



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AGRARIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Título de Graduación**

**Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación  
del agua, del sistema de riego por aspersión, en la  
finca Experimental el Plantel, de la Universidad  
Nacional Agraria (UNA), Managua, 2016 -2017**

**AUTORES**

**Br. Víctor Samuel Díaz Quiroz  
Br. Marwell René Herrera Pérez**

**ASESOR**

**Ing. Joel Isaías Angulo Rocha  
Ing. David Antonio López Campos**

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2019

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>SECCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
<b>I INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivo	2
2.2. Objetivos específicos	2
<b>III MATERIALES Y METODOS</b>	<b>3</b>
3.1. Ubicación de la evaluación	3
3.2. Clima y precipitaciones	3
3.3. Propiedades del suelo	4
3.3.1. Propiedades físicas	4
3.3.2. Propiedades hidrofísicas	5
3.4. Metodología de trabajo	6
3.4.1. Descripción de los bloques	6
3.4.2. Metodología de la diagonal de presión	6

3.4.3 Variables evaluadas en el sistema de riego	10
3.4.5. Procesamiento de datos	21
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>24</b>
4.1 Prueba de infiltración	24
4.2 Presión	24
4.3 Caudal	25
4.4 Solapamiento	26
4.5 Comparación de datos nominales y reales del aspersor senninger 4023	28
4.6 Intensidad	28
4.7 Humedad en el suelo	29
4.8 Perdidas por evaporación y arrastre del viento	31
4.9 Isoyetas	32
4.9.1 Intensidad de aplicación	32
4.9.2 Lamina aplicada	33
4.9.3 Lamina infiltrada	34
<b>V CONCLUSIONES</b>	<b>35</b>
<b>VI RECOMENDACIONES</b>	<b>36</b>
<b>VII LITERATURA CITADA</b>	<b>37</b>
<b>VIII ANEXOS</b>	<b>38</b>

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida para continuar desarrollándome como profesional hasta el día de hoy, dándome la inspiración, el intelecto y solución a las adversidades.

Segundo a mi madre María Nela Quiroz Sevilla, quien me insto a estudiar, creyendo en mis capacidades físicas e intelectuales para apoderarme de una carrera.

Tercero a mi hermano Alfredo Ezequiel Díaz Quiroz la mayor razón de mis estudios quien me apoyo, para poder forjarme nuevas oportunidades y demostrar que, a pesar de los infortunios de la vida, los objetivos se alcanzan con esfuerzo.

**Víctor Samuel Díaz Quiroz**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de culminación de estudios principalmente a Dios por darme la vida, por regalarme a diario buena salud y por darme la sabiduría para poder culminar mis estudios universitarios.

A mi madre María Dolores Pérez por sus consejos, comprensión, amor, por el apoyo que me brindo tanto moral como económico, necesarios para culminar mi carrera.

**Marwell Rene Herrera Pérez**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios sobre todas las cosas por haberme acompañado en cada día de mi vida como estudiante, por su protección, por escuchar mis oraciones y la de mis padres, también por brindarme inteligencia y las fuerzas necesarias para afrontar los problemas que se me presentaron y no desviarme del camino y así terminar mis estudios.

A mis compañeros de clase, por su ayuda tanto material como intelectual, ya que nos ayudamos mutuamente a la hora de estudiar y realizar trabajos, por sus consejos y su compañía en los tiempos libres.

A la Universidad Nacional Agraria por haberme brindado la oportunidad de formar parte de esta alma mater y por todos los beneficios que me brindo para que mis estudios fueran culminados, también a mi asesor, Ing. Joel Isaías Angulo Rocha, quien dedico su tiempo en apoyarnos, ya que sin su ayuda no hubiese sido posible realizar esta tesis.

**Marwell Rene Herrera Pérez**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios quien a pesar de mis actitudes, carácter y equivocaciones me continúa amando, para darme la oportunidad de concluir mis estudios y alcanzar mi meta de obtener el grado de ingeniero.

A mis compañeros y amigo que conocí durante mi periodo de estudio en la universidad quienes me acompañaron en las horas de clases, exámenes y momentos difíciles como también, quienes me brindaron su apoyo económico, moral y aún más importante fraternal.

A la Universidad Nacional Agraria al abrirnos sus puertas al ingresar a una carrera y nuestro tutor Ing. Joel Isaías Angulo Rocha por tomarnos en cuenta en función de nuestras habilidades y capacidades adquiridas en las horas de clases demostrando que somos buenos prospectos para optar al título de ingeniero agrícola para el desarrollo sostenible.

**Víctor Samuel Díaz Quiroz**

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Criterios de reducción en función del marco de separación actual	13
2. Criterios de reducción en función del número de boquillas del aspersor	13
3. Porcentajes de reducción del marco de separación en función del viento	13
4. Clasificación según el coeficiente de uniformidad	19
5. Criterios para coeficiente de correlación de Pearson	22
6. Coordenadas UTM de puntos de muestreo	23
7. Resultados de la prueba de infiltración	24
8. Datos de presiones (Psi) procesados estadísticamente	25
9. Resultados de caudales (g.p.m) procesados estadísticamente	25
10. Diámetros de humedecimiento procesados estadísticamente	27
11. Resultados de intensidades en el área de evaluación	29
12. Resultados de la lámina infiltrada por cada punto de muestreo	30
13. Porcentaje de pérdidas por evaporación y arrastre del viento	31



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Ubicación del área de estudio, finca el plantel	3
2. Climograma de precipitación y temperatura media de la zona evaluada	4
3. Ubicación del bloque III en la finca el plantel	6
4. Dirección de la diagonal de presión en el sistema de riego por aspersión	7
5. Características de los anillos Infiltrómetros	9
6. Solapamiento entre aspersores	12
7. Caudal del aspersor en función de su ubicación	20
8. Resultado del análisis de correlación entre las variables presión y caudal	26
9. Resultados del análisis de correlación entre las variables presión y diámetro	27
10. Comparación de valores nominales y reales del aspersor	28
11. Correlación de la intensidad y lámina infiltrada	31
12. Mapa de Isoyetas de la intensidad de aplicación	32
13. Mapa de Isoyetas de la lámina aplicada	33
14. Mapa de Isoyetas de la lámina infiltrada	34

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>ANEXO</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Descripción de las propiedades físicas e hidrofísicas del área evaluada	38
2. Datos obtenidos de la prueba de infiltración	38
3. Lámina recogida de la prueba de pluviometría por cada punto	38
4. Radios de alcance procesados estadísticamente	39
5. Datos de la prueba de pluviometría por cada pluviómetro	39
6. Datos de caudales (lts/h) para la determinación de la lámina aplicada	40
7. Datos de humedades de las muestras recolectadas	40
8. Datos de prueba de aforo volumétrico a los aspersores	41
9. Curvas de nivel de la zona de evaluación	41
10. Poligonal de la zona de evaluación	42
11. Ubicación de puntos georreferenciados	42
12. Ubicación de puntos para humedad presente	43
13. Gráfico de infiltración acumulada y velocidad de infiltración	43
14. Catálogo del aspersor senninger 4023-2	44
15. Limpieza para la recolección de muestras	43
16. Entrevista con el encargado del sistema de riego del plantel	45
17. Ubicación y preparación de los anillos Infiltrómetros	45
18. Foto de levantamiento de datos de la prueba de aforo en los aspersores	46
19. Fotos de las muestras para la prueba en el laboratorio de suelo	46

## RESUMEN

La investigación se desarrolló en la finca el plantel ubicada en el km 30 carretera Tipitapa-Masaya, con el objetivo de determinar la uniformidad de intensidad de aplicación del agua en un sistema de riego por aspersión, para ello se utilizó como unidad experimental el bloque III, mediante variables de riego tales como presión, caudal, diámetro de humedecimiento y solapamiento, el método aplicado fue la diagonal de presión para sistemas de riego por goteo, adaptado a un sistema de riego por aspersión, consistió en analizar las posiciones más críticas del sistema. Los resultados obtenidos muestran una lámina recogida promedio de 10.47 mm, para obtener una intensidad de aplicación media de 6.94 mm/h, determinando un coeficiente de uniformidad de intensidad de aplicación del 80 %. Por tanto, el sistema de riego posee un coeficiente de uniformidad aceptable según los criterios de Cristhiansen. Se obtuvo valores medios de las variables presión de 59.37 Psi, caudal de 7.01 g.p.m, diámetro humedecido 26.54 m, humedades presentes de 46.90 %, el área de evaluación posee un suelo con una lámina a capacidad de campo de 85.063 mm de agua y una lámina a punto de marchitez permanente de 56.48 mm, a una profundidad de 0.20 m, a través de las isoyetas se presenta la ubicación de los mayores valores de láminas aplicada en la parte norte, noreste y al oeste del área.

Palabras claves: riego, aspersión, uniformidad, intensidad, lámina, isolineas.

## **ABSTRACT**

The research was carried out on the farm at the tipitapa-masaya road, located at kilometer 30, with the objective of determining the uniformity of intensity of water application in a sprinkler irrigation system, for which block III was used as experimental unit. , through irrigation variables such as pressure, flow, effective diameter, overlap, the applied method was the pressure diagonal for drip irrigation systems, adapted to a sprinkler irrigation system, consisted in analyzing the most critical positions of the system. The results obtained show an average collected sheet of 10.47mm to obtain an average application intensity of 6.94 mm/hr, determining a coefficient of uniformity intensity of application of 80%. Therefore, the irrigation system has an acceptable uniformity coefficient according to the Christiansen criteria. Average values of the pressure variables were obtained, 59.37 psi, flow rate 7.01gpm, effective diameter 26.54m, present humidity of 46.90%, the evaluation area has a soil with a field capacity of 85,063 mm of water and a sheet of point d permanent wilt of 56.48 mm, at a depth of 0.20 m, through the isohyets presents the location of the highest values of sheets applied in the north, northeast and west of the area.

Keywords: irrigation, sprinkling, uniformity, intensity, film, isoline.

## I INTRODUCCIÓN

El uso del sistema de irrigación en los cultivos tiene que ser visto como herramienta que brinda eficiencia, rentabilidad e incremento en la producción, teniendo como función dos aspectos por un lado la indispensabilidad del agua durante la época seca y otro constituir la garantía de la producción como riego complementario cuando la época lluviosa se presenta de forma irregular.

El proceso de aplicación de agua en riego por aspersión estacionario depende de un conjunto de factores que pueden agruparse en tres aspectos fundamentales: Presión, caudal y diámetros de humedecimiento. La distribución del agua de riego generada por un aspersor está influida por factores externos como el viento, temperatura, evapotranspiración y topografía. Según (Clemmens y Dedrick, 1994), la eficiencia del riego por aspersión puede situarse entre el 70 y el 85% en el caso de coberturas totales, requiriéndose un valor mínimo de coeficiente de uniformidad (CU) del 80% para considerarse aceptable, siendo un reto actual y futuro, el uso eficiente del agua en las zonas donde ésta es un recurso escaso.

Se han realizado numerosos trabajos sobre la uniformidad de reparto de agua en riego por aspersión, pero suele haber desacuerdo en las conclusiones. La forma geométrica del espaciamiento suele ser uno de los aspectos con mayores discrepancias. Algunos trabajos recomiendan los marcos triangulares, mientras que otros indican que no existen ventajas significativas entre estos marcos y los cuadrados. El efecto de la dirección del viento sobre la uniformidad de riego, cuando se trata de marcos cuadrado, es otro de los puntos donde suele haber más discrepancias. Así, mientras la recomendación clásica es colocar los marcos de forma que el viento sople en la dirección del mayor espaciamiento, hay situaciones en que se consiguen mayores valores de CU cuando el viento sopla paralelo al menor espaciamiento, dependiendo de la forma del modelo de reparto de agua que tenga el aspersor.

El propósito de la investigación es analizar la uniformidad de intensidad de aplicación del agua en el sistema de riego por aspersión del bloque III, debido a que este parámetro no había sido evaluado, ya que en los sistemas de riego es necesario realizar evaluaciones una vez instalado o antes de cada campaña de riego. Por tal razón surgió la necesidad de conocer la distribución espacial del agua aplicada y su uniformidad de aplicación.

## II OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Analizar la uniformidad de la intensidad de aplicación del agua en el riego por aspersión del bloque III, en la finca el plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria, Managua, 2016 - 2017.

