizarlos, así se puede saber que tan bueno es el agua que se está aplicando al cultivo. El PH recomendado para la avena forrajera es de entre 6.5 y 7.5. El fertilizante fertidrip 20-20-20, debido a la dilución de este en el agua provoco que el PH bajara, por lo tanto, el PH del agua en este caso con la aplicación del fertilizante mejoró la calidad del agua. La conductividad eléctrica por otra parte se incrementó en todo el tramo del pivote por lo que podemos decir que el agua que se aplicó al cultivo de avena forrajera de variedad Chihuahua fue enriquecida en nutrientes.

La importancia del pivote central, como le mencionan muchos autores es demasiado alta. En este experimento también se analizó si el pivote central es eficiente como sistema de riego y como resultado podemos afirmar que sí; ya a simple vista los valores de crecimiento del cultivo de la unidad riego son más notorios que la parte temporal, es decir el pivote central cumple sus expectativas facilitando el manejo del agua y mejor distribución del fertilizante genera mejores resultados. La CE del

agua de riego fue incrementando de 695 a 790 us/cm mientras que el PH tendió a disminuir de 8.36 a 8.15 por efecto del fertirriego.

El objetivo del experimento se cumplió, ya que se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la unidad riego, favoreciendo las respuestas en la unidad fertirrigada, concluyendo que el pivote central es un sistema de riego que facilita el modo de aplicar fertilizante vía foliar y pesticidas en cualquier cultivo que lo requiera en conjunto con el agua de riego.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Cezar, A., Camargo, S., Fietz, C., & Camacho, J. (2008). Flujo energético e indicadores de eficiencia en pivotes centrales de riego. *Agrociencia*, 42(8). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000800002
- Comisión Federal de Electricidad. (Noviembre de 2017). *Tarifas Electricas*. Obtenido de Comisión Federal de Electricidad: <https://www.cfe.mx/tarifas/Pages/Tarifas.aspx>
- Comision Nacional de Riego. (2018). *Como usar mejor el agua en sequia*. Chile: CHILERIEGO.
- Comisión Nacional del Agua. (2018). *Agua en el Mundo* . Obtenido de Comisión Nacional del Agua: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo>
- Delta. (s.f.). *FertiDrip N20-P20-K20 + MICROELEMENTOS*. Obtenido de Delta: http://www.agrodelta.com.mx/productos/p_fert20-20-20.html
- Espitia, E., Villaseñor, H., Tovar, R., Olán, M., & Limón, A. (2012). Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000400012
- Franco, V. (2018). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MÉTODO DE RIEGO POR GOTEÓ. (*Tesis de Licenciatura*). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, CEVALLOS, ECUADOR.
- Gomez, M. (2008). *SISTEMAS AUTOPROPULSADOS. EL PIVOTE FRENTE AL LATERAL DE AVANCE FRONTAL*. Albacete: LA MANCHA.
- INIFAP. (Mayo de 2004). GUÍA PARA LA ASISTENCIA TÉCNICA EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES DE RIEGO EN EL ESTADO DE QUERÉTARO. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.*, 59.
- INIFAP. (2014). Paquete tecnológico para la producción de avena forrajera en Chihuahua. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* , 33. Obtenido de INIFAP: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4307/010208104500064509_CIRNOC.pdf?sequence=1
- Jensen, M. (1980). *Design and operation of farm irrigation systems*. EUA: Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas.