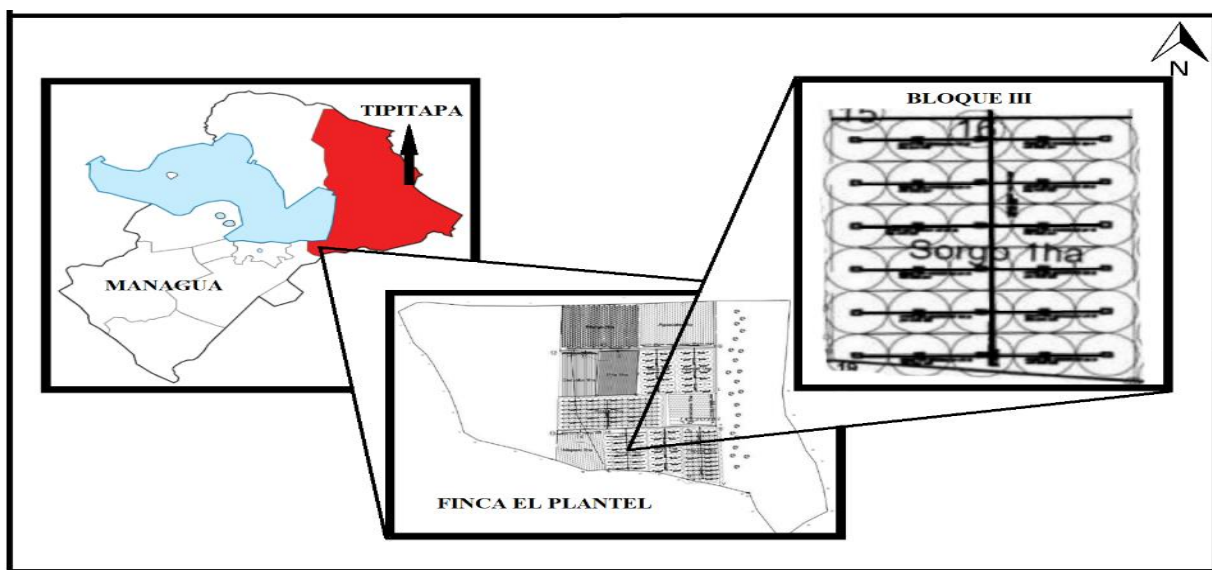
### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar el coeficiente de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del riego por aspersión.
- Analizar los parámetros hidráulicos del riego por aspersión en relación a la uniformidad de aplicación.
- Representar la distribución espacial de la intensidad de aplicación del agua, lámina aplicada e infiltrada mediante mapas de curvas isoyetas haciendo uso del programa ArcGIS.

### III MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación de la evaluación

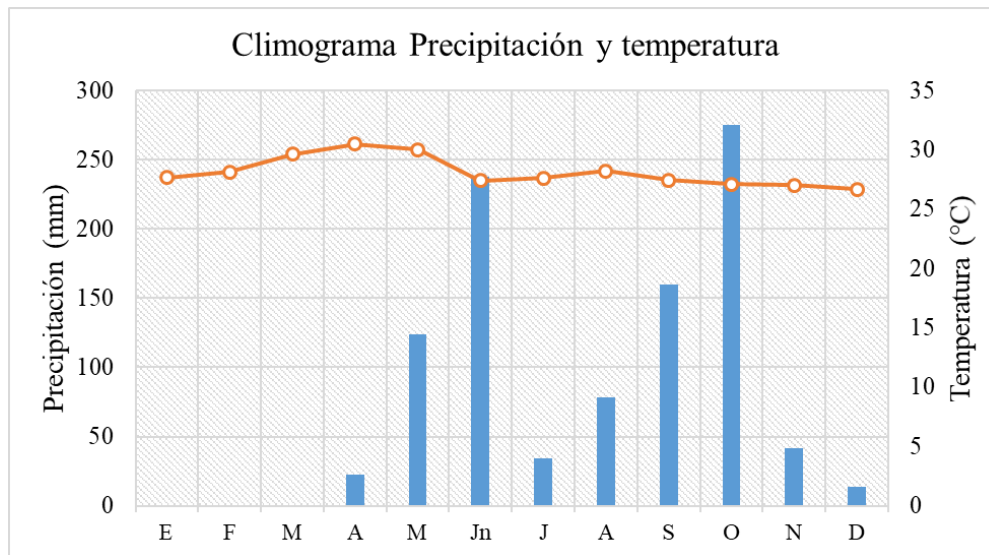
Según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). La finca el Plantel se encuentra ubicada en el 30 km carretera Tipitapa - Masaya al Sureste de la cabecera municipal de Tipitapa, departamento de Managua, con las coordenadas  $86^{\circ}05'25''$  longitud Oeste y  $12^{\circ}07'11''$  latitud Norte, altitud de 108 msnm, limitando al Norte con la comunidad Zambrano, al Sur con la comunidad Guanacastillo, al Este con la comunidad Zambrano y al Oeste con la comunidad de Cofradía (Figura 1).



**Figura1.** Ubicación del área de estudio, finca el plantel.

#### 3.2 Clima y precipitaciones

De acuerdo con la clasificación de Koppen 1923, el clima es tropical de sabana, con transición a subtropical, semi húmedo. La precipitación varía de 600 a 1800 mm/año. La temperatura mínima media corresponde al mes de diciembre con valores que varían entre  $24.7^{\circ}\text{C}$  y  $25.2^{\circ}\text{C}$ , presentándose los mayores valores entre los meses de marzo y abril y los menores entre octubre y diciembre, Los vientos más fuertes se presentan en la estación seca alcanzando velocidades de  $5.5\text{ m/s}$  y los vientos más bajos en octubre con velocidades de  $2\text{ m/s}$  (INETER, 2015; Figura 2).



**Figura 2.** Climograma de precipitación mensual y temperatura media de la zona evaluada.

### 3.3 Propiedades del suelo

#### 3.3.1 Propiedades físicas

##### Textura

Es la distribución de las partículas del suelo en relación a su tamaño como arena, arcilla y limo, la textura del suelo se basa en la relación a los porcentajes de cada una de las partículas. La dominancia de las fracciones en un suelo determina, que tiendan a retardarse el movimiento del agua y aire, siendo un suelo altamente adhesivo, cuando está demasiado mojado, debido a la expansión y contracción del suelo, por su capacidad de mojarse, secarse alternativamente y la capacidad de retención de agua (Broly N C & Weil R.1996).

##### Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre el volumen y el peso seco del suelo incluyendo huecos y poros que contengan, expresado en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , esta propiedad es afectada por la composición y compactación del suelo, ya que un alto valor de densidad aparente representaría un suelo con muy pocos poros y muy compactados (Cisneros, 2003).



### **3.3.2 Propiedades hidrofísicas**

#### **Capacidad de campo**

Se define como el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de haber sido mojado abundantemente a una tensión aproximada de  $1/3$  de atmósfera (atm), donde a partir de un determinado punto el suelo no tendrá más la capacidad de retener agua y todo el aporte de agua más allá de capacidad de campo tendrá a escurrirse (Cisneros, 2003).

#### **Punto de marchitez**

Se define como el punto de humedad mínimo en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica, este nivel de humedad es retenido en el suelo a una tensión de 15 atm. Donde poderse abastecer de agua dependerá de la especie vegetal en función de la capacidad de sus raíces para alcanzar el nivel de punto de marchitez (Cisneros, 2003).

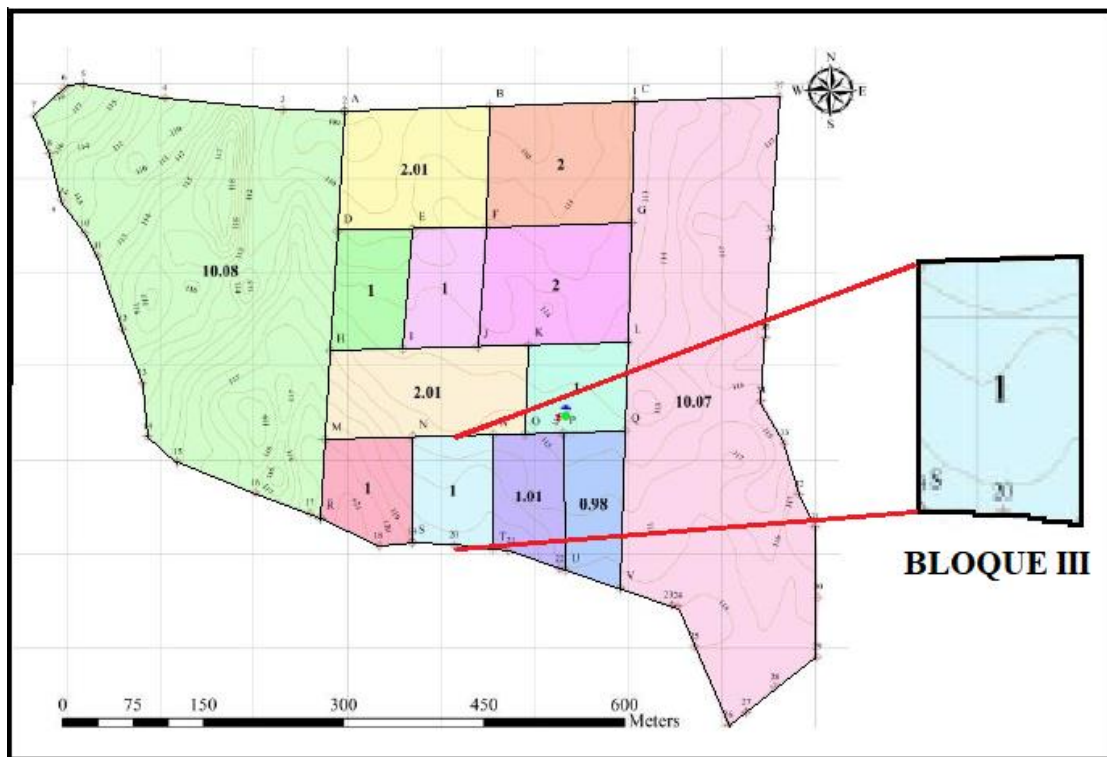
#### **Velocidad de infiltración**

Es la cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo bajo condiciones de campo, la cantidad de agua que se infiltra es mucho mayor al momento de la aplicación y disminuye conforme aumenta el tiempo. Es una propiedad hidrofísica muy importante en relación al manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad con que el agua pasa de la capa superior a capas más profundas en el perfil del suelo, siendo la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo expresada generalmente en cm/h o cm/min (Cisneros, 2003).

### 3.4 Metodología de trabajo

#### 3.4.1 Descripción de los bloques

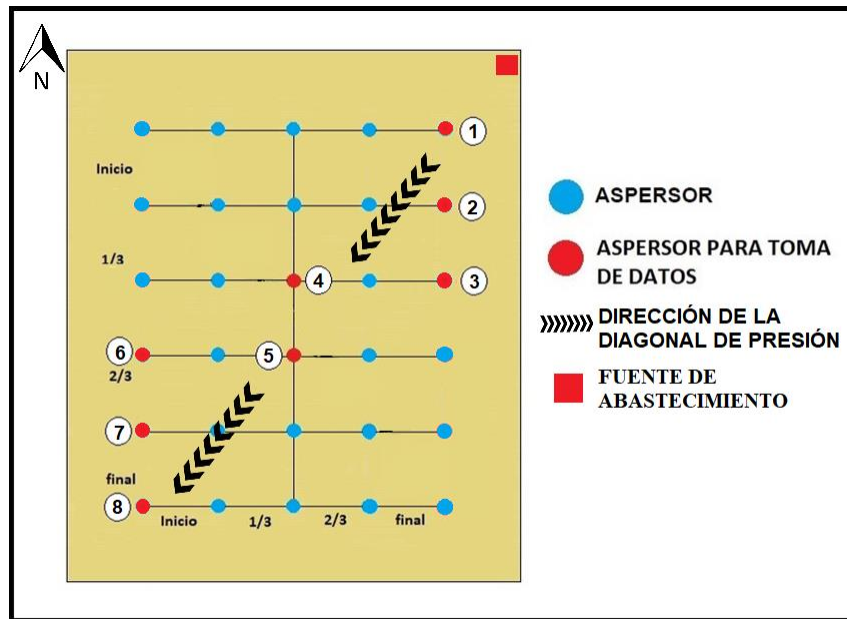
En el año 2013 se instaló un área de riego de 15 ha, los operarios del plantel definen las áreas de riego como bloques, existiendo 12 en total, la evaluación se realizó en el bloque III con un área de 1 ha, donde exactamente el sistema de riego por aspersión ocupa 0.84 ha. Los operarios al momento de regar utilizan dos bloques de riego simultáneamente (Figura 3).



**Figura 3.** Ubicación del bloque III en la finca el plantel.

#### 3.4.2 Metodología de la diagonal de presión

Para la obtención de las variables se aplicó la metodología de la diagonal de presión utilizada en sistemas de riego por goteo, el cual fue adaptado para el bloque del sistema riego por aspersión, para la obtención del coeficiente de uniformidad de aplicación del agua (Figura 4).



**Figura 4.** Dirección de la diagonal de presión del sistema de riego por aspersión del bloque III.

### Textura

Para determinar la textura del suelo se recolecto una muestra a una profundidad de 0.20m y se aplicó el método de campo de textura al tacto, la muestra se humedeció hasta formar una pasta amasándola con ambas manos y formando un pequeño cilindro no muy grueso, realizando una especie de anillo donde este al no agrietarse al momento de darle forma ayudo a determinar que el suelo era de textura arcilloso limoso.

### Densidad aparente

Se utilizó el método gravimétrico donde se requirió una muestra no alterada, donde se utilizó una navaja, cilindro biselado, martillo de goma, cinta y pala, se realizó un agujero a una profundidad de 0.20 m, donde se colocó el cilindro biselado el cual se golpeó con el mazo para introducirlo en el suelo, luego se retiró para quitar el exceso de suelo con la navaja, una vez recogida la muestra se pesó, se identificó con el nombre por quien fue tomada, numero de muestra, numero del bloque, fecha de extracción y luego se llevó al laboratorio.

## **Capacidad de campo**

Se recolectó una muestra para la capacidad de campo donde se utilizó, un machete para limpiar la superficie del terreno y eliminar residuos, después se introdujo el barreno a una profundidad de 0.20 m y se depositó en un recipiente hasta obtener un peso de 1 lb, se codifico y se llevó al laboratorio para determinar la variable a través del método de la olla de Richard.

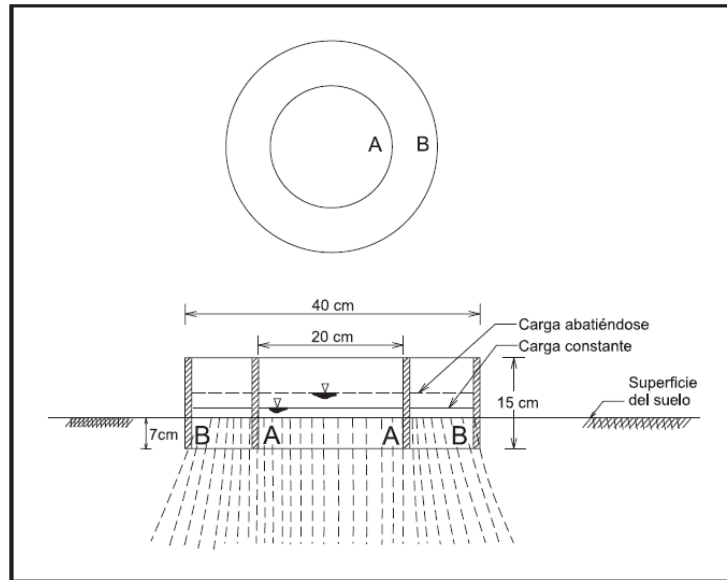
## **Punto de marchitez permanente**

De igual forma que la capacidad de campo se recolecto una muestra para el punto de marchitez permanente, se limpió la superficie del terreno para eliminar residuos, luego se introdujo el barreno a una profundidad de 0.20 m y se depositó la muestra en un recipiente hasta obtener un peso de 1 lb, se codifico y se llevó al laboratorio para aplicar el método de la olla de Richard.

## **Método Infiltrómetro de doble cilindro**

El método consiste en saturar una porción del suelo limitada por dos cilindros para medir el nivel del agua en el cilindro interior. Estos son de acero, huecos en el centro, con medidas aproximadas de 22 cm de alto, de 20 y 40 cm de diámetro. Se utilizan dos anillos, debido a que el anillo exterior cuando se le vierte agua va a impedir que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal, ya que esto provocaría errores en la determinación de la infiltración, debido a que el agua debe infiltrarse en sentido vertical (Cisneros, 2003; Figura 5).

Cuando se realizó la prueba de velocidad de infiltración, el área de evaluación no había sido regada, Se colocaron los anillos Infiltrómetros en el suelo, colocando encima de los anillos una placa en forma de cruz la cual se golpeó con un mazo de hierro, introduciendo los anillos a una profundidad de 7 a 10 cm, se cubrió el anillo interior con un plástico, se vertió agua primeramente en el anillo exterior y después al anillo interior, retirando el plástico cuidadosamente para comenzar a medir el tiempo y el tirante de agua, tomando lecturas a diferentes intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 min, dejando que el nivel de agua bajara y volviendo agregar agua cuando se requirió.



**Figura 5.** Características de los anillos Infiltrómetros

### **Kostiakov-Lewis**

Para conocer la velocidad de infiltración en el punto seleccionado se utilizó la ecuación de Kostiakov-Lewis dado por la siguiente formula:

$$I = k t^n$$

Dónde:

I = velocidad de infiltración (cm/h)

t = tiempo (min)

k = parámetro que representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial cuando t=1.

n = parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo (0<n<1.0).

### **Método de regresión lineal simple**

Para obtener los coeficientes k y n del modelo de Kostiakov-Lewis, se utilizó, el método de regresión lineal simple, consistiendo en la aplicación de logaritmos a ambos términos.

$$\text{Log } I = \text{Log } k + n \text{ Log } t$$

Que correspondería a una ecuación del tipo de una recta:

$$Y = b_0 + b_1 X$$

Dónde:

$$Y = \log I$$

$$b_0 = \log k$$

$$b_1 = n$$

$$X = \log t$$

Además:

y = velocidad de infiltración

x = tiempo

### **3.4.3 Variables evaluadas en el sistema de riego**

#### **Presión (Psi)**

Definida como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada en referencia al agua, es aquella que circula en la tubería; es decir la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes y distintos elementos que componen los sistemas de riego, desde la fuente de abastecimiento hasta la zona donde se desea regar (Sevilla, 2010).

Para medir las presiones se utilizó un manómetro con unidades de medida en (Psi), se sujetó el aspersor para evitar el golpeteo que provoca el movimiento circular y se colocó el manómetro en el orificio de descarga, la prueba fue realizada en 8 aspersores siguiendo la diagonal de presión (figura 4).

## **Caudal (g.p.m)**

Conocido como gasto al flujo de agua que circula por una sección determinada, en este caso por las tuberías y accesorios que posee el sistema de riego, por cierta unidad de tiempo, considerando el gasto, cabe destacar que el volumen de agua que es emitido por los aspersores, son la causa del movimiento giratorio de ellos mismo según el emisor (Sevilla, 2016).

Se realizó un aforo volumétrico al aspersor, utilizando una manguera de 2 pulgadas, un balde de 20 litros y un cronómetro. Se registró el tiempo de llenado del recipiente, determinándose el caudal. La prueba se realizó en 8 aspersores con cuatro repeticiones en cada aspersor, siguiendo la diagonal de presión (figura 4).

El caudal de cada aspersor, en galones por minuto se calculará mediante la fórmula:

$$Qa = \frac{Vr}{T} * 15.85$$

Dónde:

Qa: Caudal del aspersor (g.p.m)

Vr: volumen recogido (l)

T: tiempo de llenado (s)

15.85: factor de conversión

## **Solapamiento y diámetro de humedecimiento**

El solapamiento es el cruce de los chorros de agua de los aspersores que se traslapan, para lograr el humedecimiento uniforme en el suelo, siendo una variable muy influyente al momento de administrar el riego de forma espacial, en función de las distancias alcanzadas por los mismos y el marco de separación existente entre los aspersores, ayudando a reducir los gastos de agua necesarios (Prado, 2006).

Para su determinación se implementó el siguiente procedimiento:

- **Primero:** se determinó el marco de separación entre los aspersores del sistema de riego del bloque III con una cinta de fibra de vidrio midiendo entre aspersores y laterales
- **Segundo:** se determinó el radio de alcance medio de los 8 aspersores, utilizando el diámetro de humedecimiento medio de los aspersores, se colocó una marca donde llegaba el fin del chorro de agua, el cual hace contacto con el suelo, en ambos lados del aspersor, luego con una cinta de fibra de vidrio se midió la distancia entre ambos puntos, esto se realizó en 8 aspersores siguiendo la diagonal de presión (figura 4).

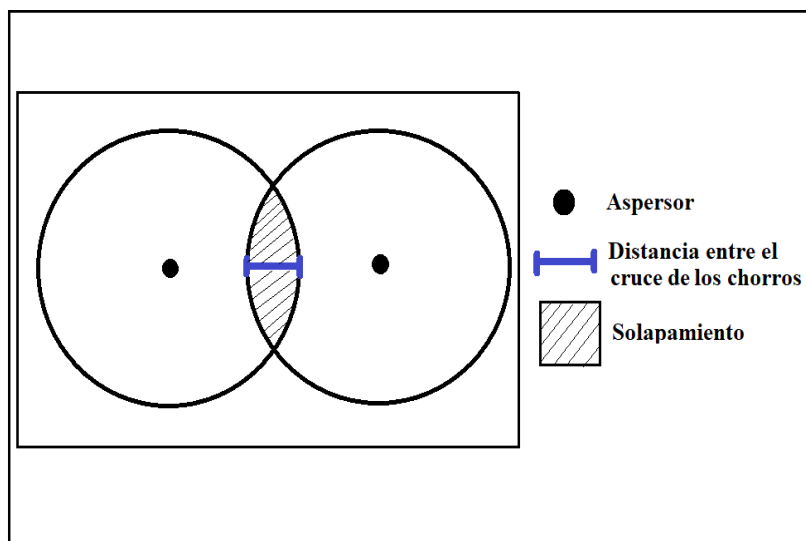
$$R = \frac{D}{2}$$

Donde:

R: radio de alcance medio del sistema de riego (m)

D: diámetro de humedecimiento medio (m)

- **Tercero:** se determinó el solapamiento utilizando la escala 1:100 y el marco de separación, para determinar la distancia que existe en la intercepción que generan los radios de alcance.



**Figura 6.** Solapamiento entre aspersores.



El solapamiento se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{d}{D} * 100$$

Donde:

S: solapamiento (%)

D: distancia entre aspersores (m)

d: distancia entre el cruce de los chorros de agua (m)

100: factor de conversión.

Al momento de evaluar sistemas de riego y determinar el solapamiento no implica que el resultado satisfaga las demandas en cuanto a las áreas regadas, encontrando áreas que no son humedecidas, por tal razón, es necesario determinar el marco de separación más favorables en función de los siguientes criterios (Sevilla, 2010; Cuadro 1, 2 y 3)

**Cuadro 1.** Criterios de reducción en función del marco de separación actual

Marco de separación	Porcentaje de reducción (%)
Cuadrado	60% D
Rectangular	45% – 75% D
Triangular	60% D

**Cuadro 2.** Criterios de reducción en función del número de boquillas del aspersor

Numero de boquillas	Diámetro mojado (m)
1 boquilla	90% (Diámetro efectivo)
2 boquilla	95% (Diámetro efectivo)

**Cuadro 3.** Porcentajes de reducción del marco de separación en función del viento

% de reducción	Velocidad del viento (m/s)
10 – 12	4 – 6
18 – 20	6 – 9
25 – 30	10-11

## Humedad en el suelo

En el riego el contenido de humedad es expresado en términos de altura de agua (mm), que indica la lámina de agua almacenada en el suelo, la práctica del riego consiste en aprovechar la capacidad del suelo para la retención del agua ya que tiene efecto sobre la disponibilidad de este para un cultivo (Gurovich L, 1985).

No existe una línea divisora entre los niveles de agua en el suelo; la forma y proporción en que se encuentra los niveles depende fundamentalmente de las propiedades físicas e hidrofísicas que el suelo puede presentar, debido a estas características podemos encontrar los diferentes niveles de agua en el suelo como son:

**Lámina a capacidad de campo:** Contenido de agua que el suelo puede retener luego de haber sido plenamente humedecido, estando relacionada con las propiedades físicas del suelo.

$$L_{cc} = \frac{100 * Da * h * CC}{10}$$

Donde:

L<sub>cc</sub>: lámina a capacidad de campo (mm)

Da: densidad aparente (kg/cm<sup>3</sup>)

h: profundidad de muestreo (m)

CC: capacidad de campo

**Lámina a punto de marchitez:** Contenido de agua en el suelo a partir del cual las plantas dejan de extraer agua y manifiestan síntomas de marchitez parcial o total.

$$L_{pm} = \frac{100 * Da * h * PMP}{10}$$

Donde:

Lpm: lámina a punto de marchitez (mm)

Da: densidad aparente (kg/cm<sup>3</sup>)

h: profundidad de muestreo (m)

PMP: punto de marchitez permanente

**Lámina de agua disponible o útil:** Lámina la cual las plantas pueden aprovechar para su desarrollo y pueden extraerla a través de sus raíces según la fisionomía de cada cultivo.

$$Lad = Lcc - Lpm$$

Donde:

Lad: lámina de agua disponible o útil (mm)

Lcc: lámina a capacidad de campo (mm)

Lpm: lámina a punto de marchitez (mm)

**Lámina no disponible:** Lámina la cual no está disponible debido a que se encuentra ubicada por debajo de la lámina a punto de marchitez.

### **Medida del contenido de humedad**

Luego de haber realizado la prueba de pluviometría se utilizaron cilindros biselados previamente pesados, los cuales se introdujeron a una profundidad de 0.20 m, uno por cada punto de pluviometría, obteniendo 16 muestras, una vez recolectada, estas fueron pesadas en una balanza electrónica y se codificaron.