- Jiménez, E., González, P., & Domínguez, M. (2012). Determination of basic mechanical properties in a tropical clay soil as a function of dry bulk density and moisture. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542012000300003
- Joaquín, M., & Ricardo, A. (2018). *Agroalimentación, agua y sostenibilidad*. Orihuela: Quinta impresion.
- León, J., Flores, H., & Hernández, R. (2012). Implementación de riego a precisión en un sistema de pivote central. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 705-718. Obtenido de <https://www.redalyc.org/html/2631/263125299013/>
- Luis, S., Jose, V., Maria, P., & Jose, M. (2010). *El Riego y sus Tecnologías*. España: CREA.
- Morrillo, R., Velicia, H., & Martínez, J. (2001). *Técnicas De Riego En La Remolacha Azucarera*. España: Impresos Flores, S.L.
- New Ag International. (2008). Historia del riego por pivote. *New Ag International*, 38.
- Palacios, M. (2017). Relación entre indicadores de desempeño y la calidad del riego utilizando pivote central. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 37-49.
- Redagráfica. (febrero de 2017). *Riego*. Obtenido de Redagráfica: <http://www.redagricola.com/cl/pivotes-la-revolucion-circular-del-riego/>
- Román, L., Inzunza, M., Catalán, E., & Villa, M. (2013). INDICADORES DE EFICIENCIA DEL AGUA DE RIEGO APLICADA EN DOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN. *CENID-RASPA, INIFAP*. Obtenido de http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2013132III_1.pdf
- SAGARPA. (2016). *PLANEACIÓN AGRÍCOLA NACIONAL 2017-2030*. Obtenido de SAGARPA: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256424/B_sico-Avena.pdf
- Tarjuelo, M. (1999). *El riego por aspersion y su tecnologia*. Madrid: Mundi Prensa Libros S.A.
- Tarjuelo, M. (2005). *El riego por aspersion y su tecnologia* (3 ed.). Mundi-Prensa.
- Villaseñor, M., Coscioni, A., Galvao, K. C., & Santos, J. (2008). Gossypol disrupts embryo development in heifers. *Journal of Dairy Science*, 3015–3024 .

VII. ANEXOS



Figura 7.1: Levantamiento topográfico con estación total



Figura 7.2: Dilución del fertilizante FertiDrip 20-20-20 en el agua de riego



Figura 7.3: Recolección de muestras en cada aplicación de fertilizante FertiDrip 20-20-20



Figura 7.4: Muestras del agua de riego recolectadas de la unidad experimental, llevadas al laboratorio de calidad de aguas, para analizar los parámetros de PH y Conductividad Eléctrica (CE) del mismo.

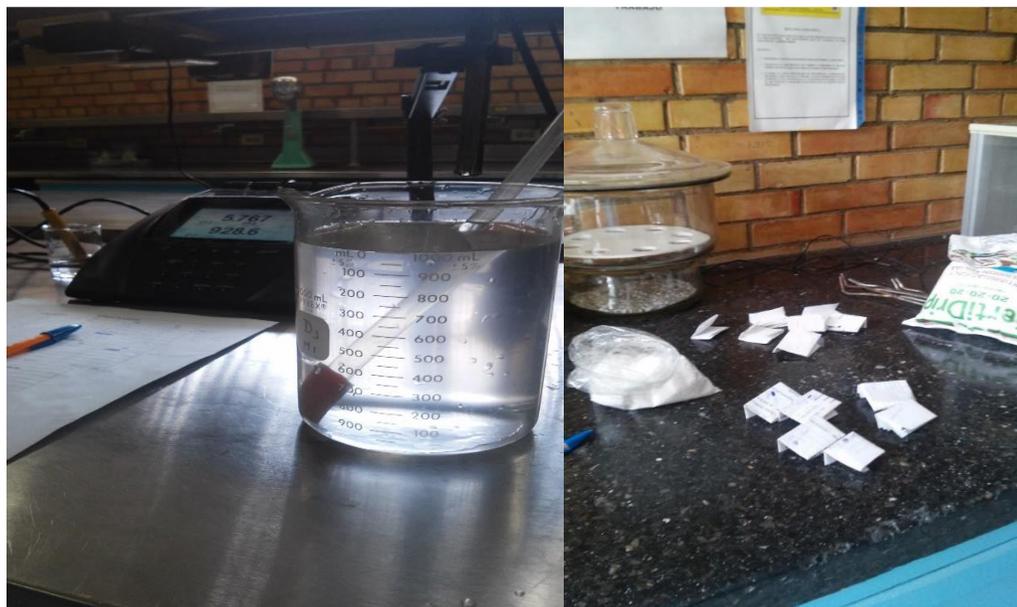


Figura 7.5: Agregando diferentes concentraciones de Fertilizante FertiDrip 20-20-20 en un litro de agua de riego utilizado en el campo experimental. Esto para obtener la curva de titulación



Figura 7.6: Marcado de las plantas para medir la variable altura de la unidad fertirrigada.



Figura 7.7: Marcado y recolección de planta de avena forrajera de variedad Chihuahua por metro cuadrado de la unidad experimental



Figura 7.8: Etiquetado, enumerado y pesado de las 12 muestras recolectadas tanto de la unidad fertirrigada, solo riego y unas muestras de temporal para facilitar el análisis del experimento.