El contenido de humedad del suelo fue determinado mediante el método gravimétrico, El cual consistió secar las muestras de suelo en la estufa a una temperatura de 105° a 110 °C durante 24 horas o hasta obtener un peso constante. Conociendo el peso del suelo seco, se determinó el porcentaje de humedad de las 16 muestras aplicándose la siguiente formula.

$$H_p = \frac{P_{shr} - P_{ssr}}{P_{ssr} - p_r} * 100$$

Dónde:

H<sub>p</sub>: humedad presente (%)

P<sub>ssr</sub>: peso de suelo seco más el peso del recipiente (gr)

P<sub>shr</sub>: peso del suelo húmedo más el peso del recipiente (gr)

P<sub>r</sub>: peso del recipiente (gr)

### **Intensidad de aplicación (mm/h)**

Una alta intensidad de aplicación del riego descompone la estructura del suelo y altera su composición, las partículas que lo forman se separan por tamaño, quedando en suspensión las partículas que son más pequeñas, lo cual puede provocar encharcamiento, es por eso que la intensidad, está en función de la lámina de agua que llega a tener contacto en el suelo, como el tiempo en que dura el área en ser regada.

Para determinar la intensidad de aplicación se colocó una red pluviométrica de 64 envases, los envases deben tener forma cilíndrica, de tamaño uniforme, con los bordes agudos y sin deformaciones, con un diámetro de 10.16 cm y una altura de 25 cm, distribuidos en grupos de 4 formando un área de 9 m<sup>2</sup>, colocados al inicio del lateral, a 1/3, a 2/3 y al final del lateral tanto ancho como largo, obteniendo 16 grupos a lo cual llamamos puntos (Anexo 12). La duración de la prueba de pluviometría fue de 90 minutos (Junta de Andalucía, 2014), es el tiempo mínimo para pruebas de pluviometría en sistemas de riego por aspersión (UNE 68-072-86).

Una vez finalizado el tiempo establecido de 90 minutos, se dejó de regar, luego se utilizó una probeta graduada en mililitros, para medir el volumen de agua recogido en los pluviómetros de los 16 puntos, ya obtenido el volumen de cada pluviómetro se realizaron los siguientes pasos para determinar la intensidad de aplicación.

- **Primero:** Se calculó el área del orificio de los pluviómetros ( $\text{cm}^2$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$A = 0.785 * (D)^2$$

Dónde:

A: área del orificio de los pluviómetros ( $\text{cm}^2$ )

D: diámetro del pluviómetro (cm)

- **Segundo:** La lámina de agua recogida en los pluviómetros se calculó como.

$$L_p = \frac{V_m}{A} * 10$$

Dónde:

$L_p$ : lámina de agua recogida por los pluviómetros (mm)

$V_m$ : Volumen medio recogido ( $\text{cm}^3$ )

A: área de la embocadura de los pluviómetros ( $\text{cm}^2$ )

10: Factor de conversión

- **Tercero:** Una vez con estos datos se procede a calcular la intensidad de la siguiente manera.

$$I = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

I: intensidad (mm/h)

Q: caudal proporcionado por lámina recogida ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )

## Uniformidad de intensidad de aplicación

Definido como la aplicación del agua en una zona determina, donde el agua debe ser repartida de una forma espacial y uniforme, cabe destacar que una baja uniformidad en el riego implica la existencia de zonas en el suelo con excesos de agua y otros con escasos, de tal forma que la uniformidad tiene por objetivo cubrir toda el área a regar y aplicar un poco más de agua en las zonas que reciben menos cantidad (Sevilla, 2010).

Se consideró que la forma de evaluar la uniformidad de aplicación del agua, parte de la intensidad de aplicación del agua, en 1942 Christiansen fue el primero en aplicar el concepto de medir la uniformidad del agua en un sistema de riego. Aplicando el coeficiente de uniformidad a la lluvia de un sistema, habiendo dado una idea de cómo está se distribuye en una zona determinada (Marrero G, 2003).

Se utilizó el procedimiento de Christiansen, para calcular el valor de la uniformidad de riego y obtener un resultado cuantitativo, en función de los datos de intensidad aplicando la siguiente fórmula:

$$Cu = 100 \left( 1 - \frac{\sum |I_i - I_m|}{n I_m} \right)$$

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad (%)

I<sub>i</sub>: Intensidad medida en cada pluviómetro (mm/h)

I<sub>m</sub>: Intensidad media de todas las observaciones (mm/h)

n: Cantidad de observaciones totales

El valor de uniformidad del sistema de riego por aspersión estará definido cualitativamente por los siguientes criterios según Christiansen 1942 (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Clasificación según el coeficiente de uniformidad

<b>Cu %</b>	<b>Clasificación</b>
>90	Muy buena
85-90	Buena
80-85	Aceptable
<80	Inaceptable

**Pérdidas por evaporación y arrastre del viento**

En riego por aspersión existen dos factores que afectan negativamente la aplicación de agua sobre el suelo, uno de ellos es la evaporación de las gotas de agua que producen los aspersores y otro el arrastre de las gotas por efecto del viento. En las pérdidas por evaporación y arrastre del viento, tiene gran importancia el tamaño de las gotas de agua que emiten los aspersores, dichas pérdidas serán mayores cuando mayor sea el viento como la temperatura.

Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento se calculan como la diferencia entre la lámina de agua aplicada por los aspersores y la lámina de agua recogida en los pluviómetros.

$$Pe = \frac{La - Lp}{La} * 100$$

Dónde:

Pe: Perdidas por evaporación y arrastre del viento

La: lámina de agua aplicada por los aspersores (mm)

Lp: lámina de agua recogida en los pluviómetros (mm)

**Primero:** se calculó la lámina de agua aplicada por los aspersores, midiendo el caudal de cada aspersor en l/h, utilizando la siguiente formula:

$$C = \frac{V}{t} * 3600$$

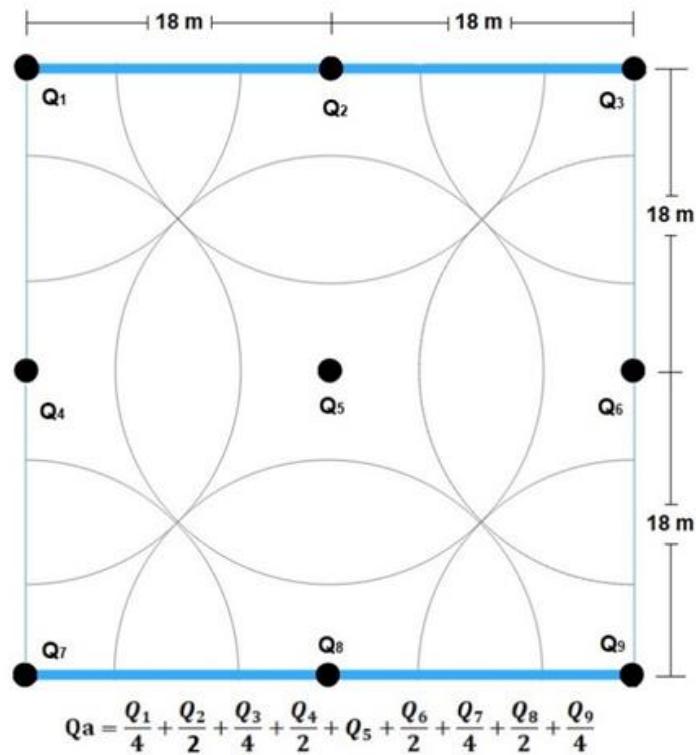
Donde:

C= caudal del aspersor (l/h)

V= volumen recogido en el recipiente (l)

t= tiempo de llenado (s)

**Segundo:** se calculó el caudal total del sistema de riego, sumando los caudales de los aspersores aforados; el caudal dependerá de la posición de cada aspersor (Figura 7).



**Figura 7.** Caudal del aspersor en función de su ubicación

La lámina aplicada por los aspersores se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$La = \frac{Qa}{A * 60} * T$$



Donde:

La: Lámina aplicada (mm)

Qa= caudal (l/h)

A: área (m<sup>2</sup>)

T: tiempo de evaluación (min)

**Tercero:** para la lámina recogida por los pluviómetros, se calculó el área de embocadura de los vasos y luego la lámina se determinó con la siguiente formula:

$$L_p = \frac{V_m}{A} * 10$$

Donde:

Lp: lámina recogida (mm)

Vm: volumen medio recogido (cm<sup>3</sup>)

A: área de la embocadura de los vasos (cm<sup>2</sup>)

### 3.4.5. Procesamiento de datos

#### Desviación estándar

La desviación estándar se aplicó a los datos obtenidos para las variables: presión, caudal y diámetro de humedecimiento, para poder identificar estadísticamente el comportamiento o la distancia de cada uno de los datos en función de la media de ellos mismos, mediante la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Donde:

S: Desviación estándar

n: Tamaño de la muestra

$X_1 - \bar{X}$ ; Media aritmética de la muestra

### La correlación lineal

Conocido como el coeficiente de correlación de Pearson (Cuadro 5), consiste en una media de regresión lineal que pretende cuantificar el grado de relación entre dos variables o más, mostrando la dispersión de los valores, señalando lo lejos o cerca que están de una recta, al igual que el sentido de relación entre las variables, determinando las variables como X, e Y, se determinó el coeficiente de correlación simbolizado por la letra r, mediante la siguiente fórmula:

$$r_{X,Y} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y}$$

Dónde:

$\sigma_{xy}$ : Es la covarianza de (X,Y)

$\sigma_x$ : Es la desviación estándar de la variable X

$\sigma_y$ : Es la desviación estándar de la variable Y

**Cuadro 5.** Criterios para coeficiente de correlación de Pearson

r=1	Correlación perfecta
0.8 < r < 1	Correlación muy alta
0.6 < r < 0.8	Correlación alta
0.4 < r < 0.6	Correlación moderada
0.2 < r < 0.4	Correlación baja
0 < r < 0.2	Correlación muy baja
r = 0	Correlación nula

## Isoyetas

La isoyeta es una isolínea que une los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área se puede diseñar un gran número de planos, es por eso que se crearon isoyetas para las variables de intensidad, lamina aplicada y lamina infiltrada, la configuración de estas curvas nos permitirá ver la distribución espacial de las láminas de agua.

Para la elaboración de los mapas donde se ven reflejadas las Isoyetas, se utilizó el programa ArcGIS, el cual permite recopilar, organizar, analizar y distribuir sistemas de información geográfica (SIG). Para crear un mapa base se debe tener coordenadas UTM o Geográficas. Es por eso que se realizó un levantamiento de coordenadas UTM (Cuadro 6), haciendo uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en los 16 puntos de muestreo de pluviometría (Anexo 11), a partir de los datos obtenidos se realizó una base de datos en el programa de ArcGIS donde refleja las coordenadas de cada punto con las variables mencionadas.

**Cuadro 6.** Coordenadas UTM de puntos de muestreo

<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	599344	1339496	9	599302	1339496
2	599343	1339471	10	599298	1339470
3	599346	1339442	11	599304	1339443
4	599346	1339413	12	599300	1339416
5	599327	1339495	13	599281	1339496
6	599324	1339472	14	599282	1339469
7	599330	1339441	15	599284	1339442
8	599326	1339414	16	599284	1339420

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Prueba de infiltración

Uno de los objetivos de la prueba de infiltración fue determinar cuantitativamente, el movimiento del agua dentro del suelo incurrido por el efecto de la gravedad, sin embargo, conocimientos de campo hacen suponer que un suelo de textura arcillosa, presenta una buena infiltración.

El Cuadro 7 presenta los resultados obtenidos de la ecuación de Kostiakov-Lewis y regresión lineal, determinando la ecuación de velocidad de infiltración, infiltración acumulada y determinado la velocidad de infiltración básica de 2.46 cm/h, lo cual se considera como una infiltración moderada para un suelo arcilloso (Juan Ibáñez 2006).

**Cuadro 7.** Resultados de la prueba de infiltración

Área	Sistema	Velocidad de Infiltración (cm/h)	Infiltración Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración Básica (cm/h)
Bloque III	Aspersión	$78.86 t^{-0.7808}$	$5.9974 t^{0.2191}$	2.46

### 4.2 Presión (psi)

Los sistemas de riego por aspersión están basados en la conducción del agua desde un punto de almacenamiento hasta los emisores, circulando por una red de distribución de tuberías cerradas para que el agua llegue a los puntos de emisión, siendo preciso que circule con suficiente presión y poder superar las diferencias de alturas que pueda encontrar desde la fuente de abastecimiento hasta el momento de su descarga (Sevilla, 2010).

El Cuadro 8 presenta los datos obtenidos de presión en 8 aspersores siguiendo la diagonal de presión, procesados estadísticamente, mostrando una desviación estándar de 2.72, existiendo variabilidad entre los datos de presión que van desde 56 Psi hasta 64 Psi a partir de la unidad media de 59.37 Psi aun así la variabilidad no es muy significativa debido a que las presiones de menores valores son de los emisores que se ubican más lejos de la fuente de abastecimiento.

**Cuadro 8.** Datos de presiones (Psi) procesados estadísticamente

Aspersor	Presión (Psi)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
1	64	4.62	21.39
2	62	2.62	6.89
3	60	0.62	0.39
4	59	-0.37	0.14
5	59	-0.37	0.14
6	59	-0.37	0.14
7	56	-3.37	11.39
8	56	-3.37	11.39
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	59.37	<b>Desviación</b>	2.72

### 4.3 Caudal (g.p.m)

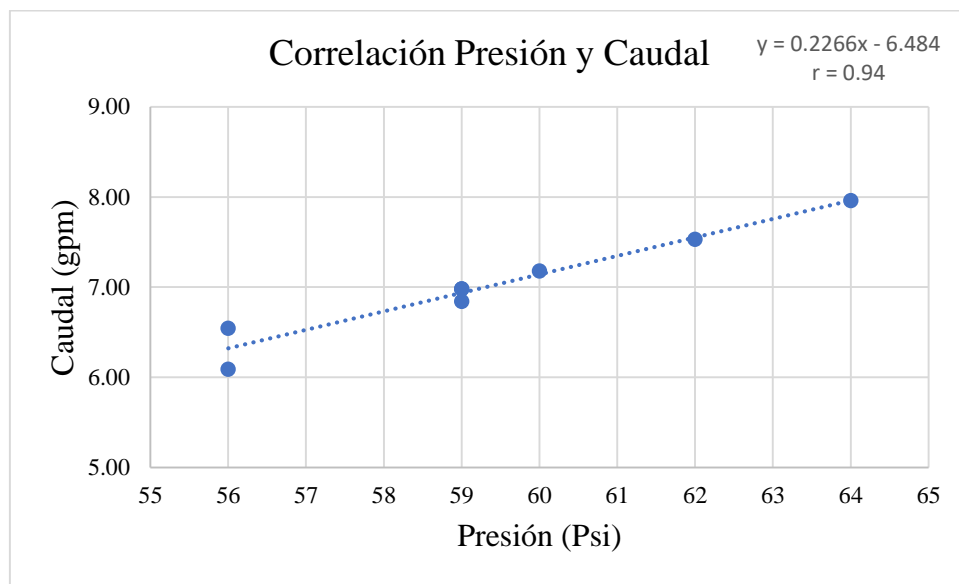
La reducción de gasto se encuentra en función de la disponibilidad del agua en la fuente de abastecimiento como la capacidad del suelo para retener agua, como consecuencia de esto se obtiene la reducción del perímetro mojado y áreas de riego (Gurovich 1999).

El Cuadro 9 presenta los resultados obtenidos en función de la prueba de aforo volumétrico, tomando 8 datos como referencia siguiendo la diagonal de presión, obteniendo caudales de 6.09 g.p.m hasta 7.96 g.p.m, determinando una desviación estándar de 0.57 a partir de la unidad media de 7.01 g.p.m, es decir no existe gran variabilidad entre la mayoría de datos de esta variable.

**Cuadro 9.** Resultados de caudales (g.p.m) procesados estadísticamente

Aspersor	Caudal(g.p.m)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
1	7.96	0.95	0.90
2	7.53	0.52	0.27
3	7.18	0.17	0.03
4	6.84	-0.17	0.03
5	6.98	-0.03	0.00
6	6.98	-0.03	0.00
7	6.54	-0.47	0.22
8	6.09	-0.92	0.85
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	7.01	<b>Desviación</b>	0.57

En la Figura 8 se observa una correlación con pendiente positiva, para las variables de presión y caudal, determinando un coeficiente  $r = 0.94$ , indicando que la correlación es muy alta según el Cuadro 5, es decir que a medida que la presión en los orificio de descarga aumenta, el caudal también, de igual manera la distancia que tiene los puntos de la recta, determinan que el caudal es dependiente de la presión.



**Figura 8.** Resultado del análisis de correlación entre las variables presión y caudal.

#### 4.4 Solapamiento

El viento es uno de los principales elementos que distorsiona el perfil de distribución de la lluvia del aspersor de tal forma que, a mayor velocidad del viento, mayor distorsión del chorro de agua, así que, para lograr mayor área regada o buen humedecimiento de la superficie, es necesario que exista un buen solapamiento por tal razón los marcos de separación son fundamentales (Sevilla, 2006).

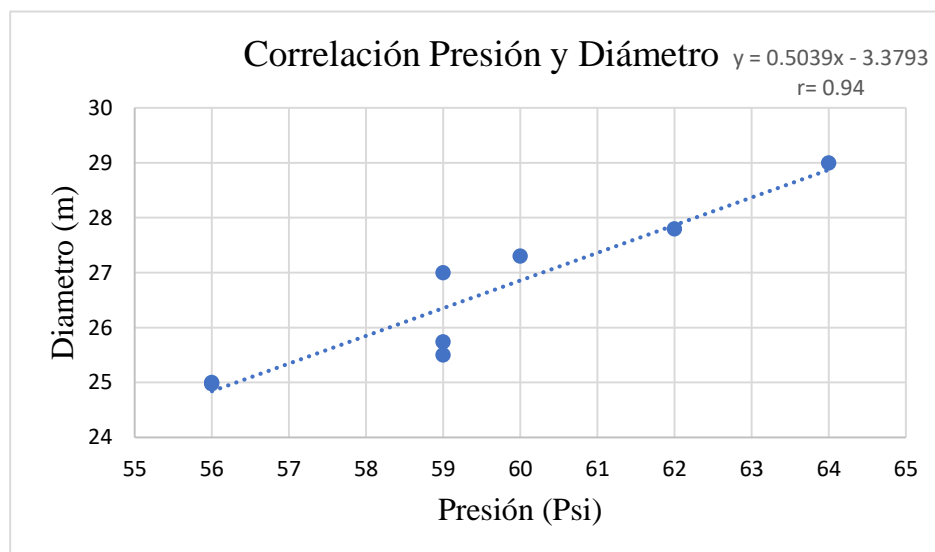
En el Cuadro 10 se muestran los resultados de diámetro de humedecimiento a través de los radios de alcance medidos (Anexo 4), los datos fueron tomados en los mismos 8 aspersores donde fue tomado la variable de presión y caudal, siguiendo la diagonal de presión, obteniendo resultados de 24.98 m hasta 29 m, donde no existe gran variabilidad entre los datos debido a la

desviación estándar de 1.46 a partir del valor medio de 26.54 m, el marco de separación actual del sistema de riego establecido en el bloque III es de 18 x18 m, con un 47.44% de solapamiento.

**Cuadro 10.** Diámetros de humedecimiento procesados estadísticamente

Aspersor	Diámetro(m)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
1	29.00	2.46	6.05
2	27.80	1.26	1.59
3	27.30	0.76	0.58
4	27.00	0.46	0.21
5	25.74	-0.80	0.64
6	25.50	-1.04	1.08
7	25.00	-1.54	2.37
8	24.98	-1.56	2.43
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	26.54	<b>Desviación</b>	1.46

En la Figura 9 se observa una correlación lineal con pendiente positiva para las variables de presión y diámetro de humedecimiento, con un coeficiente  $r = 0.94$ , indicando que la correlación es alta según el Cuadro 5. Definiendo que la relación entre las variables es proporcional es decir, el diámetro de humedecimiento aumenta a medida que la presión sea mayor.

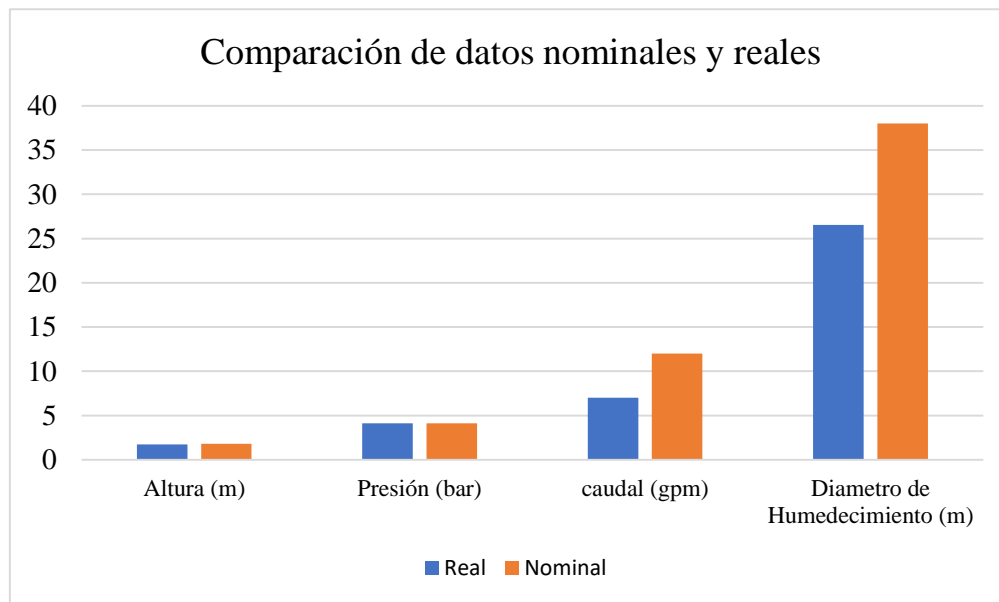


**Figura 9.** Resultados del análisis de correlación entre las variables presión y diámetro de mojado.

#### 4.5 Comparación de los valores nominales y reales del aspersor senniger 4023

Realizar una comparación de los valores obtenidos en el campo con los datos de diseños del aspersor, tienen como objetivo determinar si el aspersor está recibiendo un buen uso y manejo para ser aprovechado al máximo durante el riego.

En la Figura 10 muestra los valores nominales del aspersor Senninger serie 4023, con un orificio de descarga de 5.58 mm, comparándolos con los datos obtenidos durante la evaluación, para la variable altura se encontró un resultado de 1.75 m muy aproximado al valor nominal de 1.82 m, mientras la presión ejercida sobre los aspersores fue de 4.13 bar también cercano al valor nominal de 4.14 bar, para la variable caudal se obtuvo 7.01 g.p.m, solo el 58% del caudal nominal y para el diámetro de humedecimiento solo se alcanzó 27.54 m solo el 72% del valor nominal.



**Figura 10.** Comparación de valores nominales y reales del aspersor.



#### 4.6 Intensidad

Una alta intensidad de aplicación del riego descompone la estructura del suelo y altera su composición, esta nueva composición impide que futuras aplicaciones infiltren apropiadamente, teniendo como resultado la acumulación del agua en la superficie y la generación de escorrentías que arrastran parte del suelo.

Mediante los datos de la prueba de pluviometría, el Cuadro 11 muestra la intensidad de aplicación por cada punto, determinando una intensidad media de 6.94 mm/h, con el objetivo de determinar parámetros de encharcamiento siendo este menor a la velocidad de infiltración, (Cuadro 9), cumpliendo los criterios de no encharcamiento ( $i_a < v_{inf}$ ), también se obtuvo un coeficiente de uniformidad de aplicación del 80%, que según los criterios de (Christiansen), dice que un coeficiente del 80 - 85% es aceptable (Cuadro 4).

**Cuadro 11.** Resultados de intensidades en el área de evaluación

<b>Puntos</b>	<b>Intensidad (mm/h)</b>	<b>Puntos</b>	<b>Intensidad (mm/h)</b>
1	7.63	9	9.03
2	8.53	10	6.29
3	8.57	11	7.55
4	7.81	12	5.35
5	7.36	13	5.00
6	8.04	14	3.33
7	6.89	15	8.82
8	5.80	16	5.14
		<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>6.94</b>

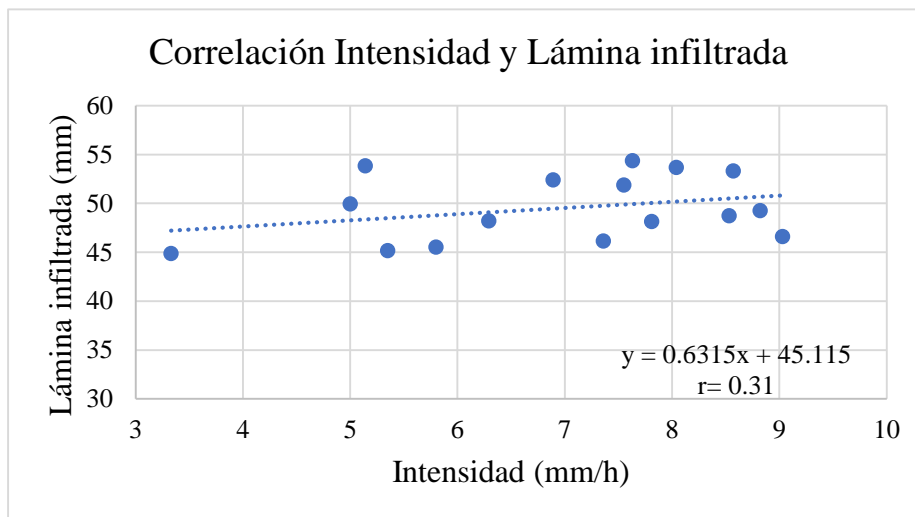
#### 4.7 Humedad en el suelo

El Cuadro 12 presenta los resultados de humedad en los 16 puntos de muestreos a una profundidad de 0.20 m, obteniendo una humedad presente de 26.31 %, una lámina a capacidad de campo de 85.06 mm, una lámina a punto de marchitez de 56.48 mm, donde 28.57 mm es la lámina útil para los cultivos.

**Cuadro 12.** Resultados de la lámina infiltrada por cada punto de muestreo

<b>Código</b>	<b>Hp (%)</b>	<b>Lamina Infiltrada (mm)</b>
1	31.31	59.49
2	25.64	48.72
3	28.06	53.31
4	25.33	48.13
5	24.29	46.14
6	32.49	61.73
7	27.59	52.41
8	23.96	45.52
9	24.53	46.61
10	25.37	48.20
11	27.30	51.88
12	23.77	45.17
13	23.43	44.51
14	23.61	44.86
15	25.93	49.26
16	28.33	53.83
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>26.31</b>	49.99
	<b>Lamina cc (mm)</b>	85.06
	<b>Lamina pmp (mm)</b>	56.48
	<b>Lamina útil (mm)</b>	28.57

En la Figura 11 se observa una correlación lineal para las variables de intensidad y lamina infiltrada, determinando un coeficiente  $r = 0.38$  definiendo la correlación como baja según el Cuadro 5. Es decir, el valor  $r$  indica que la lámina infiltrada aumenta a medida que incrementa la intensidad, pero la distancia de los puntos hacia la recta indica que la lámina no es total dependiente de la intensidad, ya que a medida que aumente la intensidad, disminuirá la lámina infiltrada, concluyendo que la lámina infiltrada depende más de las propiedades físicas e hidrofísicas, así como a la eficiencia de almacenamiento y distribución de agua en el suelo.



**Figura 11.** Correlación de la intensidad y lamina infiltrada.

#### 4.8 Perdidas por evaporación y arrastre del viento

Es necesario considerar las pérdidas de agua del sistema de riego debido a los efectos ya sea del diseño, los accesorios o el clima, que influyen al momento de operación de un sistema de riego para poder distribuir el agua a través de los aspersores. Es por tal razón que fue necesario determinar la lámina aplicada del sistema, mediante la prueba de aforo volumétrico y lamina recogida determinada por la prueba de pluviometría.

El Cuadro 13 presenta los resultados de la lámina aplicada mediante la prueba de aforo volumétrico en consideración de la posición de los aspersores y la lámina recogida mediante la prueba de pluviometría, durante los 90 minutos de riego obteniendo como resultado una lámina aplicada de 11.53 mm con una lámina recogida de 10.47 mm, habiendo perdidas de arrastre por viento y evaporación del 9.19 %.

**Cuadro 13.** Porcentajes de pérdidas por evaporación y arrastre del viento

Lamina	(mm)
Aplicada	11.53
Recogida	10.47
Perdidas	9.19 %

## 4.9 Isoyetas

### 4.9.1 Intensidad de aplicación

La Figura 12 muestra el comportamiento espacial de la intensidad de lluvia en función del tiempo de riego de la prueba de pluviometría.

Se presentan tres puntos en los cuales se ubican el rango de mayor valor de intensidad de 8.07 a 9.08 mm/h, estando ubicado uno de ellos en la parte norte de la figura, un segundo en el noreste el cual cubre mayor área y un último siendo el segundo más grande al suroeste, a pesar de poseer tres puntos con los mayores valores, estos están rodeados por valores de intensidades por encima del valor medio.

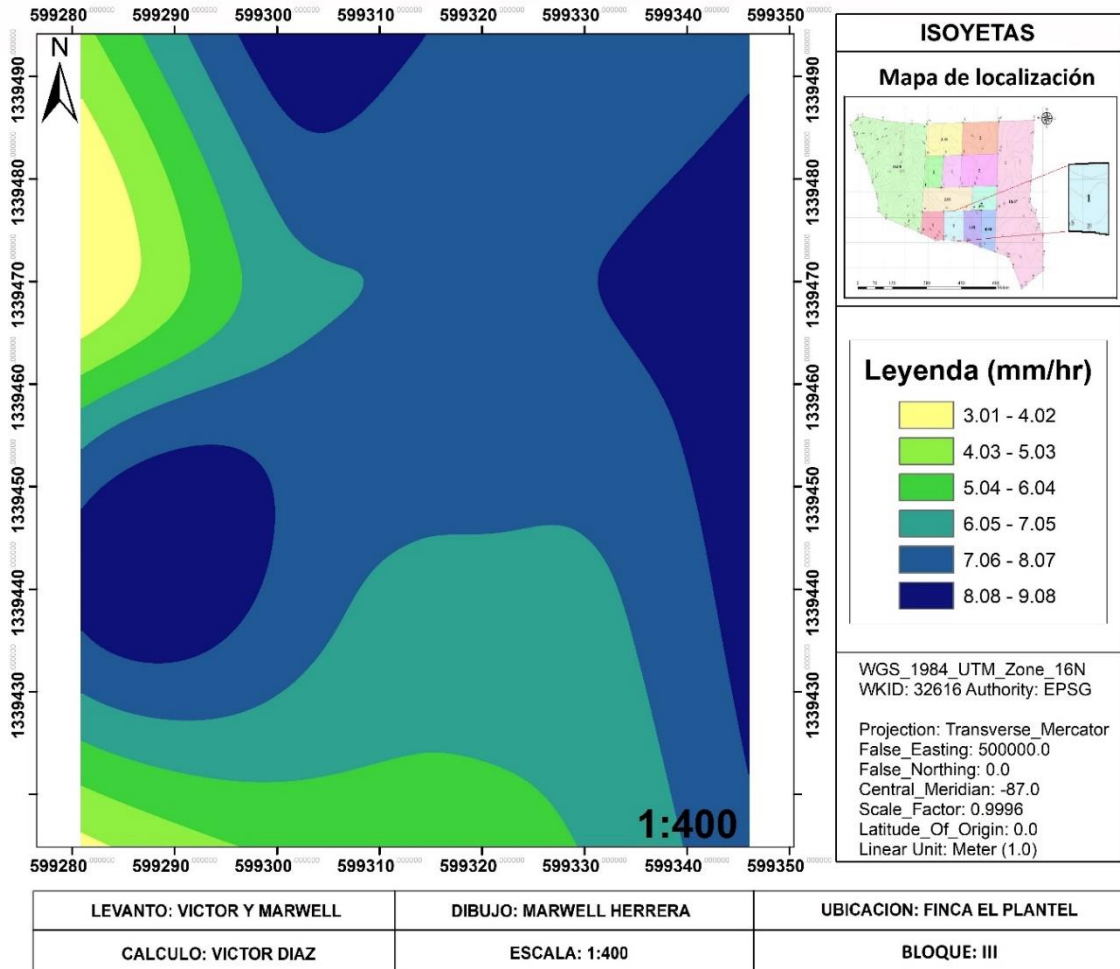


Figura 12. Mapa de Isoyetas de la intensidad de aplicación.

## 4.9.2 Lámina aplicada

Determinar el comportamiento de las láminas que se pueden aplicar en un área durante el riego, es fundamental debido que se logra determinar las cantidades de agua que el suelo podría captar y poder ser caracterizado como suelo utilizable, es de importancia conocer cuando se está aplicando una lámina de agua por encima de la capacidad de infiltración.

La Figura 13, presenta la lámina de agua aplicada, recogida mediante la prueba de pluviometría, así como la Figura 12, se manifiestan tres puntos que concentran los mayores valores de 14 mm, donde dos de estos se encuentran en zonas limítrofes del área, el más pequeño ubicado en la parte norte, un segundo en la parte noreste y un tercer punto el cual cubre más área ubicado en la parte suroeste. La parte noroeste es la entrada de las corrientes de vientos por tal razón se ubican los menores valores de lámina aplicada ya que el viento transporta la lluvia de los aspersores dentro del área.

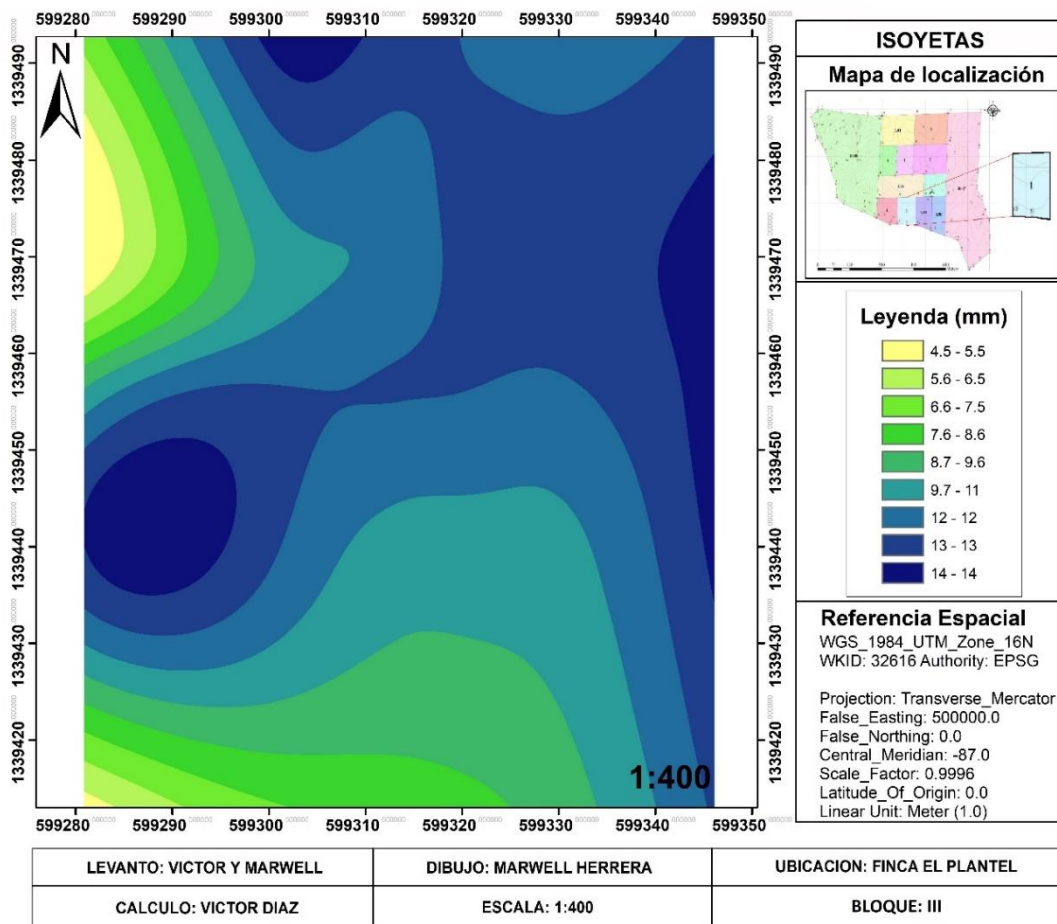
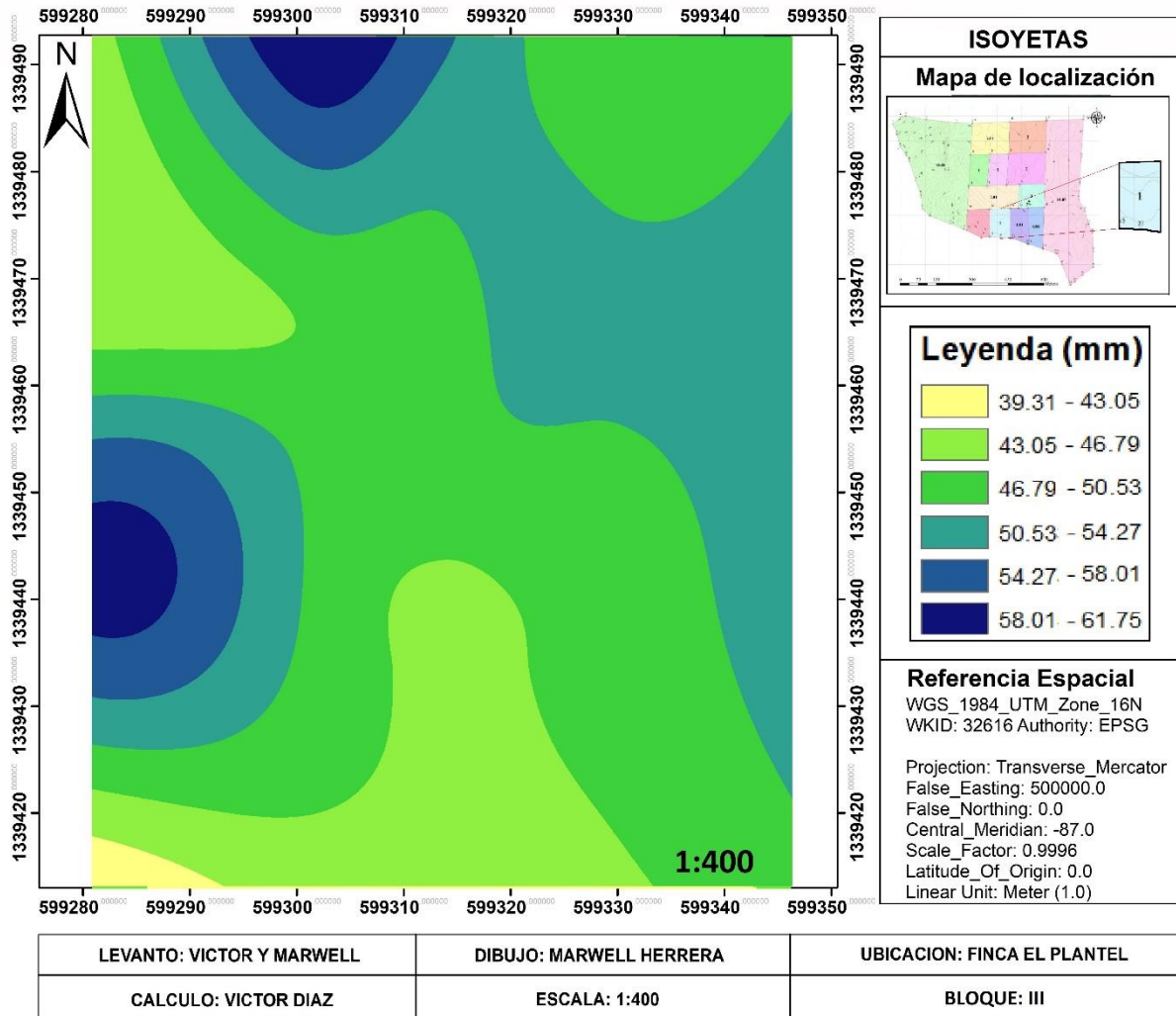


Figura 13. Mapa de Isoyetas de la lámina aplicada.

### 4.9.3 Lámina infiltrada

En la Figura 14, se puede observar dos puntos con valores iguales o por encima de 58.00 mm de agua infiltrada, siendo las concentraciones más altas donde la diferencia entre ambos puntos está caracterizada por el área que cubren, dichos puntos están ubicados uno en la parte norte y un segundo de mayor área en el suroeste.

A pesar de que solo presenta dos ubicaciones para valores mayores, los demás rangos presentan valores de lámina, los cuales están por encima del punto de marchitez y son láminas de agua disponibles gracias a las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo del bloque III.



**Figura 14.** Mapa de Isoyetas de la lámina infiltrada.

## V CONCLUSIONES

- El sistema de riego por aspersión del bloque III tiene un coeficiente de uniformidad del 80%, que según los criterios de Christiansen un coeficiente del 80 – 85% lo clasifica como aceptable.
- El parámetro hidráulico que más influye en la uniformidad de aplicación, es el solapamiento, existiendo un 47.45% para el marco de separación de 18 x 18 m establecido en el sistema de riego, siendo el más recomendable un marco de separación de 12 x 12 m, y lograr un mayor solapamiento.
- Mediante los mapas de isoyetas se observa que la distribución espacial de la intensidad de aplicaciones es buena, ubicando las mayores intensidades en tres puntos en el norte, noreste y suroeste, sin embargo, en el centro del área cuenta con intensidades cercanas a los máximos.
- Las diferencias espaciales en la distribución de la intensidad de aplicación y lamina infiltrada, se debe a que, la lámina infiltrada depende más de las propiedades hidrofísicas del suelo, mostrado en el análisis de regresión de Pearson.

## VI RECOMENDACIONES

- Continuar realizando evaluaciones, para elaborar un plan de uso y manejo del sistema para un mejor aprovechamiento del recurso agua
- Para futuras evaluaciones permitir administrativamente más tiempo y herramientas, para aumentar las repeticiones de las pruebas de distintas variables y obtener más fiabilidad en los resultados.
- Aumentar el nivel de inspecciones de los elementos que componen el sistema de riego para evitar una mala distribución de agua por efecto de fugas, pérdidas de emisores y obstrucciones de tuberías.



## VII LITERATURA CITADA

- Brady N.C & Well R. (1996). The nature and proprieties of soil PDF.
- Carlos delgadillo & kefren López (2009). evaluación de riego por goteo artesanal, pág. 8,15.
- Cisneros (2003). Apuntes de materia riego y drenaje. pág. 16, 23, 39,70.
- Dueñas, Assenov, A (1981). El riego. Editorial puebla y educación. Pág. 215, 233.
- Fernando Mendoza (2007). Introducción a los sistemas de información geoespacial
- INETER (2015). Dirección general de meteorología, datos de parámetros climatológicos, precipitación máxima, evaporación y temperaturas máximas de la estación del aeropuerto internacional de Managua, Nicaragua.
- Junta de Andalucía (2014). Procedimiento para realizar evaluaciones del riego por aspersión.
- MAGFOR (1998). El riego en Nicaragua. Editorial inpacasa. pág. 42 ,43.
- Marrero G (2003). texto básico riego y drenaje. No impreso. Managua, Nicaragua, universidad nacional agraria, UNA.
- Norman castro & Oscar obando (1994). Manejo de riego por aspersión en el centro de nacional de investigación agropecuaria CNIA pag11, 50,35.
- Pacheco, Norberto, P (1995). Riego y drenaje. Editorial puebla y educación. pág. 224-227.
- Sevilla (2010), manual de riego para los agricultores. Modulo I. fundamento para el riego pág. 36, 37.
- Sevilla (2010). Manual de riego para agricultores. Módulo III riego por aspersión pág. 50.
- UNA (Universidad Nacional Agraria) (2008). guías y normas de culminación Managua, Nicaragua pág. 26, 28, 31,34.
- UNE 68-072-86. 1986. Norma española. Aspersores rotativos. Requisitos generales y métodos de ensayo. AENOR. España.

## VIII ANEXOS

### Anexo 1. Descripción de las propiedades físicas e hidrofísicas del área evaluada

Da (kg/cm <sup>3</sup> )	CC. (%)	p.m.p (%)	Textura
0.95	44.77	29.73	Arcillo Limoso

### Anexo 2. Datos obtenidos de la prueba de infiltración

Hora	Tiempo	Tiempo acu.	lectura (cm)	Dif/ lectura	Inf. acu.	V/inf	v inf acu	log t xi	log I yi	XI2	YI2	Xi Yi	V/ inf ajust
09:15	-	-	12	-									
09:20	5	5	10.25	1.75	1.75	21.00	21.00	0.70	1.32	0.49	1.75	0.92	22.44
09:25	5	10	8.87	1.38	3.13	16.56	18.78	1.00	1.22	1.00	1.49	1.22	13.03
09:30	5	15	7.85	1.02	4.15	12.24	16.60	1.18	1.09	1.38	1.18	1.28	9.52
09:35	5	20	7.12	0.73	4.88	8.76	14.64	1.30	0.94	1.69	0.89	1.23	7.61
09:40	5	25	6.69	0.43	5.31	5.16	12.74	1.40	0.71	1.95	0.51	1.00	6.39
09:50	10	35	6.11	0.58	5.89	3.48	10.10	1.54	0.54	2.38	0.29	0.84	4.91
10:00	10	45	5.87	0.24	6.13	2.82	8.17	1.65	0.45	2.73	0.20	0.74	4.04
10:10	10	55	5.37	0.50	6.63	2.99	7.23	1.74	0.48	3.03	0.23	0.83	3.45
10:20	10	65	4.89	0.48	7.11	2.88	6.56	1.81	0.46	3.29	0.21	0.83	3.03
10:35	15	80	4.15	0.74	7.85	2.96	5.89	1.90	0.47	3.62	0.22	0.90	2.58
10:50	15	95	3.56	0.59	8.44	2.36	5.33	1.98	0.37	3.91	0.14	0.74	2.25
11:05	15	110	2.84	0.72	9.16	2.88	5.00	2.04	0.46	4.17	0.21	0.94	2.01

### Anexo 3. Lamina recogida de la prueba de pluviometría por cada punto

Punto	Lamina (mm)	Punto	Lamina (mm)
1	11.4407302	9	13.5376835
2	12.7975823	10	9.43628963
3	12.8592574	11	11.31738
4	11.7182682	12	8.01776243
5	11.0398421	13	7.49352411
6	12.0574812	14	4.99568274
7	10.3305785	15	13.229308
8	8.69618848	16	7.70938695
		<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>10.4173091</b>

**Anexo 4.** Radios de alcance procesados estadísticamente

<b>Aspersor</b>	<b>Radio (m)</b>	<b><math>X - \bar{X}</math></b>	<b><math>(X - \bar{X})^2</math></b>
1	13.65	0.38	0.14
2	13.9	0.63	0.40
3	14.5	1.23	1.51
4	13.5	0.23	0.05
5	12.87	-0.4	0.16
6	12.49	-0.78	0.61
7	12.5	-0.77	0.59
8	12.75	-0.52	0.27
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	13.27	<b>desviación</b>	0.73

**Anexo 5.** Datos de la prueba de pluviometría por cada pluviómetro

<b>Pluv.</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pluv.</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pluv.</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pluv.</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>
1	118	17	128	33	115	49	72
2	115	18	85	34	147	50	137
3	68	19	90	35	110	51	10
4	70	20	55	36	67	52	24
5	90	21	91	37	74	53	8
6	120	22	80	38	94	54	69
7	90	23	100	39	120	55	64
8	115	24	120	40	18	56	21
9	92	25	110	41	135	57	106
10	105	26	60	42	150	58	83
11	110	27	90	43	9	59	144
12	110	28	75	44	73	60	96
13	90	29	110	45	114	61	45
14	102	30	53	46	33	62	72
15	100	31	118	47	87	63	83
16	88	32	1	48	26	64	50

**Anexo 6.** Datos de caudales (lts/h) para la determinación de la lámina aplicada

Aspersor	caudal (lts/h)	Aspersor	caudal (lts/h)	Aspersor	caudal (lts/h)
1	1196.41	11	815.03	21	1031.15
2	1193.73	12	1590.46	22	1553.40
3	1161.10	13	1629.70	23	1584.50
4	866.63	14	1623.82	24	1561.15
5	893.52	15	1196.11	25	739.68
6	1137.98	16	1193.44	26	956.56
7	1693.32	17	1708.99	27	754.40
8	1754.39	18	1595.39	28	991.12
9	1693.32	19	1630.07	29	1016.30
10	1108.29	20	808.08	30	994.41

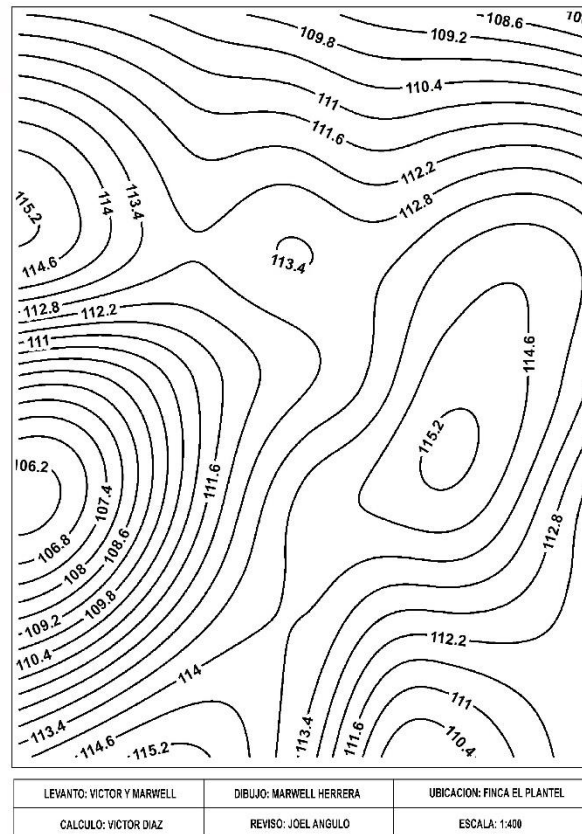
**Anexo7.** Datos de humedades de las muestras recolectadas

Código	Pshr (gr)	Pssr (gr)	Pr (gr)	Pss (gr)	Hp (%)
1	77.7	65.20	21.50	42.80	31.31
2	74.6	63.60	20.70	42.90	25.64
3	74.1	62.40	20.70	41.70	28.06
4	87.2	73.90	21.40	52.50	25.33
5	73.8	63.60	21.60	42.00	24.29
6	73.8	62.30	21.60	39.40	32.49
7	53	45.80	19.70	26.10	27.59
8	55.8	48.90	20.10	28.80	23.96
9	60.3	52.40	20.20	32.20	24.53
10	53.9	47.00	19.80	27.20	25.37
11	56.5	48.80	20.60	28.20	27.30
12	52.5	46.20	19.70	26.50	23.77
13	41.6	37.50	20.00	17.50	23.43
14	55.1	48.30	19.50	28.80	23.61
15	53.6	46.60	19.60	27.00	25.93
16	58.5	50.00	20.00	30.00	28.33
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>					26.31

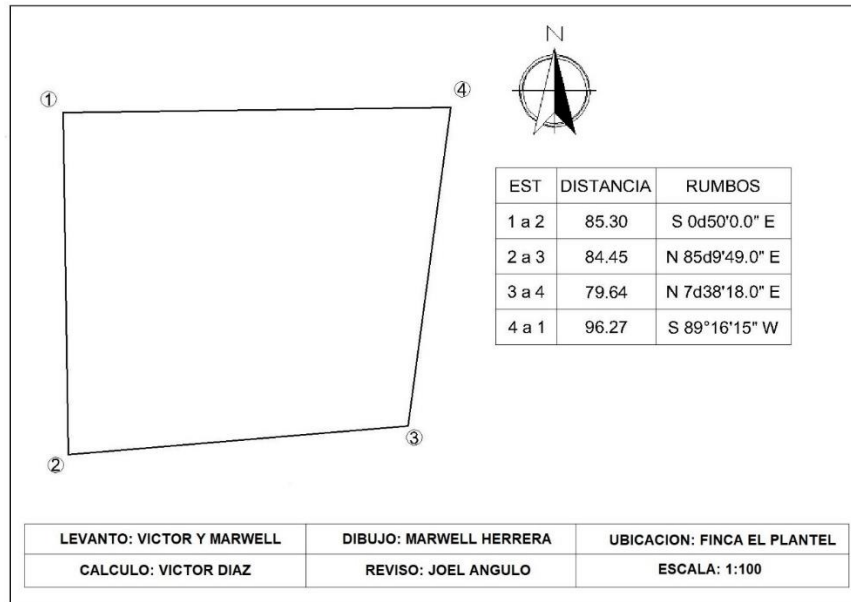
**Anexo 8.** Datos de prueba de aforo volumétrico a los aspersores

Aspersor	Tiempo (s)	Volumen (Its)
1	39.84	20
2	42.12	20
3	44.17	20
4	46.37	20
5	45.41	20
6	45.40	20
7	48.45	20
8	52.06	20
<b>Media(<math>\bar{X}</math>)</b>	45.48	20

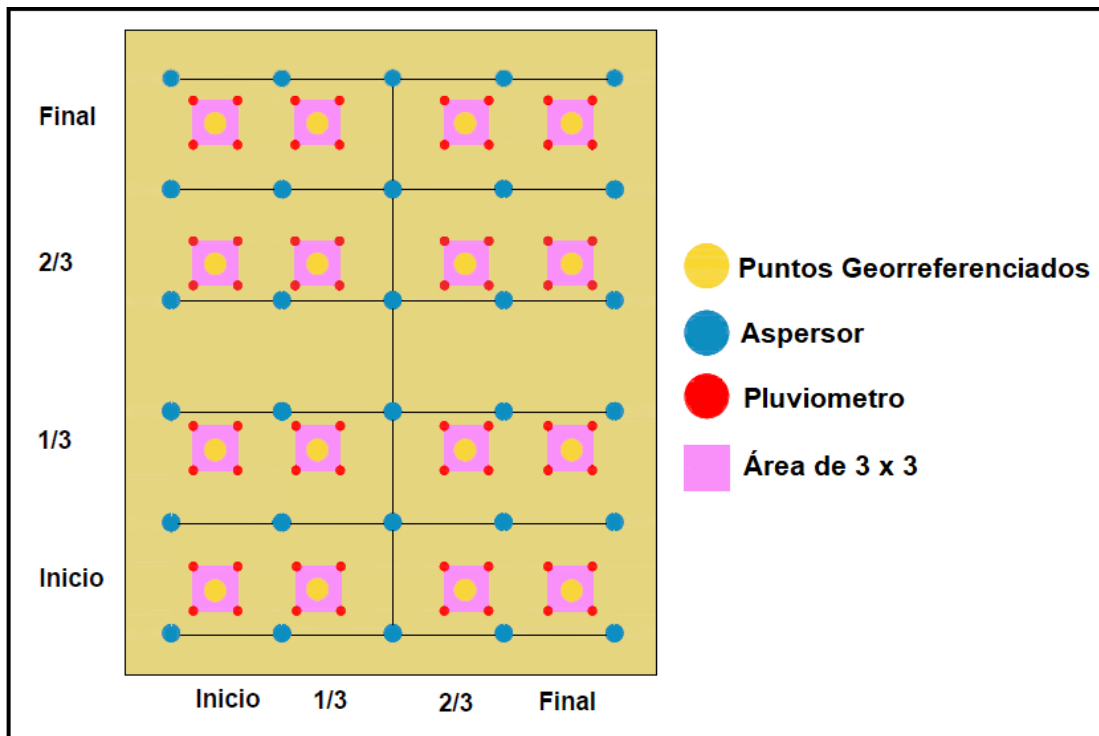
**Anexo 9.** Curvas de nivel de la zona de evaluación



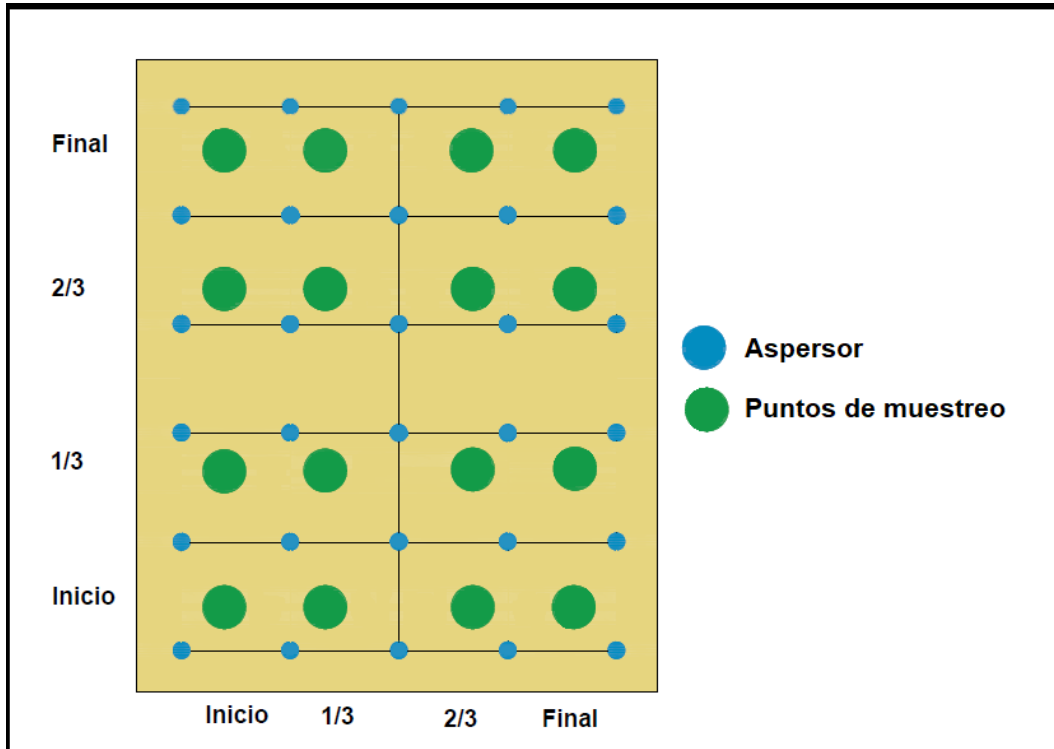
### Anexo 10. Poligonal de la zona de evaluación



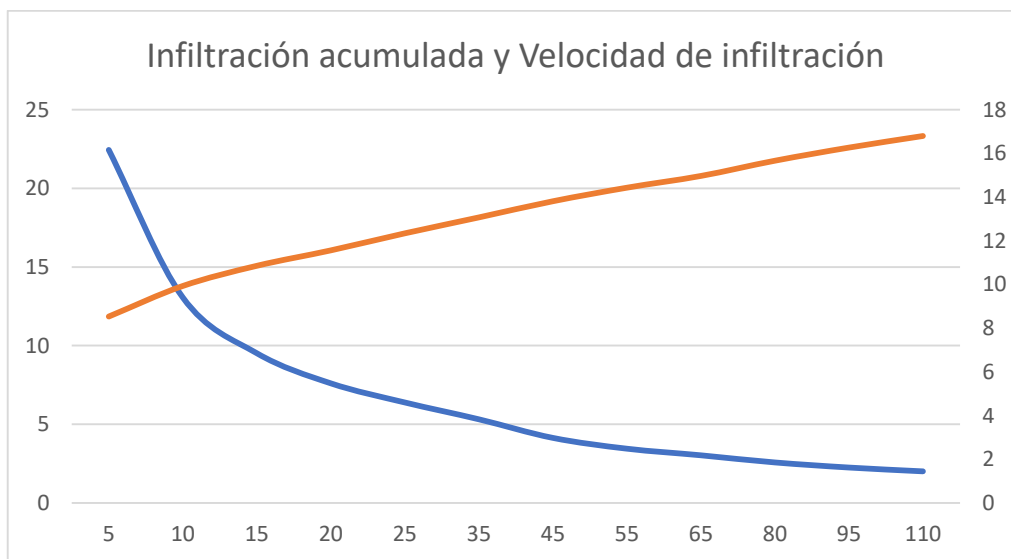
### Anexo 11. Ubicación de puntos georreferenciados



**Anexo 12.** Ubicación de puntos para humedad presente



**Anexo 13.** Gráfico de infiltración acumulada y velocidad de infiltración



## Anexo 14. Catálogo del aspersor senninger 4023-2

ASPERSOR 4023-2 CRITERIOS DE DISEÑO	Ibar						
	2.07	2.41	2.76	3.10	3.45	3.79	4.14
<b>10x6</b> Boquilla de rango #10 (3.97 mm) x Boquilla dispersora #6 (2.38 mm)							
Caudal (L/hr)	1192	1288	1379	1460	1540	1615	1688
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	26.2	27.1	27.7	28.3	29.0	29.3	29.6
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	28.0	28.7	29.3	29.6	29.9	30.2	30.5
<b>11x6</b> Boquilla de rango #11 (4.37 mm) x Boquilla dispersora #6 (2.38 mm)							
Caudal (L/hr)	1385	1497	1601	1697	1790	1876	1960
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	27.1	28.0	28.7	29.3	29.9	30.2	30.5
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	28.7	29.3	29.9	30.5	31.1	31.4	31.7
<b>12x6</b> Boquilla de rango #12 (4.76 mm) x Boquilla dispersora #6 (2.38 mm)							
Caudal (L/hr)	1565	1713	1833	1942	2049	2149	2244
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	28.0	29.0	29.6	30.2	30.8	31.1	31.4
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	29.6	30.2	30.8	31.4	32.0	32.6	32.9
<b>13x6</b> Boquilla de rango #13 (5.16 mm) x Boquilla dispersora #6 (2.38 mm)							
Caudal (L/hr)	1801	1946	2080	2208	2317	2430	2544
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	28.7	29.6	30.2	30.8	31.4	31.7	32.0
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	30.5	31.4	32.3	33.2	34.1	35.1	35.7
<b>14x6</b> Boquilla de rango #14 (5.56 mm) x Boquilla dispersora #6 (2.38 mm)							
Caudal (L/hr)	2021	2185	2339	2476	2612	2748	2862
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	29.3	30.2	30.8	31.4	32.0	32.3	32.6
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	31.1	32.3	33.5	34.7	36.0	37.2	38.1

El rendimiento de los aspersores puede variar en las condiciones reales de campo. Las alturas del chorro varían desde 2.0 a 3.1 sobre la boquilla, dependiendo de la presión y el tamaño de la misma. La altura mínima recomendada para los elevadores es de 0,46 m.

## Anexo 15. Limpieza para la recolección de muestras





**Anexo 16.** Entrevista con el encargado del sistema de riego del plantel



**Anexo 17.** Ubicación y preparación de los anillos infiltrómetros



**Anexo 18.** Foto de levantamiento de la prueba de aforo en los aspersores



**Anexo 19.** Fotos de las muestras para la prueba en el laboratorio de suelo

